



Obszar przedsudecki zagłębieniem potasowym w Polsce

Fore-Sudetic area as the potash district in Poland

Grzegorz CZAPOWSKI, Marta HODBOD

Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy, Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa;
grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl, marta.hodbod@pgi.gov.pl

Polish Geological Institute – National Research Institute - Rakowiecka 4, 00-975 Warsaw;
grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl, marta.hodbod@pgi.gov.pl

STRESZCZENIE

Osady potasonośne, zbudowane głównie z chlorkowych minerałów potasu i magnezu jak sylwin i karnalit, wyróżniane są w randze formacji w profilach evaporatowych trzech cyklotemów cechsztynu (górnym perm) na obszarze Polski. Największy obszar zajmują utwory formacji starszej soli potasowej (K2, cyklotem Stassfurt [PZ2]) i młodszej soli potasowej (K3, cyklotem Leine [PZ3]), zaś osady formacji najstarszej soli potasowej (K1, cyklotem Werra [PZ1]) stwierdzono tylko lokalnie na obszarze północnej Polski. Pokłady soli K2 i K3, o miąższości >2 m, występujące na głębokości do 2 km na obszarze przedsudeckim uznano za najbardziej perspektywiczne zasobowo i przydatne do przyszłej eksploatacji metodą ługowania podziemnego.

Skały starszej soli potasowej (K2) tworzą zasoby przewidywane 7 obszarów perspektywicznych (wyznaczone 98 otworami wiertniczymi) o sumarycznej wielkości 3,2 mld Mg i łącznej powierzchni 454 km². Z kolei utwory młodszej soli potasowej (K3) tworzą zasoby przewidywane 6 obszarów perspektywicznych (wyznaczonych na podstawie 23 otworów wiertniczych) wielkości 288,8 mln Mg i o sumarycznej powierzchni >60 km². Tym samym obszar przedsudecki charakteryzuje wysoki potencjał zasobowy soli potasowych, na który składa się 13 obszarów perspektywicznych o zasobach przewidywanych oszacowanych na 3,53 mld Mg kopaliny i łącznej powierzchni niemal 514 km². Wstępne szacunki możliwej do pozyskania ilości K₂O w tych zasobach (przyjmując niską średnią zawartość K₂O wynoszącą 1%) wskazują na 35,32 mln Mg,

Słowa kluczowe: sole potasowo-magnezowe, potencjalne zasoby, perm, obszar przedsudecki, Polska

ABSTRACT

The potash-bearing deposits composed mainly of such chloride K-Mg minerals as sylvin and carnallite are recognised as formations in the successions of three cyclothem of the Zechstein (Upper Permian) evaporites in Poland. The largest surface areas are represented by the Older Potash (K2, Stassfurt [PZ2] cyclothem) and the Younger Potash (K3, Leine [PZ3] cyclothem) Formations, while the deposits of the Oldest Potash (K1, Werra [PZ1] cyclothem) Formation have been documented only locally in northern Poland. The seams of K2 and K3 deposits, being over 2 m thick and occurring at the depth of up to 2 km in the Fore-Sudetic Area, are considered to be the most prospective resources for future mining (recommended, owing to their relatively inexpensive extraction costs by the method of solution mining).

The Older Potash (K2) deposits compose the predicted reserves of seven prospective areas (defined by 98 wells), with the total volume estimated at 3.2 billion Mg and situated on the total surface area of 454 km². The Younger Potash (K3) rocks occur in six areas (contoured by 23 wells), with the predicted reserves of 288.8 million Mg and the total surface area of over 60 km². Therefore, the Fore-Sudetic Area has a fairly high resource potential of potassium salts, offering 13 prospective areas, with the total predicted reserves of 3.53 billion Mg of potash and the total surface area of up to 514 km². Preliminary calculations of possible K₂O presence in these reserves suggested the amount of 35.32 million Mg of potassium oxide, at the assumed low average K₂O content of 1%.

Key words: potassium salts, potential reserves, Permian, Fore-Sudetic Area, Poland

1. WSTĘP

Sole potasowo-magnezowe (K-Mg) mają bardzo szerokie zastosowanie. Wykorzystywane są głównie (do 90% produkcji) w rolnictwie i ogrodnictwie jako nawozy sztuczne, służące poprawie wydajności upraw (głównie sole potasowe chlorkowe i siarczanowe – w przypadku soli K-Mg typu siarczanowego szczególnie cenne są polihality). Ponadto są stosowane w przemyśle chemicznym, kosmetycznym (składnik wielu kosmetyków np. kremów, perfum, emulsji, jako sole kąpielowe, itp.), szklarskim, skórzanym, farbiarskim, pirotechnicznym, w lecznictwie (choroby skórne, suplementy diety w celu uzupełnienia mikroelementów). Wojna w Ukrainie istotnie zmieniła układ geopolityczny w Europie, ograniczając możliwości taniego importu soli potasowo-magnezowych (K-Mg) z Białorusi i Rosji. Ponieważ Polska, mimo posiadania udokumentowanych zasobów tej kopaliny, nie prowadzi jej eksploatacji, zatem wzrosło zainteresowanie dotychczas zarejestrowanymi złożami soli potasowo-magnezowych, jak również obszarami, na których stwierdzono ich występowanie (np. Czapowski, 2017; Czapowski, Bukowski, 2013, 2015; Czapowski i in., 2009, 2015; Mikulski i in., 2015; Szamałek i in., 2020).

Niniejsza praca wskazuje na istniejący wysoki potencjał zasobowy soli potasowo-magnezowych na obszarze przed-sudeckim w południowo-zachodniej Polsce, który zasadnie może być uznany za „polskie zagłębie potasowe”. Obszar ten, po lepszym rozpoznaniu geologicznym i udokumentowaniu zasobów kopaliny nowych złóż soli K-Mg, może zaspokoić w pełni potrzeby krajowe.

2. WYSTĘPOWANIE SOLI POTASOWO-MAGNEZOWYCH W POLSCE

Sole potasowo-magnezowe występujące w Polsce, zbudowane są z dwu rodzajów asocjacji minerałów potasu i magnezu:

a) asocjacji minerałów chlorkowych jak sylwin (KCl), karnalit ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) i biszofit ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Minerale te są łatwo rozpuszczalne w wodzie (Łaszkiwicz, 1967; Manecki, 2019; Sonnenefeld, 1984);

b) asocjacji minerałów siarczanowych, obejmujących: polihalit ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz, 1967), kizeryt ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz, 1967) i langbeinit ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$; Łaszkiwicz, 1967), rzadziej występują: bledyt ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz, 1967), heksahydrat ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz, 1967), leonit ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz, 1967), leweit ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz, 1967) i leonhardtyt ($\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz, 1967; starkeit wg Manecki, 2019). Minerale te są trudno rozpuszczalne w wodzie (Łaszkiwicz, 1967; Manecki, 2019; Sonnenefeld, 1984).

1. INTRODUCTION

Potassium-magnesium salts (K-Mg) are used mainly as fertilisers, in the proportion of up to 90% of the total production output, in agriculture and horticulture to improve crop effectiveness. Such fertilisers contain mainly chloride and sulphate potassium salts, while in the case of the sulphate K-Mg salts, polyhalites are especially valuable. Besides, such salts are also used in chemical and cosmetic products (e.g. in creams, perfumes, emulsions, lotions, or bath salts), as well as by glass, leather, tanning, or pyrotechnical works. Such salts are also used for medicinal purposes, in the treatment of skin diseases, or as dietary supplements providing microelements.

The Russian invasion of Ukraine has essentially changed the geopolitical system of Europe, restricting the availability of inexpensive potassium-magnesium salts (K-Mg) imported from Belarus and Russia. Despite possession of documented resources of the minerals in question, Poland has not been mining such salts. Currently, there is a growing interest in the possible extraction of the potassium-magnesium salts, as well as in the regions of their occurrence (e.g. Czapowski 2017; Czapowski, Bukowski 2013, 2015; Czapowski et al. 2009, 2015; Mikulski et al. 2015; Szamałek et al. 2020).

The present study indicates a high potential of the potassium-magnesium salt deposits on the Fore-Sudetic Monocline of south-western Poland that can be recognized as the Polish Potash District. Upon better geological research and obtaining improved documentation of the new K-Mg salt deposits, salt extraction could fully cover the local demand.

2. DISTRIBUTION OF POTASSIUM-MAGNESIUM SALTS IN POLAND

The Polish potassium-magnesium salt deposits represent two types of mineral potassium and magnesium associations:

a) Associations of such chloride minerals as sylvine (KCl), carnallite ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), and bischofite ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Those minerals are easy to dissolve in water (Łaszkiwicz 1967; Manecki 2019; Sonnenefeld 1984).

b) Associations of sulphate minerals, including polyhalite ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz 1967), kieserite ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz 1967), and langbeinite ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$; Łaszkiwicz 1967), as well as rarely occurring bloedite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz 1967), hexahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz 1967), leonite ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz 1967), loewite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz 1967), and leonhardtite ($\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz 1967), or starkeyite (Manecki 2019). Those minerals are hard to dissolve in water (Łaszkiwicz 1967; Manecki 2019; Sonnenefeld 1984).

W obu tych asocjacjach mineralnych może się też pojawiać uwodniona sól siarczanowo-chlorkowa – kainit ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz, 1967).

Na obszarze Polski sole potasowo-magnezowe występują jedynie w obrębie utworów ewaporatowych górnego permu (Ryc. 1) i tworzą wydzielenia litologiczne, określane jako jednostki litostratygraficzne w randze formacji. Rangę tę uzasadniają: odmienna litologia od skał otaczających, łatwość wyznaczenia granic tych wydzieleni zarówno w obserwacjach makroskopowych jak i w zapisach geofizycznych (karotaże) oraz znaczące rozprzestrzenienie (w skali regionalnej).

Wyróżniono trzy formacje soli K-Mg, stanowiące odpowiednik analogicznych jednostek z basenu permskiego na obszarze Niemiec (np. Bornemann i in., 2008; Braitsch, 1971; Kozur, 1994; Paul i in., 2018; Peryt i in., 2010; Richter-Bernburg, 1955, 1984) i w wersji polskiej od dziesięcioleci stosowane dla utworów cechsztynu na terenie naszego kraju (np. Poborski, 1970; Wagner, 1981, 1986, 1987, 1991, 1995; Wagner, Peryt, 1988; Wagner i in., 1978). Zatem zasadne jest utrzymanie utrwalonych już nazw tych wydzieleni a nie kreowanie nowych nazw własnych zgodnie z wymogami polskiej terminologii stratygraficznej (Racki, Narkiewicz, 2006). Sole K-Mg tworzą pokłady w obrębie kompleksów soli kamiennych kolejnych trzech cyklotemów polskiego cechsztynu (np. Wagner, 1995). W sukcesji cyklotemu PZ1 (Werra) formacja najstarszej soli potasowej (K1) dzieli kompleks najstarszej soli kamiennej (Na1) na tzw. najstarszą sól kamienną dolną (Na1d) i najstarszą sól kamienną górną (Na1g). Podobnie jest w przypadku utworów chlorkowych cyklotemu PZ3 (Leine), gdzie pokład młodszej soli potasowej (K3) rozdziela kompleks młodszej soli kamiennej (Na3) na dwie części: młodszą sól kamienną dolną (Na3d) i młodszą sól kamienną górną (Na3g). Sukcesja utworów chlorkowych cyklotemu PZ2 (Stassfurt) obejmuje kolejno: skały starszej soli kamiennej (Na2), starszej soli potasowej (K2) i starszą sól kamienną kryjącą (Na2r).

Najstarsze utwory potasonośne cechsztynu to **formacja najstarszej soli potasowej** (K1) cyklotemu PZ1 (Tab. 1), której występowanie udokumentowano jedynie na Pomorzu Gdańskim i NW części Warmii w północnej Polsce (Ryc. 1). Formacji tej odpowiadają 2 pokłady potasonośne: Thüringen i Hessen z obszaru Niemiec (Braitsch, 1971; Peryt i in., 2010). Na Pomorzu Gdańskim utwory te przewiercono 3 otworami w rejonie Chłapowo-Władysławowo-Chałupy i jednym otworem w okolicach Lisewa (Mikulski i in., 2015). Miąższość tych utworów zmienia się od 2,7 m do 25,1 m, główne minerały to karnalit, halit i jako domieszki anhydryt i polihalit (np. Pasieczna, 1987; Stępniewski, 1973), zaś udział potasu wynosi 0,19-2,49% i magnezu - 0,06-1,49% (Werner, 1979). Z kolei na terenie Warmii w rejonie Lidzbarka Warmińskiego na utwory te natrafiono dotychczas w 3 otworach wiertniczych, a ich miąższość zmienia się od 6 m do 26 m (Cza-

Hydrated sulphate-chloride salt may also occur in both types of the associations, in the form of kainite ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; Łaszkiwicz 1967).

Potassium-magnesium salts occur in Poland only within the Upper Permian evaporitic formations (Fig. 1). They create the lithologic subdivisions determined to be lithostratigraphic units, equivalent to formations. Such ranking is justified by the following: different lithology of surrounding rocks, ease of boundary determination of the subdivisions (units) under both macroscopic observations and geophysical records (carottage or well logging), as well as significant spread of such rocks on a regional scale.

Three K-Mg salt formations have been distinguished. They correspond to analogous units of the Permian Basin occurring in Germany (e.g. Bornemann et al. 2008; Braitsch 1971; Kozur 1994; Paul et al. 2018; Peryt et al. 2010; Richter-Bernburg 1955, 1984). The units of the Polish Zechstein succession have been identified strictly with the German analogs for a number of years (e.g. Poborski 1970; Wagner 1981, 1986, 1987, 1991, 1995; Wagner, Peryt 1988; Wagner et al. 1978). Therefore, it is justified to maintain the traditional terminology of the subdivisions in question, without creating new terms, in accordance with the requirements of the Polish stratigraphic terminology (Racki, Narkiewicz 2006).

K-Mg salts are found in the deposits, within the rock salt complexes of the three subsequent cyclothems of the Polish Zechstein (e.g. Wagner 1995). In the succession of cyclothem PZ1 (Werra), the oldest potash formation (K1) divides the Oldest Halite (Na1) complex into the so-called Lower Oldest Halite (Na1d) and Upper Oldest Halite (Na1g). It is similar in the case of the chloride formations of cyclothem PZ3 (Leine) where the seam of the Younger Potash (K3) divides the Younger Halite (Na3) complex into two sections: lower (Na3d) and upper (Na3g) Younger Halite. The succession of chloride formations of cyclothem PZ2 (Stassfurt) entails the following, in sequence: the rocks of the Older Halite (Na2) and of the Older Potash (K2), as well as the Screening Older Halite (Na2r).

The oldest Zechstein potash-bearing deposits include the **formations of the Oldest Potash** (K1) of cyclothem PZ1 (Table 1) whose occurrence has been documented only in the Gdańsk Pomerania Region and the NW part of the Warmia Region in northern Poland (Fig. 1). Those formations correspond to two potash-bearing seams of Thüringen and Hessen in Germany (Braitsch 1971; Peryt et al. 2010). In the Gdańsk Pomerania Region, the formation under discussion was drilled through, with three boreholes, in the area of Chłapowo-Władysławowo-Chałupy and with one borehole near Lisewo (Mikulski et al. 2015). The thickness of this formation was changing from 2.7 m to 25.1 m. The main minerals included carnallite and halite, with the admixtures of anhydrite and polyhalite (e.g. Pasieczna 1987; Stępniewski 1973), and the

powski, Bukowski, 2015; Czapowski i in., 2015; Mikulski i in., 2015). Brak jednak danych o ich składzie mineralnym i chemicznym..

Wystąpienia soli K-Mg z terenu Warmii stanowią zapewne kontynuację środkowej części górnopermskiej swity (formacji) pregolskiej (Tab. 1) z pobliskiego obszaru kaliningradzkiego (Lukjanowa i in., 2011), gdzie pokład soli K-Mg miąższości od 30 m do 37 m składa się z przewarstwień soli kamiennej i soli K-Mg zawierających sylwin, karnalit, kizeryt, polihalit i kainit. Na udokumentowanym obszarze Niwienskoje udział potasu wynosi 3,41-11,40 % (średnio – 7,42 %), magnezu – 1,06-3,49% (średnio 2,46 %) zaś średnia zawartość K₂O to 9,54 % i MgO – 4,08 % (*op. cit.*). Utwory potasonośne cyklotemu PZ2 cechsztynu budują w Polsce **formację starszej soli potasowej (K2; Tab. 1)**, występującą na znacznej części obszaru basenu ewaporatowego, szczególnie w jego części osiowej (np. Czapowski, 1995; Czapowski i in., 1991; Tomassi-Morawiec i in., 2004). Jej odpowiednikiem na terenie Niemiec jest pokład Stassfurt. Wyróżniona formacja starszej soli potasowej może lokalnie – np. wysady solne Góra, Kłodawa czy Mogilno – obejmować także trudne do odróżnienia najwyższe partie podścielających starszych osadów, tzw. warstw przejściowych Na₂+K₂ (np. Czapowski i in., 2012, 2022a, b i c). Zarejestrowana pozorna miąższość formacji jest zmienna, od kilkudziesięciu cm do ponad 90 m, Czapowski i in., 2012, 2022b).

potassium and magnesium contents of 0.19–2.49% and 0.06–1.49%, respectively (Werner 1979). On the area of Lidzbark Warmiński of the Warmia (Varmia) Region, such formations was identified in three boreholes. The seam thickness was changing from 6 to 26 m (Czapowski, Bukowski 2015; Czapowski et al. 2015; Mikulski et al. 2015). However, mineral or chemical contents are not available.

The occurrence of K-Mg salts in the Warmia Region is probably a continuation of the middle part of the Upper Permian Pregola Formation (Table 1) of the neighbouring Kaliningrad Region (Lukjanowa et al. 2011) where the K-Mg salt seam, with the thickness of 30–37 m, is composed of the rock salt and K-Mg interbeds, containing sylvine, carnallite, kieserite, polyhalite, and kainite. Regarding the documented area of Nivienskoye in the Kaliningrad Region, the proportions of components are the following: potassium 3.41–11.40% (or 7.42% on average) and magnesium: 1.06–3.49% (2.46% on average), with the average K₂O content of 9.54% and MgO 4.08%, respectively (*op. cit.*). The potash-bearing formations of Zechstein's cyclothem PZ2 are composed in Poland of the **Older Potash Formation (K2; Table 1)**, occurring on a significant portion of the evaporitic basin, especially in its axial part (e.g. Czapowski 1995; Czapowski et al. 1991; Tomassi-Morawiec et al. 2004). This formation corresponds to the Stassfurt seam in Germany. The identified Older Potash Formation can entail locally e.g. the salt domes of Góra,

POTASONOŚNE WYDZIELENIA LITOSTRATYGRAFICZNE CECHSZTYNU (GÓRNY PERM) W POŁUDNIOWYM BASENIE PERMSKIM							
<i>Potash-bearing lithostratigraphic units of Zechstein (Upper Permian) in the Southern Permian Basin</i>							
Polska <i>Poland</i>		Niemcy <i>Germany</i>		Anglia <i>England</i>		Rosja <i>obszar kaliningradzki</i> <i>Russia, Kaliningrad area</i>	
Wydzielenie <i>Unit</i>	Cyklotem <i>Cyclothem</i>	Wydzielenie <i>Unit</i>	Cyklotem <i>Cyclothem</i>	Wydzielenie <i>Unit</i>	Cyklotem <i>Cyclothem</i>	Wydzielenie/Swita <i>Unit</i>	Seria/Cyklotem <i>Series/Cyclothem</i>
formacja młodszej soli potasowej (K3) * <i>Younger Potash Formation</i>	PZ3	pokład Riedel <i>Kaliflöz/seam</i> pokład Ronnenberg <i>Kaliflöz/seam</i>	Z3	ogniwo Boulby <i>Member</i>	Z3	-	lejnewska seria <i>Lejniewska Series</i>
formacja starszej soli potasowej (K2) * <i>Older Potash Formation</i>	PZ2	pokład Stassfurt <i>Kaliflöz/seam</i>	Z2	-	Z2	-	stasfurcka seria <i>Stassfurt Series</i>
formacja najstarszej soli potasowej (K1)* <i>Oldest Potash Formation</i>	PZ1	pokład Hessen <i>Kaliflöz/seam</i> pokład Thüringen <i>Kaliflöz/seam</i>	Z1	-	Z1	środkowa część swity pregolskiej <i>middle part of Pregola Formation</i>	waraska seria <i>Warask Series</i>

Tabela 1. Litostratygrafia utworów potasonośnych cyklotemów Z1, Z2 i Z3 cechsztynu w południowym basenie permskim (wg Braitsch, 1971; Lukjanowa i in., 2011; Peryt i in., 2010; Wagner, 1995 - zmienione)

Table 1. Lithostratigraphy of potash-bearing deposits of the Zechstein Z1, Z2 and Z3 cyclothem in the Southern Permian Basin (after Braitsch, 1971; Lukjanowa et al., 2011; Peryt et al., 2010; Wagner, 1995 – modified)

* wydzielenie nieformalne/ *nonformal unit*



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

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

Najmłodszy kompleks utworów potasonośnych w Polsce to **formacja młodszej soli potasowej (K3)** cyklotemu PZ3 cechsztynu (Tab.1), mająca swój odpowiednik na obszarze Niemiec w postaci pokładów Ronnenberg i Riedel zaś na terenie Anglii – ogniwa Boulby. Zajmuje ona nieco mniejszy obszar w obrębie ewaporatowego basenu cechsztyńskiego w Polsce, koncentruje się głównie w jego części osiowej, a jej zasięg jest bardziej zróżnicowany niż formacji starszej soli kamiennej (np. Czapowski, 1993, 1995; Tomassi-Morawiec i in., 2004). Lokalnie, np. w wysadach solnych Góry, Kłodawy czy Mogilna, w skład formacji młodszej soli potasowej wchodzi także - trudne czasem do odróżnienia - najwyższe partie podścielających starszych osadów, tzw. warstw przejściowych Na₃+K₃ (np. Czapowski i in., 2012, 2022a, b, c). Zrejestrowana miąższość formacji jest zmienna, od kilkudziesięciu cm do ponad 120 m w obrębie wysadów solnych, przeciętnie nie przekracza 30 m (Czapowski i in., 2012, 2022b).

Skład mineralny utworów młodszej soli potasowej obejmuje głównie: karnalit, sylwin, halit, biszofit, anhydryt, kainit, kizeryt, langbajnit i polihalit, występują też domieszki substancji ilastej i bituminów (np. Charysz, 1973; Czapowski

Kłodawa or Mogilno, as well as hard to identify highest sections of underlying older deposits, or the so-called Transitional Beds Na₂+K₂ (e.g. Czapowski et al. 2012, 2022a, b, and c). The recorded apparent formation thickness fluctuates from several dozen to more than 90 m (Czapowski et al. 2012, 2022b).

The youngest complex of potash-bearing formation in Poland includes the **Younger Potash Formation (K3)** of Zechstein's cyclothem PZ3 (Table 1), corresponding to the German Ronnenberg and Riedel seams and the English Boulby Member. The complex occupies a bit smaller area, within the evaporitic Zechstein Basin in Poland, concentrating mainly in its axial part, and its range is more diverse than that of the Older Halite Formation (e.g. Czapowski 1993, 1995; Tomassi-Morawiec et al. 2004). Locally, e.g. in the Góra, Kłodawa, or Mogilno salt domes, the Younger Potash Formation also includes the highest parts of underlying older sediments, or the so-called Transitional Beds Na₃+K₃ that may be hard to identify (e.g. Czapowski et al. 2012, 2022a, b, and c). The registered thickness of the formation is changeable, ranging from several dozens of centimetres to more than 120 m,

i in., 2012, 2022c z literaturą; Dawidowski, 1976; Hanczke, 1969; Podemski, 1972a, b; Werner, 1959, 1962; Werner i in. 1960). W wysadzie solnym Kłodawy średnia zawartość potasu w tych utworach wynosi 1,71 % zaś magnezu – 1,46 % (Czapowski i in., 2012). Na obszarze przedśudeckim udział K_2O zmienia się od 0,14 % do 27,18 % (średnia 3-9%) i $MgSO_4$ – od 0,2 % do 49 % (Czapowski i in., 2012; Werner, Dawidowski, 1976).

3. SOLE POTASOWO-MAGNEZOWE NA OBSZARZE PRZEDSUDECKIM

Intensywne badania prowadzone w latach 60. i 70. ubiegłego wieku w Polsce w poszukiwaniu złóż soli potasowo-magnezowych (np. Poborski, 1960, 1961, 1964, 1965, 1969, 1984; Poborski i in., 1956; Podemski, 1964, 1966, 1970, 1971, 1972a, b, 1973a, i b, 1974; Werner, 1959, 1962, 1969, 1971, 1972a, b, 1973, 1974; Werner, Dawidowski, 1976; Werner, Podemski, 1971; Werner i in., 1967) potwierdziły występowanie tych soli w utworach permu, i zakończyły się udokumentowaniem pięciu złóż: czterech złóż soli siarczanowych (polihalit) w rejonie Zatoki Gdańskiej i wspomnianego złoża soli typu chlorkowego w wysadzie solnym Kłodawy (Ryc. 1).

Najwięcej wystąpień soli K-Mg stwierdzono dotychczas otworami wiertniczymi na obszarze przedśudeckim w południowo-zachodniej Polsce (Ryc. 1). Utwory potasonośne, których obecność opisano już w latach 50.-70. ubiegłego wieku (np. Garlicki, Szybist, 1986; Kijewski, 1988; Podemski, 1964, 1966, 1971, 1972a, b, 1973a, b, 1974; Sokołowski, 1967; Tomaszewski, 1962; Werner, Dawidowski, 1976; Werner, Podemski, 1971; Zwierzycki, 1951) występują tam w pokładach solnych cyklotemów PZ2 i PZ3 cechsztynu. Obecny południowy zasięg tych soli jest odmienny dla każdego cyklotemu (Czapowski, 1995, 2017; Mikulski i in., 2015), natomiast ku północy rozprzestrzeniają się w całym basenie ewaporatowym cechsztynu, występując na głębokościach do ponad kilku km w jego centrum (np. Wagner, 1995). Udokumentowane wystąpienia soli K-Mg na obszarze przedśudeckim nie doczekały się pełnych dokumentacji złożowych i obliczenia zasobów. Jedyne szacunki zasobów wykonano dla pojedynczych otworów wiertniczych w rejonie Nowej Soli. W otworze Nowa Sól Geo-1 (Paduszyński J., 1961) oszacowano zasoby tlenu potasu (K_2O) w kategorii C_2 w obrębie przewierconej formacji starszej soli potasowej o miąższości 24 m (w otoczeniu 1 km² od odwiertu) w ilości 1 814 400 Mg dla zawartości K_2O równej 3,6% i 3 225 600 Mg dla zawartości K_2O wynoszącej 6,4%.

Wyniki prac rozpoznawczych posłużyły w następnych latach kilkukrotnemu oszacowaniu potencjalnych zasobów soli K-Mg w SW Polsce (Bąk, Przeniosło, 1993; Wołkowicz i in., 2011; Mikulski i in., 2015; Szamałek i in., 2020). Wymienione szacunki obejmowały określenie wielkości zasobów przewi-

within the salt domes, and it does not exceed 30 m on average (Czapowski et al. 2012, 2022b).

The mineral composition of the Younger Potash Formation includes mainly the following: carnallite, sylvine, halite, bischofite, anhydrite, kainite, kieserite, langbeinite, and polyhalite, with admixtures of clay matter and bitumen (e.g. Charysz 1973; Czapowski et al. 2012, 2022c (with literature); Dawidowski 1976; Hanczke 1969; Podemski 1972a and b; Werner 1959, 1962; Werner et al. 1960). In the Kłodawa salt dome, the average potassium content amounts to 1.71% and that of magnesium to 1.46% in that formation (Czapowski et al. 2012). In the Fore-Sudetic Area, the proportion of K_2O is changing from 0.14% to 27.18% (3–9% on average) and that of $MgSO_4$ from 0.2% to 49% (Czapowski et al. 2012; Werner, Dawidowski 1976).

3. POTASSIUM-MAGNESIUM SALTS ON THE FORE-SUDETIC AREA

Extensive potassium-magnesium salt prospecting works were conducted in Poland in the 1960's and 1970's (e.g. Poborski 1960, 1961, 1964, 1965, 1969, 1984; Poborski et al. 1956; Podemski 1964, 1966, 1970, 1971, 1972a and b, 1973a and b, 1974; Werner 1959, 1962, 1969, 1971, 1972a and b, 1973, 1974; Werner, Dawidowski 1976; Werner, Podemski 1971; Werner et al. 1967) confirmed the occurrence of such salts in the Permian formations, and the relevant works were concluded by with five deposits documented: four containing sulphate salts (polyhalite) in the Gdańsk Bay area and one containing chloride salt deposit in the Kłodawa salt dome (Fig. 1).

The largest K-Mg salt deposits were identified by drillings on the Fore-Sudetic Area, in south-western Poland (Fig. 1). The potash-bearing formations were recognized in the period between the 1950's to 1970's (e.g. Garlicki, Szybist 1986; Kijewski 1988; Podemski 1964, 1966, 1971, 1972a and b, 1973a and b, 1974; Sokołowski 1967; Tomaszewski 1962; Werner, Dawidowski 1976; Werner, Podemski 1971; Zwierzycki 1951). Those formations occur within the salt deposits of Zechstein's cyclothems PZ2 and PZ3. The current southern extents of those salts are different for each cyclothem (Czapowski 1995, 2017; Mikulski et al. 2015), while to the north these formations cover the whole Zechstein's evaporitic basin, and they locate at the depth of up to several kilometres in the basin center (e.g. Wagner 1995). The K-Mg salt deposits of the Fore-Sudetic Area have not been fully documented or calculated.

Some resource estimations were provided for specific boreholes situated nearby Nowa Sól. In the borehole Nowa Sól Geo-1 (Paduszyński J. 1961), the estimation of K_2O , category C_2 , amounted to 1,814,400 Mg of K_2O 3.6% and 3,225,600 Mg of K_2O 6.4%, within the drilled through Older Potash Formation, with the thickness of 24 m (around 1 km² from the borehole).

dywanych soli potasowo-magnezowych w Polsce do głębokości 2 km przyjmując jako minimalną miąższość pokładu soli 2 m. Brak systematycznego oprobowania geochemicznego pokładów na całym obszarze poddanym oszacowaniu wyeliminował kryterium geochemiczne (zawartość K_2O min. 8%), dlatego podane wielkości zasobów przewidywanych określają ilość skały potasonośnej, a nie ilość pożądanego potasu i magnezu lub ich tlenków.

Zasoby przewidywane podzielono na zasoby prognostyczne i perspektywiczne. *Zasobami prognostycznymi* określono zasoby obliczone do głębokości 1,5 km zaś zasoby występujące w przedziale 1,5 km do 2 km przypisano *zasobom perspektywnym* (np. Czapowski, Bukowski, 2015; Czapowski i in., 2015; Mikulski i in., 2015; Szamałek i in., 2020). Zasoby obliczono mnożąc okonturowaną (w oparciu o pozytywne otwory wiertnicze) powierzchnię wystąpień solnych przez uśrednioną miąższość pokładu/serii solnej (dane z otworów wiertniczych) i wartość gęstości omawianych soli przyjętą jako $2,1 \text{ Mg/m}^3$. W przypadku obszarów ze znaczącą rolą tektoniki – jak obszar przedsudecki – obliczone zasoby pomniejszono do 30 % (tzw. współczynnik komplikacji budowy geologicznej o wartości 0,3).

Analiza udostępnionych danych z otworów wiertniczych, wykonanych po 2014 roku i reinterpretacji zapisów karotażowych ze starszych odwiertów pozwoliła uaktualnić wiedzę o obszarach perspektywnych wystąpień soli K-Mg na obszarze przedsudeckim w porównaniu ze stanem wcześniejszym (Szamałek i in., 2020). Przedstawiono nowe szacunki powierzchni i zasobów wcześniej wyróżnionych obszarów i wskazano nowe obszary.

3.1. Formacja starszej soli potasowej (K2) - obszary perspektywiczne i zasoby przewidywane

Na obszarze przedsudeckim formacja starszej soli potasowej (K2) została przewiercona licznymi otworami, wykonanymi od rejonu perykliny Żar na zachodzie (SW skraj monokliny przedsudeckiej) po rejon Nowej Soli na wschodzie. Strop formacji (pokładu) występuje na głębokości od 975 m w części SW i S monokliny do 1700-1925 m w części północnej, jej stwierdzona miąższość jest bardzo zróżnicowana, od kilku do 30 m (Mikulski i in., 2015; Podemski, 1966, 1972a, b, 1975). Pokład soli K-Mg tworzą przemienne występujące w profilu warstwy (grubości 0,1-1,0 m) soli kamiennej, soli kamiennej z sylwinem i tzw. soli twardej (skład: halit, anhydryt, polihalit, kizeryt – Podemski, 1966, 1972a, b, 1975). Udział K_2O w pokładzie zmienia się od 1% do 15% (w otworze Wężyska 2 odnotowano udział K_2O w ilości 25%), wartość średniej ważonej mieści się w przedziale 0,5-9,5%, wartość średniej arytmetycznej 1-9% (w partiach bogatszych wynosi ona 4-9% - Mikulski i in., 2015; Podemski, 1975).

Wymienione wcześniej kryteria pozwoliły wyróżnić siedem obszarów perspektywnych (OP) wystąpień soli

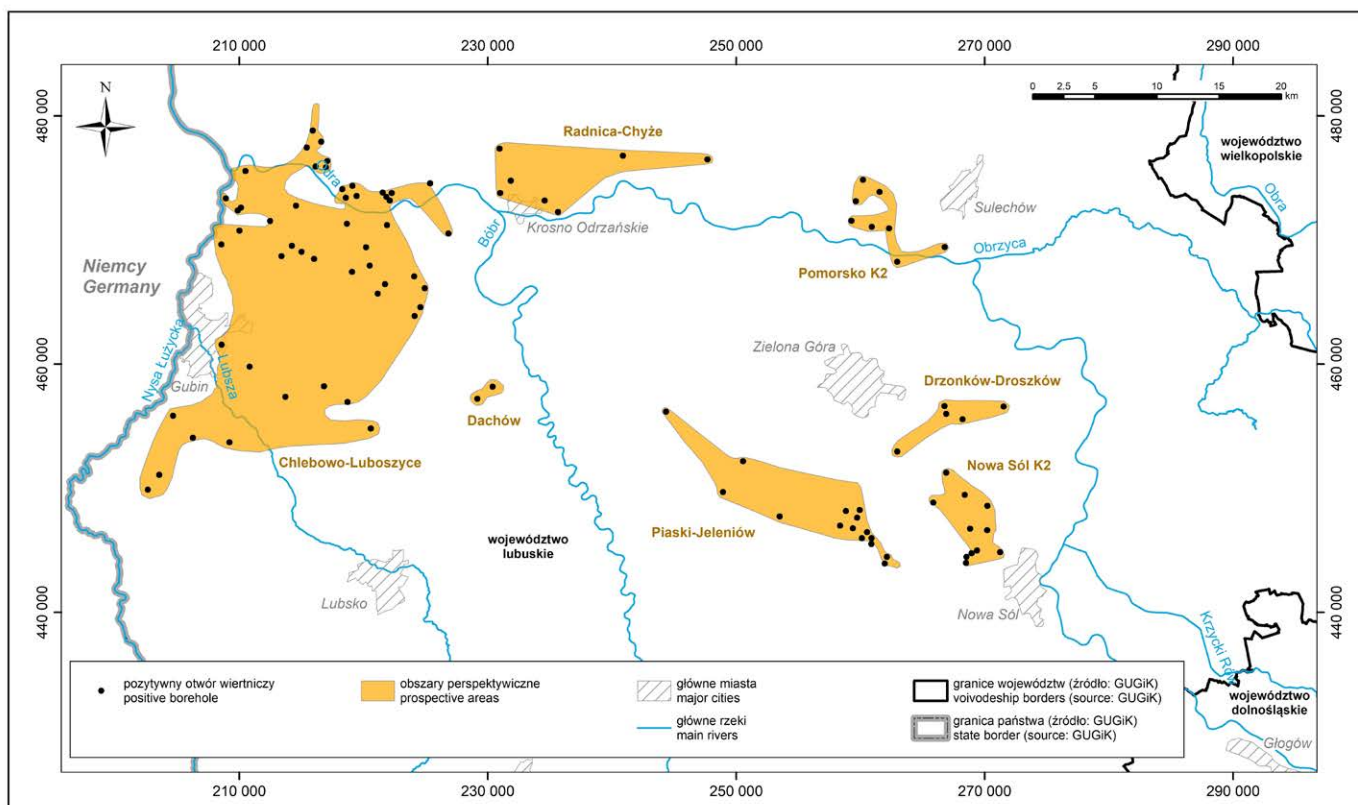
The results of the prospecting works were used in several estimations of potential K-Mg salt resources of SW Poland in the subsequent years (Bąk, Przeniosło 1993; Wołkiewicz et al. 2011; Mikulski et al. 2015; Szamałek et al. 2020). Those estimations involved the determination of the prospective potassium-magnesium salt quantities down to 2 km, assuming the minimum salt seam thickness of 2 m. Lack of regular geochemical sampling of the salt deposits situated on the area subjected to estimations omitted the geochemical criterion of the K_2O content of min. 8%. For that reason, the resource estimations specified rather the quantities of potash-bearing rocks and not the quantities of potassium and magnesium, or their oxides.

The predicted resources have been divided into prognostic and prospective ones. The *prognostic resources* are those calculated down to the depth of 1.5 km, while the *prospective* ones occur from 1.5 km down to 2 km (e.g. Czapowski, Bukowski 2015; Czapowski et al. 2015; Mikulski et al. 2015; Szamałek et al. 2020). The resources were calculated by multiplying the contoured surface areas of salt occurrence (based on positive boreholes) times the averaged salt seam/series thickness (data from the boreholes) and the density of the specific salts, assumed to be 2.1 Mg/m^3 . In the cases of the areas with significant tectonic effects, typical for the Fore-Sudetic Area, the calculated values were reduced down to 30%, in respect of the so-called geological structure complexity factor of 0.3.

Our analysis of the data from the boreholes drilled after 2014 and our reinterpretation of the logging records from older boreholes allowed us to update our knowledge of the prospective occurrence of K-Mg salts on the Fore-Sudetic Area, in comparison to the previous estimates (Szamałek et al. 2020). Presently, estimations of new surface areas and of previously identified resources have been identified and presented.

3.1. Formation of the Older Potash (K2): prospective areas and predicted resources

On the Fore-Sudetic Area, the formation of the Older Potash (K2) was drilled through with a number of boreholes located from the Żary Pericline in the west (SW edge of the Fore-Sudetic Monocline) to the Nowa Sól area in the east. The formation top (or salt seam) occurs at the depth from 975 m SW and S of the Monocline to 1,700–1,925 m in its northern part. Its thickness was found to be much diverse, reaching from several to 30 m (Mikulski et al. 2015; Podemski 1966, 1972a and b, 1975). The K-Mg salt bed is created by intermittent rock salt beds (0.1–1.0 m thick), with sylvine, and the layers of so-called hard salt composed of halite, anhydrite, polyhalite, and kieserite (Podemski 1966, 1972a and b, 1975). The K_2O content in the potash seam is changing from 1 to 15% (in the Wężyska 2 borehole, the K_2O content is 25%), while the weighted average value ranges from 0.5 to 9.5%, and the arithmetic average from 1 to 9%, while in the cases of



Ryc. 2. Obszary perspektywiczne wystąpień soli K-Mg formacji starszej soli potasowej (K2) na obszarze przedsudickim
Fig. 2. Prospective areas with potash-magnesium salt deposits of the Older Potash Formation (K2) in the Fore-Sudetic area

Tabela 2. Charakterystyka obszarów perspektywicznych wystąpień soli potasowo-magnezowych formacji starszej soli potasowej (K2) na obszarze przedsudickim

Table 2. Characteristics of prospective areas with potash-magnesium salt deposits of the Older Potash Formation (K2) in the Fore-Sudetic area

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 POTASONOSNEGO <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	2 461,7	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% probable halite+sylvine and halite+anhydrite +polyhalite, average K ₂ O content = 1–9%
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 <i>Estimated amount of K₂O</i> (mln Mg)		
7	454,0	3 243,35	98	32,43		

K-Mg: OP Chlebowo-Luboszyce, OP Dachów, OP Drzonków-Droszków, OP Nowa Sól K2, OP Piaski-Jeleniów, OP Pomorsko K2 i OP Radnica-Chyże (Tab. 2; Ryc. 2). Są one wyznaczone w oparciu o tzw. otwory pozytywne, w których miąższość pokładu soli K-Mg nie jest mniejsza niż 2 m, zaś głębokość spągu pokładu nie przekracza 2 km.

Spąg pokładu starszej soli potasowej na wskazanych 7 obszarach perspektywicznych jest położony na głębokości od 940,5 m (OP Piaski-Jeleniów) do 1988,0 m (OP Chlebowo-Luboszyce), jego miąższość zmienia się od 2 m do 92 m (OP Chlebowo-Luboszyce; Tab. 2).

Łączna powierzchnia wyróżnionych 7 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 zasoby K₂O wynoszą – przyjmując niską średnią zawartość tlenu potasu 1% – 32,43 mln Mg. Należy podkreślić różny stopień udokumentowania opisanych obszarów, przekładający się na ich powierzchnię 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.

3.2. Formacja młodszej soli potasowej (K3) - obszary perspektywiczne i zasoby przewidywane

Przewiercony wieloma otworami pokład soli K-Mg przypisany formacji młodszej soli potasowej (K3) tworzy na obszarze przedsudeckim szereg izolowanych wystąpień, rozmieszczonych w pasie od Sulechowa na zachodzie po rejon Nowej Sól na wschodzie. Strop pokładu lokuje się na głębokości od 838 m w części SW i S obszaru do 1068 m w części północnej, jego miąższość jest bardzo zróżnicowana, od 1 m do >50 m w rejonie Ługi-Kondratowo (Mikulski i in., 2015; Podemski, 1972a, 1973a, 1974, 1975).

Pokład tworzą 2 strefy potasonośne, przedzielone kilkunastometrową serią soli kamiennej (*op. cit.*):

a) 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 %,

b) strefę górną o miąższości do 12 m tworzą sole z sylwinem, kizerytem i polihalitem, udział K₂O wynosi 1,0-6,0 %, MgSO₄ – 2,0-49,0 %, a 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 od 0,09 % do 9,9 %. Udział NaCl w pokładzie wynosi od 18% do 97%, przeważnie 37-91 % (*op. cit.*).

W oparciu o tzw. pozytywne otwory wiertnicze wydzielono sześć obszarów perspektywicznych: OP Nowa Sól K3, OP

rich sections, this content ranges from 4 to 9% (Mikulski et al. 2015; Podemski 1975).

The criteria specified above allowed us to distinguish seven prospective areas (OP) of the K-Mg salt occurrence: OP Chlebowo-Luboszyce, OP Dachów, OP Drzonków-Droszków, OP Nowa Sól K2, OP Piaski-Jeleniów, OP Pomorsko K2, and OP Radnica-Chyże (Table 2; Fig. 2). The areas were determined on the basis of the so-called positive boreholes in which the K-Mg salt seam thickness is no less than 2 m, with the depth of the deposit bottom not exceeding 2 km.

The bottom of the Older Potash seam of the seven prospective areas are situated at the depths ranging from 940.5 m (OP Piaski-Jeleniów) to 1,988.0 m (OP Chlebowo-Luboszyce), with the seam thickness ranging from 2 to 92 m (OP Chlebowo-Luboszyce; Table 2).

The total surface area of the 7 prospective Older Potash (K2) occurrence on the Fore-Sudetic Area, documented by 98 boreholes, amounts to 454 km², while the predicted resources of the mineral is estimated at 3.2 billion Mg (Table 3). The estimated K₂O amount to 32.43 million Mg, assuming a low average potassium oxide content of 1%. We should emphasise here various degrees of documentation quality relating to the discussed areas, which drawback is reflected in estimated surface and resources: from OP Chlebowo-Luboszyce, with 50 boreholes, surface area of nearly 331 km², and 2.46 billion Mg to OP Dachów, with 2 boreholes, surface area of nearly 3 km², and 6.4 million Mg, respectively.

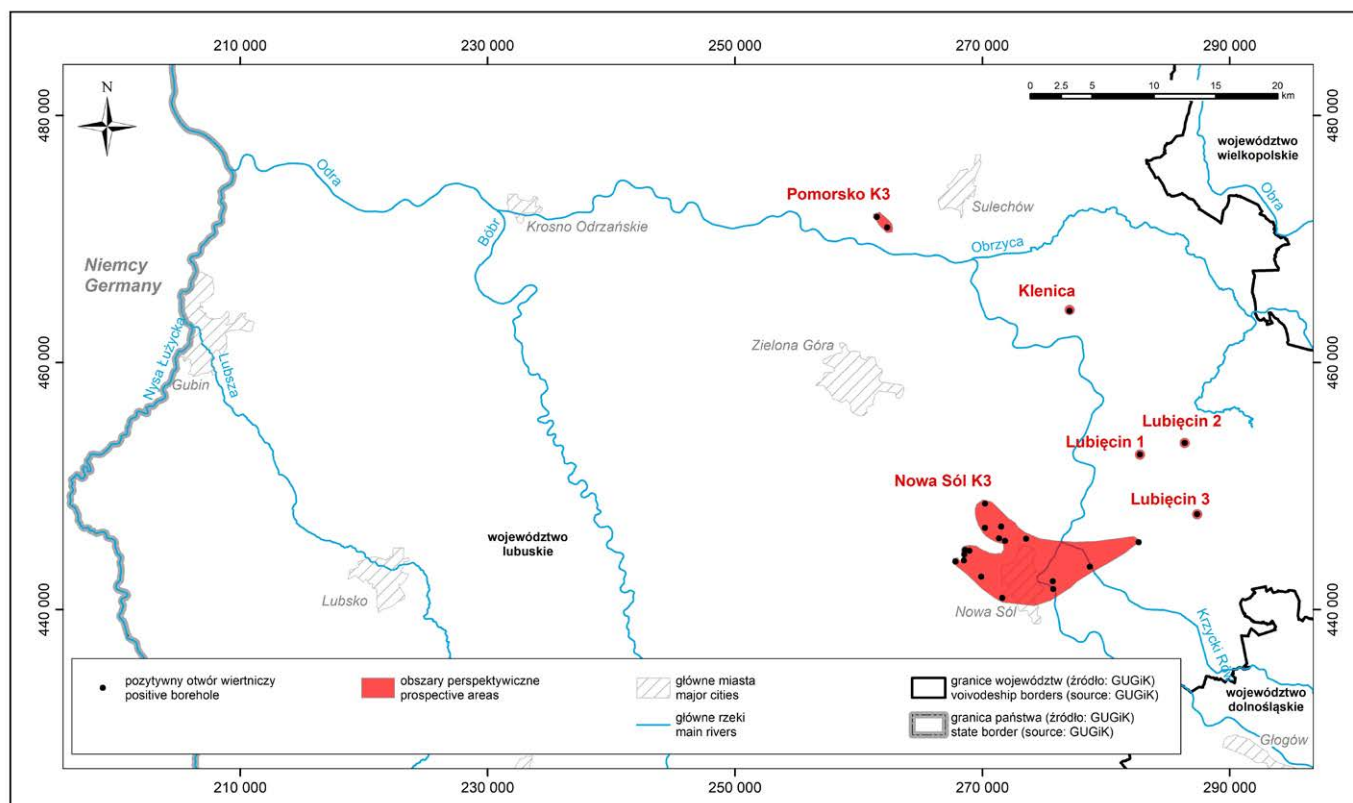
3.2. The younger potassium salt (K3) formation: prospective areas and predicted resources

The K-Mg salt seam, drilled through by a number of boreholes, assigned to the Younger Potash Formation (K3), is composed of many isolated occurrences on the Fore-Sudetic Area. They are distributed in the belt extending from Sulechów in the west to the Nowa Sól area in the east. The seam top is situated at the depth from 838 m in the SW and S to 1,068 m in the northern part, with diverse seam thicknesses ranging from 1 to >50 m in the Ługi-Kondratowo area (Mikulski et al. 2015; Podemski 1972a, 1973a, 1974, 1975). The seam is composed of two potash-bearing zones, separated by a rock salt series about a dozen metres thick (*op. cit.*), as follows:

a) lower potash zone, up to 6 m thick, with rock salts, anhydrite admixtures, and polyhalite interbedding; mineral contents: K₂O 1.0–4.5%, MgSO₄ 2.7–4.6%, and CaSO₄ 3.6–9.9%.

b) upper potash zone, up to 12 m thick, with salts containing sylvine, kieserite, and polyhalites; mineral contents: K₂O 1.0–6.0%, MgSO₄ 2.0–49.0%, and CaSO₄ up to 0.5%.

In the whole Younger Potash salt deposit, the K₂O content is ranging from 1% to 15% (mathematical average: 3–9%, weighted average: 1.4–16.4%); mineral contents: MgSO₄



Ryc. 3. Obszary perspektywiczne wystąpień soli K-Mg formacji młodszej soli potasowej (K3) na obszarze przedsudeckim
 Fig. 3. Prospective areas with potash-magnesium salt deposits of the Younger Potash Formation (K3) in the Fore-Sudetic area

NAZWA OBSZARU <i>Prospective area name</i>	POWIERZCHNIA (km ²) <i>Area</i>	ZASOBY PRZEWIDY- WANE (mln Mg) <i>Predicted resources</i>	STOPIEŃ ROZPOZNANIA GEOLOGICZNEGO (ilość odwiertów) <i>Geological recognition (number of wells)</i>	PARAMETRY POKLADU 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 aso- cjacje mineralne: górna = sylwin, kizeryt, polihalit (zawartość K ₂ O 1-16%); dolna = halit+anhydryt+polihalit (zawartość K ₂ O 1-4,5%) 2 mineral associations: upper = sylvine+ kieserite+ polyhalite K ₂ O content 1-16%; lower = halite+ anhydrite+ polyhalite (K ₂ O content 1-4.5%)
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	
Lubięcin 1	0,5	3,16	1	1495,0	10,0	
Lubięcin 2	0,5	1,27	1	1544,0	4,0	
Lubięcin 3	0,5	1,27	1	1450,0	4,0	
Liczba obszarów <i>Number of areas</i>	Sumaryczna powierzchnia (km²) <i>Total area</i>	Sumaryczne zasoby (mln Mg) <i>Total resources</i>	Sumaryczna liczba otworów <i>Total number of wells</i>	Szacowana ilość K₂O <i>Estimated amount of K₂O</i> (mln Mg)		
6	60,8	288,79	23	2,89		

Tabela 3. Charakterystyka obszarów perspektywicznych wystąpień soli potasowo-magnezowych formacji młodszej soli potasowej (K3) na obszarze przedsudeckim

Table 3. Characteristics of prospective areas with potash-magnesium salt deposits of the Younger Potash Formation (K3) in the Fore-Sudetic area

Pomorsko K3, Klenica, Lubięcín 1, Lubięcín 2 i Lubięcín 3 (Tab. 4, Ryc. 3).

Spąg pokładu młodszej soli potasowej na wskazanych 6 obszarach perspektywicznych jest położony na głębokości od 980,0 m (OP Nowa Sól K3) do 1832,0 m (OP Pomorsko K3), jego miąższość zmienia od 2 m do 50,8 m (OP Nowa Sól K3; Tab. 3).

Łączna powierzchnia wyróżnionych 6 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. 3). Szacunkowe zasoby K₂O wynoszą – przyjmując niską średnią zawartość tlenu potasu 1% – 2,89 mln Mg. 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, reprezentujących utwory formacji starszej i młodszej soli potasowej (K2 i K3) na terenie przedsudeckim, udokumentowanych 121 otworami wiertniczymi, oszacowano na 3,53 mld Mg, zaś ich sumaryczna powierzchnia wynosi 514,8 km². Łączną możliwą do pozyskania ilość K₂O z opisanych obszarów – przy przyjęciu niskiego średniego jego udziału w pokładzie potasonośnym wynoszącego 1% – oszacowano na 35,32 mln Mg

4. WNIOSKI

Nowe dane z wykonanych po 2014 r. otworów wiertniczych w SW Polsce oraz reinterpretacja profili karotazowych wcześniejszych odwiertów umożliwiły ponowne oszacowanie potencjału złożowego pokładowych wystąpień soli potasowo-magnezowych na obszarze przedsudeckim. 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 formacji 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 obrębie pokładu, reprezentującego formację 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.

2–49% and CaSO₄ 0.09–9.9%. The NaCl content in that deposit is ranging from 18 to 97%, mainly 37–91% (*op. cit.*).

Based on the so-called positive boreholes, it was possible to identify six prospective areas, as follows: OP Nowa Sól K3, OP Pomorsko K3, Klenica, Lubięcín 1, Lubięcín 2, and Lubięcín 3 (Table 4, Fig. 3).

The bottom of the Younger Potash seam of the six prospective areas is situated at the depth from 980.0 m (OP Nowa Sól K3) to 1,832.0 m (OP Pomorsko K3). The thickness of the seam is changing from 2 to 50.8 m (OP Nowa Sól K3; Table 3).

The total surface area of the six distinguished occurrences of the Younger Potash (K3) seam on the Fore-Sudetic Area, documented by 23 boreholes, amounts to more than 60 km², while the predicted resources of the mineral have been estimated at 288.8 million Mg (Table 3). The estimated K₂O resources amount to 2.89 million Mg, assuming a low average potassium content of 1%. The quality of documentation is also significant here and that is reflected in the surface area and resource estimations: from OP Nowa Sól K3, with 17 boreholes, surface area of more than 57 km², and 265.6 million Mg of resources, to the areas of Klenica, Lubięcín 1, 2, and 3 that have been documented by single boreholes, with the surface area of 0.5 km² and the resources estimated at 1.3–3.2 million Mg.

We can conclude that the total resources of the discussed mineral, within 13 identified prospective areas of the bedded K-Mg salt occurrences, representing the Older and Younger Potash Formations (K2 and K3) on the Fore-Sudetic Area, documented by 121 boreholes, have been estimated at 3.53 billion Mg, with their total surface area amounting to 514.8 km². The total extractable K₂O quantities available on the said areas have been estimated at 35.32 million Mg, assuming a low average mineral content in the potash-bearing beds of 1%.

4. CONCLUSIONS

New data obtained from the boreholes drilled in SW Poland after 2014 and reinterpretation of the logging records from older boreholes allowed us to re-evaluate the deposit potential of the stratiform potassium-magnesium salt occurrences on the Fore-Sudetic Area. We selected 13 prospective areas, documented by 121 boreholes, with the total surface area amounting to nearly 514 km² and predicted K-Mg salt resources (mainly of the chloride type) estimated at 3.53 billion Mg. The majority of areas contain stratiform deposits of the Older Potash (K2): 7 prospective areas (with 98 boreholes), total surface area of 454 km², and mineral content estimated at 3.2 billion Mg. Within the relevant deposits, representing the Younger Potash Formation (K3), six prospective areas were identified by 23 boreholes, with the total surface area of more

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, 2 i 3 o powierzchni 0,5 km² i zasobach rzędu 1,3–3,2 mln Mg.

Opisane obszary perspektywiczne pokładowych wystąpień soli K-Mg na terenie przedsudeckim mogą zawierać 35,32 mln Mg tlenku potasu, w tym: utwory starszej soli potasowej (K2) – 32,43 mln Mg tlenku potasu zaś utwory młodszej soli potasowej (K3) – 2,89 mln Mg w przeliczeniu na K₂O.

Przedstawione dane wskazują na wysoki potencjał złożowy występowania soli potasowo-magnezowych obszaru przedsudeckiego, tym większy że utwory te budują głównie sole K-Mg typu chlorkowego, łatwe do eksploatacji metodą podziemnego ługowania, bez konieczności budowy kosztownej kopalni podziemnej. Zasadne jest zatem uznanie tego regionu za „polskie zagłębienie potasowe”. Należy jednak podkreślić, że opisane wystąpienia soli K-Mg wymagają dokładnego rozpoznania geologicznego i udokumentowania ich zasobów w kategorii umożliwiającej podjęcie działalności górniczej.

Podziękowania. Autorzy dziękują Recenzentom pracy: dr hab. inż. Katarzynie Cyran (AGH) i dr hab. Stanisławowi Burlidze (Uniw. Wrocławski) za cenne uwagi i sugestie.

than 60 km² and the mineral resources estimated at 288.8 million Mg.

We should emphasise here a large diversity of the sizes and volumes of the resources belonging to the prospective areas: from the vast OP Chlebowo-Luboszyce, with the surface area of nearly 331 km² and 2.46 million Mg of salt to such small areas as Klenica, Lubięcín 1, 2, and 3, with total surface area of 0.5 km² and the mineral resources estimated at 1.3–3.2 million Mg.

The prospective areas of the stratiform K-Mg salts occurring on the Fore-Sudetic Area under discussion may contain 35.32 million Mg of potassium oxide, including the Older Potash (K2) estimated at 32.43 million Mg of potassium oxide and the Younger Potash (K3) estimated at 2,89 million Mg, recalculated to K₂O.

The data presented here indicate a high potential of the deposits, as regards the occurrence of potassium-magnesium salts on the Fore-Sudetic Area. The more so as the relevant formations are made up mainly of chloride K-Mg salts that are easy to extract by the solution mining method, without the necessity to construct costly underground mines. Therefore, it is justified to recognise the region under discussion as the real Polish Potash District. However, we need to emphasise that the K-Mg occurrences described here required detailed geological prospecting and resource documentation that would be suitable for the future decision of starting any mining operations.

Acknowledgements. The authors wish to thank the following Reviewers: Dr. hab. inż. Katarzyna Cyran (AGH) and Dr. hab. Stanisław Burliga (University of Wrocław) for their valuable remarks and suggestions.

LITERATURA/ REFERENCES

- BAK B., PRZENIOSŁO S. (red.), 1993. Zasoby perspektywiczne kopalni Polski wg stanu na 31.XII.1990 r. PIG, Warszawa.
- BRAITSCHE O., 1971. Salt deposits: their origin and composition. 1-197. Springer-Verlag, New York.
- BORNEMANN O., BEHLAU J., FISCHBECK R., HAMMER J., JARITZ W., KELLER S., MINGERZAHN G., SCHRAMM M., 2008. Standortbeschreibung Gorleben, Teil 3: Ergebnisse der über- und untertägigen Erkundung des Salinars. *Geologisches Jahrbuch, R. C.*, 73: 1-211. Hannover.
- CHARYSZ W., 1973. Cechszyńskie piętro soli młodszych (Z3) w regionie kujawskim. *Prace Instytutu Geologicznego*, 75: 1-68.
- CZAPOWSKI G., 1993. Facies characteristics and distribution of the Zechstein (Upper Permian) salt deposits of PZ3 (Leine) Cycle in Poland. *Bull. Pol. Acad. Sciences, Earth Sciences*, 41 (4): 229-237.
- CZAPOWSKI G., 1995. Upper Permian (Zechstein) salt deposits on the Żary Pericline - characteristics, origin and economical value. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 150: 35-60.
- CZAPOWSKI G., 2017. Potencjał zasobowy soli kamienniej i soli potasowo-magnezowych obszaru przedsudeckiego. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 469: 105-128.
- CZAPOWSKI G., ANTONOWICZ L., PERYT T. M., 1991. Facies and paleogeography of the Zechstein (Upper Permian) Older Halite (Na₂) in Poland. *Bull. Pol. Acad. Sciences, Earth Sciences*, 38 (1-4): 45-55.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2013. Potencjał zasobowy soli kamienniej i soli potasowych w Polsce a perspektywy jego wykorzystania. *Górnictwo Odkrywkowe*, 54 (2): 74-84.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2015. Mapy wystąpień zasobów perspektywicznych soli w Polsce jako narzędzie w projektowaniu przyszłego zagospodarowania złóż kopalni. *Przegląd Solny*, 11: 5-31.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., GAŚIEWICZ A., SĄDŁOWSKA 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. *Przegląd Geologiczny*, 63 (9): 561-571.
- 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. *Applied Sciences*, 12. <https://doi.org/10.3390/app12147183>

- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., PERYT T. M., TOMASZCZYK M., CHEŁMIŃSKI J., 2009. Złoża permskiej soli kamiennej i potasowej w rejonie Zatoki Puckiej – budowa geologiczna i zasoby. *Przegląd Geologiczny*, 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. *Geology, Geophysics & Environment*, 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. *Przegląd Geologiczny*, 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? *Przegląd Solny*, 16: 43-66.
- DAWIDOWSKI S., 1976. Obecne rozpoznanie koncentracji soli potasowych młodszych (K3) w okolicy Nowej Soli i perspektywy ich gospodarczego zastosowania. *Przegląd Geologiczny*, 24 (9): 545-546.
- GARLICKI A., SZYBIST A., 1986. Salinarne osady polskiego cechsztynu z solami potasowo-magnezowymi. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 2 (3-4): 389-404.
- HANCZKE T., 1969. Mineralogia i petrografia soli cechsztyńskich kopalni Kłodawa. *Prace Muzeum Ziemi*, 16:3-52.
- KIJEWSKI P., 1988. Sole cechsztyńskie na północ od Wrocławia. *Konf. nauk. nt. Wybrane zagadnienia złóż Polski Zachodniej*, Wrocław 1988: 60-75.
- KOZUR H., 1994. The Correlation of the Zechstein with the Marine Standard. *Jb. Geol. Bundesanstalt*, 137 (1): 85-103.
- LUKJANOWA I. W., BOGDANOW J. B., WASILJEWA O. W., WARGIN G. P., 2011. Gassudarstwiennaja geologiczieskaja karta Rossyjskoj Fiederacji. Masztab 1: 100 000 (trzeci pokolenie). Serija Cienratralno-Jewropiejskaja. List N-(34) – Kalinninograd. Objasnitielnaja zapiska. 1-253. Sankt-Petersburg.
- ŁASZKIEWICZ A., 1967. Minerale i skały solne. *Prace Muzeum Ziemi*, 11: 101-188.
- MANECKI A., 2019. Mineralogia szczegółowa. Rozpoznawanie, występowanie, znaczenie minerałów. 1-367. MineralPres, Kraków.
- MIKULSKI S. Z., OSZCZEPALSKI S., CZAPOWSKI G., SAŁDOWSKA K., GAŚIEWICZ A., MARKOWIAK M., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., SZTROMWASSER E., KOŹMA 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 zagospodarowania przestrzennego. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 1714/2015, Warszawa
- PADUSZYŃSKI J., 1961. Dokumentacja soli potasowych występujących w profilu odwiertu Nowa Sól Geo-1 (z próbą obliczenia zasobów K₂O przypadających na 1 km²). Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 4121/142, Warszawa
- PASIECZNA A., 1987. Badania mineralogiczno-geochemiczne cechsztyńskich utworów siarczanowych z rejonu Zatoki Puckiej. *Archiwum Mineralogiczne*, 43 (1):19-40..
- PAUL J., 1986 - Environmental analysis of basin and schwellen facies in the Lower Zechstein of Germany. *Geol. Society Special Publication*, 22:143-147.
- PAUL J., HEGGENMAQNN H., DITRICH D., HUG-DIEGEL N., HUCKRIEDE H., NITSCH E., AG ZECHSTEIN der SHPT/DSK, 2018. Erläuterungen zur Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2016: die Zechstein-Gruppe. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 169 (2): 139-145.
- PERYT T. M., GELUK M., MATHIESEN A., PAUL J., SMITH K., 2010 - Zechstein, Chapter 8. W: Doornenbal J. C & Stevenson A. G. (eds) „Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area”. EAGE Publications, b. v. Houten: 1-342.
- POBORSKI J., 1960. Cechsztyńskie zagłębienie solne Europy środkowej na Ziemiach Polskich. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 30 (II):355-373.
- POBORSKI J., 1961 - Główne kierunki poszukiwań soli potasowo-magnezowych w Polsce. *Przegląd Geologiczny*, 9 (11): 570-573.
- POBORSKI J., 1964. Stosunki facjalne w zagłębieniu cechsztyńskim w Polsce. *Kwartalnik Geologiczny*, 8 (1):111-121.
- POBORSKI J., 1965. Perspektywy poszukiwań i eksploatacji soli potasowych w Polsce. *Przegląd Geologiczny*, 13 (5):189-191.
- POBORSKI J., 1969. Rozwój idei potasonośnego zagłębienia gdańskiego w systemie permskim. *Przegląd Geologiczny*, 17 (5): 231-235.
- POBORSKI J., 1970. The Upper Permian Zechstein in the Eastern Province of Central Europe. 3rd Symposium on Salt, 1: 24-29. Cleveland.
- POBORSKI J., PROCHAZKA K., WALA A., 1956. Sole potasowo-magnezowe w złożach Inowrocławia i Wapna. *Acta Geologica Polonica*, 6 (4): 337-370.
- PODEMSKI M., 1964. Projekt poszukiwań pokładowych złóż soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w strefie przedsudeckiej. wraz z aneksami nr 1, 2 i 3. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 4120/45 (stara 52/94 z. 27), Warszawa.
- PODEMSKI M. 1966. Sole potasowe cechsztyńskiego poziomu starszej soli potasowej (K2) z okolicy Nowej Soli. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 4121/191, Warszawa.
- PODEMSKI M., 1970. Perspektywy poszukiwań złóż soli potasowych na peryklinie Żar w świetle wyników badań sejsmicznych przeprowadzonych przez Program Rozwoju ONZ. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 52/100, Warszawa.
- PODEMSKI M., 1971. Perspektywy poszukiwań złóż soli potasowych na peryklinie Żar w świetle wyników badań sejsmicznych, przeprowadzonych przez Program Rozwoju ONZ. *Kwartalnik Geologiczny*, 15 (4): 990-991.
- PODEMSKI M., 1972a. Cechsztyńskie sole kamienne i potasowe cyklotomów Z2, Z3 w okolicach Nowej Soli. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 260 (2): 5-62.
- PODEMSKI M., 1972b. Poziom soli potasowej starszej w rejonie Zielonej Góry. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 4121/401, Warszawa.
- PODEMSKI M., 1973a. Sedymentacja cechsztyńska zachodniej części monokliny przedsudeckiej na przykładzie okolic Nowej Soli. *Prace Instytutu Geologicznego*, 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. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr DS/259 z.12 oraz 14624, Warszawa.

- PODEMSKI M., 1974. Wyniki dotychczasowych badań soli potasowych w strefie przedsudeckiej. *Przegląd Geologiczny*, 21 (1): 7-12.
- PODEMSKI M., 1975. Sole cechsztyńskie w rejonie struktury Rybaki. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 286 (III): 5-63.
- RACKI G., NARKIEWICZ M. (reds), 2006. Polskie Zasady Stratygrafii. 1-78. PAN,PIG, Warszawa.
- RICHTER-BERNBURG G., 1955. Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 105: 843-854.
- RICHTER-BERNBURG G., 1984. Cykliczna sedymentacja cechsztyńska. *Kwartalnik Geologiczny*, 28 (3-4): 751-752.
- SOKOŁOWSKI J., 1967. Charakterystyka geologiczna i strukturalna obszaru przedsudeckiego. *Geologia Sudetica*, 3: 297-367.
- SONNENFELD P., 1984. Brines and evaporites. 1-613. Academic Press Inc, Orlando.
- STĘPNIEWSKI M., 1973. Niektóre pierwiastki śladowe w cechsztyńskich minerałach solnych z rejonu Zatoki Puckiej. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 272 (10): 7-68.
- SZAMAŁEK K., SZUFLICKI M., MIZERSKI W. (red.) 2020. Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski. 1-475. PIG-PIB, Warszawa.
- SZUFLICKI M., MALON A., TYMIŃSKI M. (red.), 2022. Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych Polsce wg stanu na 31.XII.2021 r. 1-508, PIG-PIB, Warszawa.
- TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G., SKOWROŃSKI L., 2004. Ewolucja zasolenia wód cechsztyńskich zbiorników ewaporacyjnych na obszarze Polski w świetle danych geochemicznych. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 1602/2004, Warszawa.
- TOMASZEWSKI J. B., 1962. Utwory solne cechsztynu monokliny przedsudeckiej w rejonie Lubin-Sieroszowice. *Przegląd Geologiczny*, 10 (12): 668-671.
- WAGNER R., 1981. Some problems of the Zechstein stratigraphy in Poland. Proc. Intern. Symp. Central Europ. Permian: 398-399. Warszawa.
- WAGNER R., 1986. Problemy formalnej litostratygrafii cyklotomów ewaporatowych na przykładzie cechsztynu. *Przegląd Geologiczny*, 34 (5): 250-254.
- WAGNER R., 1987. Stratigraphy of the Uppermost Zechstein North Western Poland. *Bull. Pol. Acad. of Sciences, Earth Sciences*, 35 (3): 265-273.
- WAGNER R., 1991. Stratigraphie des höchsten Zechstein in Polnischen Zentralbecken. *Zbl. Geol. Paläont.*, I (4): 883-892. .
- WAGNER R., 1995. Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 146: 1-71.
- WAGNER R., PERYT T. M., 1998. O możliwościach podziału cechsztynu w sekwencji stratygraficznej w basenie polskim. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 155: 129-146.
- WAGNER R., PIĄTKOWSKI T. S., PERYT T. M., 1978. Polski basen cechsztyński. *Przegląd Geologiczny*, 26 (12): 673-786.
- WERNER Zb., 1959. Dokumentacja geologiczna złoża soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w Kłodawie. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 3928/370, 13226. Warszawa.
- WERNER Zb., 1962. Dokumentacja geologiczna złoża soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w kłodawskim wydazie solnym. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 3927/209, 1919. Warszawa.
- WERNER Zb., 1969 - Złoże polihalitu w rejonie Swarzewa, pow. Puck, woj. Gdańsk. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 2926/87, Warszawa.
- WERNER Z., 1971. Dokumentacja geologiczna złoża polihalitu „Swarzewo”, pow. Puck. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 3027/213, Warszawa.
- WERNER Zb., 1972a. Dokumentacja geologiczna złoża polihalitu „Zdrada”, pow. Puck. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 3026/113/36, Warszawa.
- WERNER Zb., 1972b. Złoże soli potasowych w rejonie Zatoki Puckiej. Przewodnik 54 Zjazdu PTG, Cetniewo: 37-46.
- WERNER Zb., 1973. Dokumentacja geologiczna złoża polihalitu „Zdrada”, pow. Puck. Opracowanie uzupełniające. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 3026/113/36, Warszawa.
- WERNER Zb., 1974. Dodatek do dokumentacji geologicznej złoża polihalitu „Swarzewo”, pow. Puck. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 2927/40, Warszawa.
- WERNER Z., (z zespołem), 1979. Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej w kat. C1 w rejonie Zatoki Puckiej. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 13050 CUG, Warszawa.
- WERNER Zb., DAWIDOWSKI J. S., 1976. Poszukiwanie złóż soli potasowych na monoklinie przedsudeckiej. A/73 Podsumowanie wyników I etapu i projekt dalszych prac poszukiwawczych soli potasowych w rej. Nowej Soli. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 4121/140, Warszawa.
- WERNER Z., ORSKA E., KOTOWSKI A., WROTNOWSKA B., 1967. Dokumentacja geologiczna złoża polihalitu i soli kamiennej „Chłapowo-Mieroszyno”. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 2973/32. Warszawa
- WERNER Zb., POBORSKI J., ORSKA J., BĄKOWSKI J., 1960. Złoże solne w Kłodawie w zarysie geologiczno-górnictw. *Prace Instytutu Geologicznego*, 30: 467-512.
- WERNER Zb., PODEMSKI M., 1971. Wyniki dotychczasowych badań złóż soli potasowych w Polsce i program dalszych poszukiwań. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB nr 9692 [0b0/1265 z. 28], Warszawa.
- WOŁKOWICZ S., SMAKOWSKI T., SPECZIK S. (red.), 2011. Bilans perspektywicznych zasobów kopalin wg stanu na 31.XII.209 r. PIG-PIB, Warszawa.
- ZWIERZYCKI J., 1951. Sole potasowe na północ od Wrocławia. *Prace Instytutu Geologicznego*, 7: 257-291.