

## Obszary perspektywicznych wystąpień i zasoby przewidywane surowców chemicznych Polski na mapach w skali 1 : 200 000 – sól kamienna, sole potasowo-magnezowe i siarka

Grzegorz Czapowski<sup>1</sup>, Krzysztof Bukowski<sup>2</sup>, Andrzej Gąsiewicz<sup>1</sup>, Katarzyna Sadłowska<sup>1</sup>



G. Czapowski



K. Bukowski



A. Gąsiewicz



K. Sadłowska

**Prospective areas and predicted resources of natural chemical raw materials in Poland presented on the maps at scale 1 : 200 000 – rock and potash salts and native sulphur.** *Prz. Geol.*, 63: 561–571.

*Abstract.* The map sheets at scale 1 : 200 000 illustrate the areas of prospective occurrences of natural chemical raw materials (rock and potash salts and native sulphur) in Poland. Fourteen prospective regions and 64 areas of Upper Permian rock salt with predicted (both prospective and prognostic ones) resources of ca.  $4.052 \cdot 10^{12}$  Mg and the total area of ca.

$31.6 \cdot 10^3$  km<sup>2</sup> have been contoured on 57 map sheets. Prospective occurrences of the Miocene rock salt are defined in four areas located on four map sheets and their predicted resources are calculated for  $6.9 \cdot 10^9$  Mg and the total area for ca. 137 km<sup>2</sup>. Twelve prospective areas of Upper Permian potash salts, contoured on eight map sheets, have the total predicted resources of ca.  $3638.1 \cdot 10^6$  Mg and the total area of ca. 465 km<sup>2</sup>. Eleven prospective areas are defined for native sulphur concentrations within the Miocene deposits of the Carpathian Foredeep (five map sheets, southern Poland). Their prospective (both prognostic and hypothetical ones) resources are estimated for ca.  $390 \cdot 10^6$  Mg and the total area for ca. 73 km<sup>2</sup>. The maps have been supplemented with the individual reports on each prospective region and area, including all geographical and geological data on the described raw material occurrence, as well as with suggestions on their possible management.

**Keywords:** natural chemical raw materials, resources, maps, Poland

Pierwszą próbę określenia zasad prognozowania i oszacowania zasobów perspektywicznych kopalin w Polsce przedstawiono w 1979 r. w niepublikowanym opracowaniu Instytutu Geologicznego, wykonanym pod redakcją R. Osiki (Osika, 1979). Kolejne podobne niepublikowane opracowania przygotowano w 1980 r. (Bednarczuk i in., 1980) i w 1986 r. (Bolewski & Gruszczuk, 1988). Natomiast w pierwszej opublikowanej monografii (Bąk & Przeniosło, 1993) przedstawiono wielkość zasobów perspektywicznych poszczególnych typów kopalin wg stanu ich rozpoznania do końca 1990 r. W 2011 r. opublikowano (Wołkowicz i in., 2011) szacunki wystąpień zasobów perspektywicznych wybranych kopalin, oparte na stanie ich rozpoznania geologicznego do 2009 r. Mankamentem obu prac był wysoki stopień uogólnienia, szczególnie przez wyznaczenie obszarów perspektywicznych występowania danej kopaliny w skali regionalnej i w konsekwencji – odpowiednio przybliżone oszacowanie wielkości zasobów.

Próbą bardziej precyzyjnego wskazania obszarów perspektywicznych i oceny ich zasobów był zrealizowany w latach 2013–2015 projekt przedstawienia na arkuszach map topograficznych w skali 1 : 200 000 perspektywicznych wystąpień wybranych kopalin: rud metali i surowców chemicznych oraz oszacowania ich zasobów (Mikulski i in., 2015). W projekcie uwzględniono także możliwe konflikty w przypadku zagospodarowania wskazanych wystąpień, wynikające z uwarunkowań środowiskowych i stopnia zagospodarowania przestrzennego terenu. Uzyskane dane od-

nośnie obszarów i wielkości zasobów różnią się od wcześniejszych szacunków wskutek zarówno modyfikacji przyjętych założeń wyznaczania zasobów dla poszczególnych typów kopalin, jak i uwzględnienia nowych danych geologicznych.

Prezentowana praca wskazuje na znaczenie opracowanych map dla wiedzy o potencjalnych wystąpieniach i zasobach surowców chemicznych: soli kamiennej, soli potasowo-magnezowych i siarki. Jak to zaznaczono powyżej, waga tego typu prac wybiega poza zwykłą publikację rezultatów prowadzonych prac studialnych. Dotychczasowa praktyka wskazuje, że te dwa aspekty zarządzania zasobami, tj. przestrzeń zagospodarowania i zasobami naturalnymi, są niepowiązane ze sobą, a mają znaczenie dla rozwoju kraju. Brak bowiem uregulowań ustawowych zobowiązujących administrację państwową i samorządową do respektowania wyników prac państwowej służby geologicznej. Ma to kluczowe znaczenie dla zrównoważonego rozwoju kraju. Pomijając urbanizację, zbiorniki wodne i sieć rzeczną oraz rozmaite ciągi infrastrukturalne i filary ochronne, w raporcie przygotowanym przez zespół fundacji demosEUROPA – Centrum Strategii Europejskiej i Instytut Fridtjofa Nansena wskazano na „... wcześniejszą potrzebę odpowiedniego rozpoznania zasobów znajdujących się na terenie kraju...”, a ponadto, że obecnie aż „...24% powierzchni kraju jest objętych różnymi formami ochrony środowiska, które bardzo często uniemożliwiają ich eksploatację, podobnie jak niewłaściwie prowadzone plany zagospo-

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl.

<sup>2</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; buk@agh.edu.pl.

wania przestrzennego, nie uwzględniającego złóż...” (Blusz i in., 2015). Niniejsza praca, stanowiąca fragment większego opracowania zbiorowego, podjęta wcześniej i niezależnie w duchu racjonalności zarządzania zasobami naturalnymi, wychodzi naprzeciw tym całkowicie uzasadnionym potrzebom. W szerszym kontekście wiąże się to bezpośrednio z realizacją idei zrównoważonego rozwoju.

Przedstawione poniżej wyniki badań odnoszą się do oszacowania zasobów z grupy surowców chemicznych Polski. Pozostałe typy kopalni ujęte we wspomnianym projekcie są omówione w odrębnych publikacjach (Mikulski, 2015; Mikulski & Sadłowska, 2015; Oszczepalski & Chmielewski, 2015; Sztromwasser i in., 2015).

## GLÓWNE SUROWCE CHEMICZNE POLSKI

Polska, podobnie jak niektóre kraje europejskie, np. Niemcy, Hiszpania, Włochy, Ukraina czy Rumunia, jest dość zasobna w surowce chemiczne, głównie w sól kamienną i siarkę, zaś w mniejszym stopniu w sole potasowo-magnezowe. Wystąpieniom soli i siarki towarzyszą utwory siarczanowe: gipsy i anhydryty, zaliczane do surowców skalnych i wykorzystywane głównie w budownictwie. W artykule skoncentrowano się na perspektywicznych wystąpieniach soli i siarki, wyznaczonych na mapach w skali 1 : 200 000.

Sól kamienna w Polsce występuje głównie w utworach permu górnego na ponad 50% obszaru kraju (Czapowski & Bukowski, 2009, 2010, 2011, 2013; Czapowski i in., 2008a, b), od Bałtyku po Małopolskę i Sudety. Na tym obszarze pokłady soli stanowią istotny miąższościowo składnik czterech cyklotemów i budują liczne wysady i poduszki solne na terenie Pomorza Zachodniego i Kujaw. Rozpoznanie tych utworów sięga XVII w., zaś górnicze pozyskiwanie soli to dopiero XIX w. (kopalnia soli w Inowrocławiu). W utworach cechsztynu stwierdzono też występowanie soli potasowo-magnezowych, o lokalnie udokumentowanych zasobach, np. w kłodawskim wysadzie solnym czy w rejonie Zatoki Puckiej (Czapowski i in., 2008b, 2012, 2014).

Mniejsze ilości soli kamiennej kryją się w utworach miocenu w zapadlisku przedkarpackim w południowej Polsce, gdzie były eksploatowane górniczo od XIII w. Obecnie zamknięte stare kopalnie soli stanowią pomniki światowego dziedzictwa kulturowego (kopalnia w Wieliczce) i atrakcyjne obiekty turystyczno-rekreacyjne (kopalnie w Wieliczce i Bochni).

Odkryte w II połowie XX w. nowe złoża siarki rodzimej (Kubica, 1994a), jak również historyczne stanowiska miejscowej eksploatacji siarki w Polsce, znane od XV w. (Osmólski, 1971), są związane z brzeźną częścią zapadliska przedkarpackiego, brak ich natomiast w jego głębiej położonej części (por. np. wyniki wierceń w rejonie Alfredówki–Gwoźdźca; Gąsiewicz, 1989). Taka strefowość występowania złóż siarki nie jest przypadkowa i jest związana z warunkami sedymentacyjno-strukturalnymi w badeńskim basenie ewaporatowym tego regionu Polski.

Zarówno budowa geologiczna złóż siarki, jak i cechy sedymentologiczne utworów siarkonośnych wskazują na ich związek z paleowyniesieniami podłoża (np. Pawłowski i in., 1985; Kubica, 1992; Gąsiewicz, 2000). Złoża te są związane z progami strukturalnymi występującymi w podłożu poziomu ewaporatowego, niekiedy częściowo pozbawionymi utworów jednostki ewaporatowej (Pawłowski i in., 1987; Kubica, 1992, 1994b).

Warunki sedymentacyjno-strukturalne brzeźnej części zapadliska przedkarpackiego tworzą przesłanki dla dalszych wystąpień koncentracji siarki, które po bliższym rozpoznaniu mogą mieć znaczenie przemysłowe. Pozwała to na dokonanie oceny zasobów perspektywicznych. Wyznaczenia obszarów perspektywicznych dla koncentracji siarki rodzimej dokonano na mapach topograficznych w skali 1 : 200 000. Wszystkie wydzielone obszary znajdują się w mioceńskim (badeńskim) poziomie ewaporatowym (seria chemiczna). Koncentracje siarki rodzimej są typu pokładowego.

## KONSTRUKCJA MAP I KRYTERIA SZACOWANIA ZASOBÓW

### Sól kamienna i sole potasowo-magnezowe

Opracowane mapy obszarów perspektywicznych wystąpień soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych w Polsce to łącznie 65 arkuszy map topograficznych w skali 1 : 200 000 (57 arkuszy map dla soli kamiennej, np. ryc. 1, i 8 arkuszy dla soli potasowo-magnezowych, np. ryc. 2). Mapy te przygotowano w 2 wersjach: „geologicznej” i „środowiskowej”. W wersji „geologicznej” map umieszczono na nich następujące podstawowe elementy:

– aktualny zasięg występowania utworów solonośnych (odpowiednio górnego permu i środkowego miocenu) oparty na najnowszych materiałach publikowanych (Dadlez i in., 1998; Bukowski, 2011), uściślony na podstawie danych z otworów wiertniczych, zawartych w Centralnej Bazie Danych Geologicznych (CBDG);

– kontury wystąpień utworów solnych, reprezentujących zasoby przewidywane (z podziałem, gdy było to możliwe, na zasoby prognostyczne i zasoby perspektywiczne), ustalone na podstawie przedstawionych poniżej kryteriów (tab. 1);

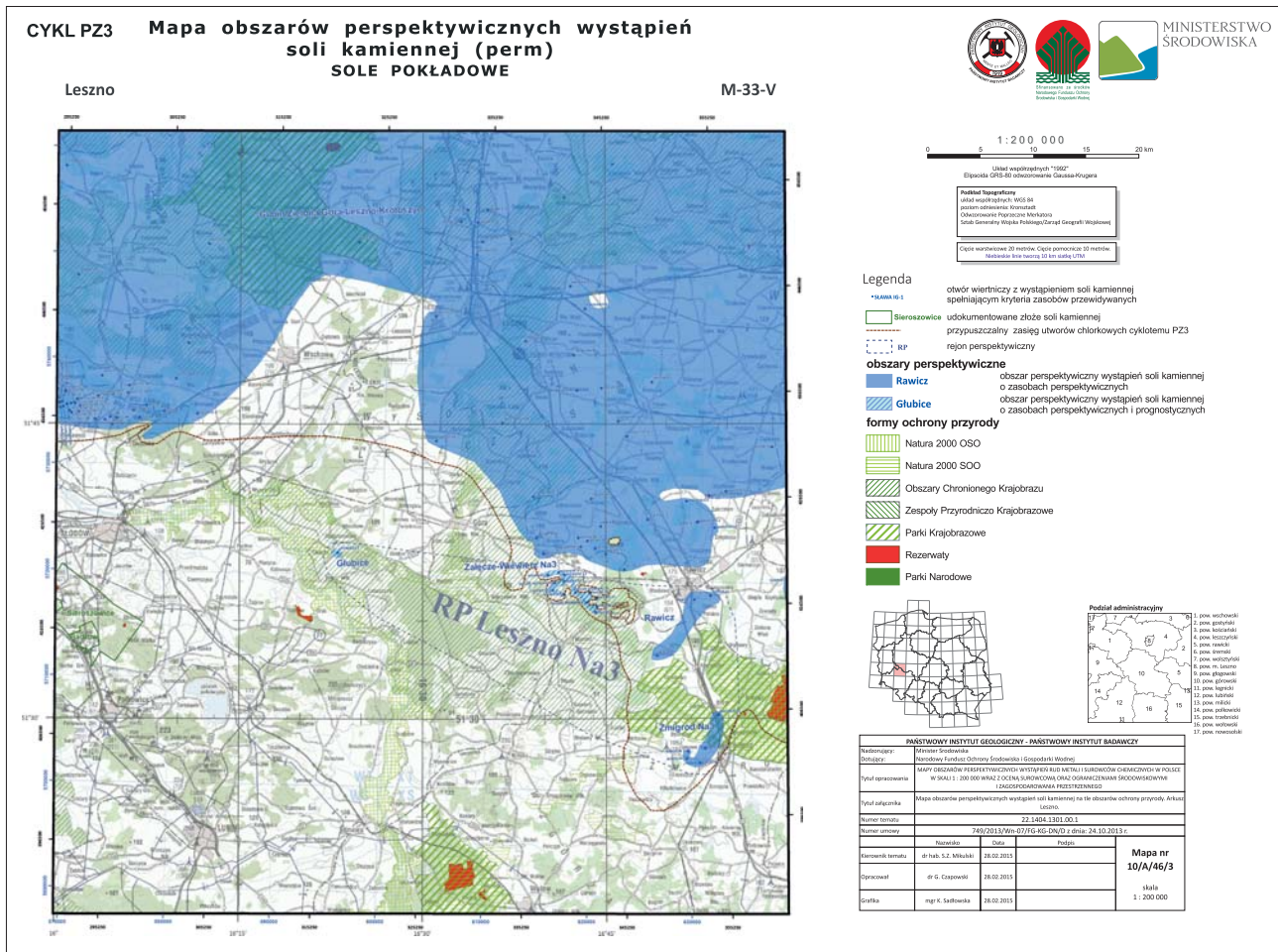
– przypuszczalny zasięg wystąpień utworów solnych, odpowiadający zasobom przewidywanym (wyznacza go głębokość występowania spągu utworów solnych – 2000 m),

– wybrane otwory wiertnicze, na podstawie których ustalono obszary perspektywiczne wystąpień utworów solnych o zasobach przewidywanych (lokalizacja otworów oparta na danych zawartych w CBDG);

– kontury wybranych wysadów solnych, dla których oszacowano zasoby przewidywane, określone na podstawie aktualnych dokumentacji geologicznych i publikacji (Dadlez, 1998). Przedstawione kontury wysadów solnych ilustrują najczęściej wielkość powierzchni przeciętego słupa solnego w przypadku wysadów przebiegających się przez utwory mezozoiczne i nie odzwierciedlają one zmian w przekroju danego wysadu na różnych wysokościach słupa solnego. Obliczone na podstawie tych powierzchni przewidywane zasoby soli stanowią jedynie część całkowitych zasobów górotworu solnego, występujących do głębokości 2000 m (ich dokładne oszacowanie wymagałoby opracowania modelu 3D każdego wysadu);

– kontury udokumentowanych złóż soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych (oparte na aktualnych dokumentacjach geologicznych).

Obszary wystąpień zasobów przewidywanych (tzw. perspektywiczne) zostały opatrzone nazwami, pochodzącymi zwykle od najbliższej dużej miejscowości. Tak wyznaczone obszary mogą obejmować kilka sąsiadujących arkuszy map lub w przypadku niewielkiego rozprzestrzenienia i występowania kilku obszarów w bliskim sąsiedztwie



**Ryc. 1.** Obszary i rejon perspektywiczne wystąpień pokładowych soli kamiennej cyklotemu PZ3 cechu sztywno na terenie Polski południowo-zachodniej. Arkusz Leszno mapy topograficznej w skali 1 : 200 000

**Fig. 1.** Prospective areas and regions of stratiform rock salts of the PZ3 Zechstein cyclothemed on the Leszno map sheet at scale 1 : 200 000 (south-western Poland)

zostały zgrupowane w większe „rejon perspektywiczne” (ich nazwy wywodzą się zwykle od dużych miejscowości).

Szczegółową charakterystykę wystąpień soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych na poszczególnych obszarach przedstawiono w „Kartach obszarów i rejonów perspektywicznych”. Karty te (ryc. 3) zawierają następujące informacje: nazwę i lokalizację obszaru i rejonu (region geograficzny, arkusz mapy topograficznej, regionalna jednostka strukturalna wg Żelaźniewicza i in., 2011), stan jego rozpoznania, formę wystąpienia (np. pokład, wyślad solny, wiek i podstawowa stratygrafia utworów solnych) omawianej kopaliny i jej podstawowy skład mineralny, główne parametry złożowe (np. głębokość stropu i spągu oraz miąższość utworów solnych), typ i wielkość oszacowanych zasobów, obecność udokumentowanych złóż omawianej kopaliny, aktualne koncesje na rozpoznanie kopaliny chemicznej wg danych Ministerstwa Środowiska oraz ocenę perspektyw dalszego poszukiwania lub/i zagospodarowania zasobów surowca w danym obszarze. Załączone tabele zawierają główne dane o występowaniu serii solnej w otworach wiertniczych wyznaczających określony obszar perspektywiczny.

W wersji „środowiskowej” map (Mikulski i in., 2015), oprócz wymienionych wcześniej elementów, umieszczono także obszary chronionego środowiska naturalnego (np. parki narodowe i obszary przyrody chronionej, obszary Natura 2000) i infrastrukturę powierzchniową (np. miej-

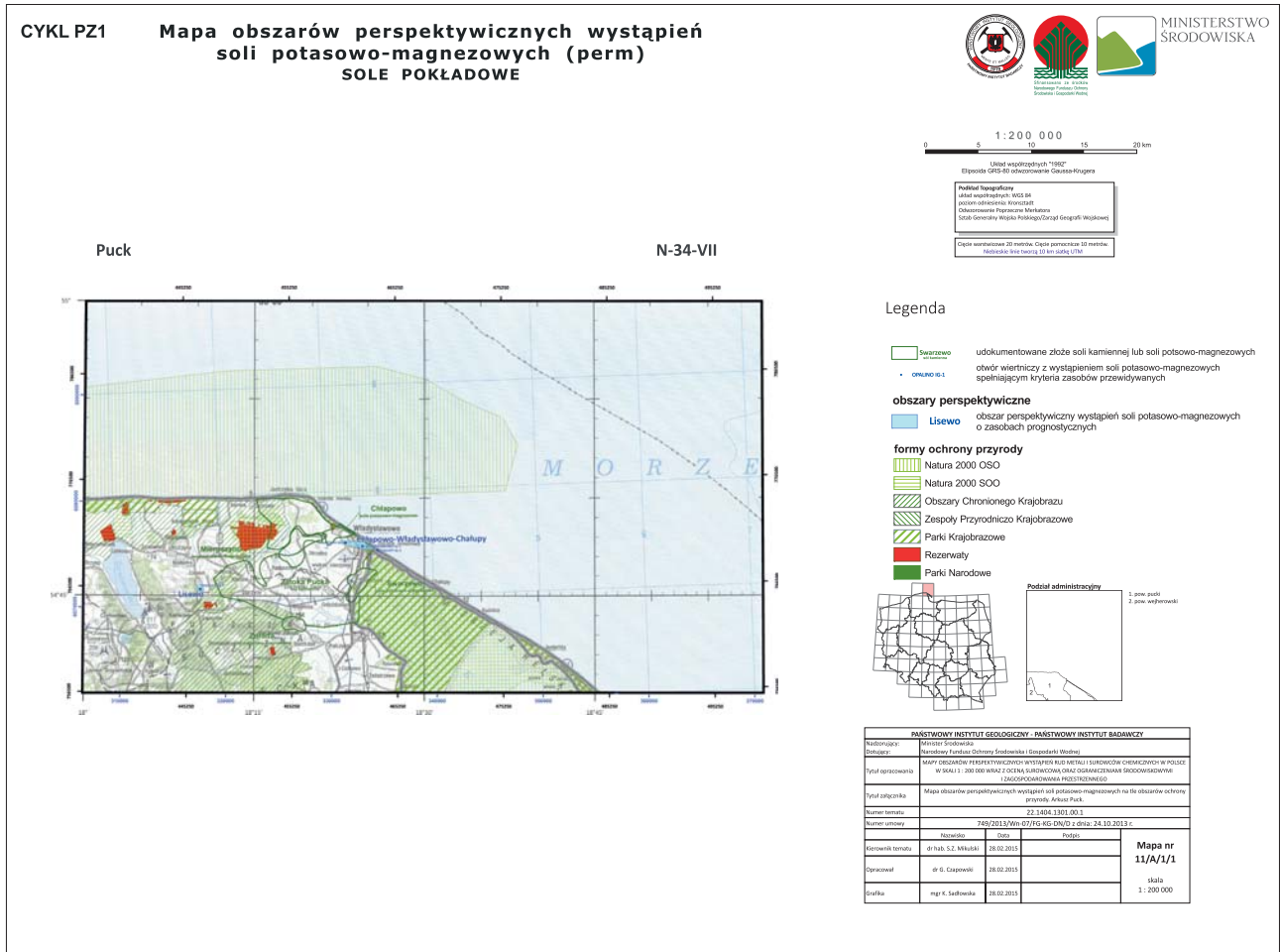
scowości, sieć drogową i energetyczne linie przesyłowe) wraz ze skalą możliwego stopnia konfliktowości w przypadku prób zagospodarowania wskazanych obszarów perspektywicznych. Znaczenie tych map w projektowaniu ewentualnego lokalnego zagospodarowania wskazanych wystąpień kopaliny są omówione w odrębnej pracy (Kozma, 2015; Sikorska-Maykowska i in., 2015).

Zastosowane kryteria okonturowania obszarów perspektywicznych i ustalania ich zasobów nawiązują częściowo do wcześniejszego opracowania (Czapowski & Bukowski, 2011), uwzględniają jednak nowe przepisy, definiujące złoża kopaliny (Rozporządzenie, 2011, tab. 28, 29 i 30). Zastosowano w tej pracy (Czapowski & Bukowski, *op. cit.*) w odniesieniu do soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych nazwę „zasoby przewidywane”, jako łączną dla określenia dwóch wyróżnianych typów zasobów:

a) prognostycznych (odpowiadających kategorii rozpoznania D<sub>1</sub>),

b) perspektywicznych (odpowiadających kategorii rozpoznania D<sub>2</sub>, we wcześniejszym opracowaniu Bąka i Przeniosły z 1993 r., odpowiada jej częściowo kategoria zasobów teoretycznych).

Kategorię zasobów hipotetycznych w odniesieniu do utworów solnych pominięto ze względu na dostępną ilość informacji geologicznej, pozwalającej na określenie zarówno obszaru, jak i przedziału głębokości występowania serii



**Ryc. 2.** Obszary perspektywiczne wystąpień pokładowych soli potasowo-magnezowych cyklotemu PZ1 cechsztynu na terenie Polski północnej. Arkusz Puck mapy topograficznej w skali 1 : 200 000

**Fig. 2.** Prospective areas of stratiform potash salts of the PZ1 Zechstein cyclothem on the Puck map sheet at scale 1 : 200 000 (northern Poland)

**Tab. 1.** Kryteria szacowania zasobów przewidywanych soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych w Polsce

**Table 1.** Criteria for estimating predicted resources of rock and potash salts in Poland

Forma wystąpienia/typ kopaliny <i>Form and type of raw mineral</i>	Przyjęta miąższość wystąpienia <i>Assumed thickness</i> [m]	Przedział głębokości zalegania wystąpienia <i>Depth interval</i> [km]	Gęstość kopaliny [t/m <sup>3</sup> ] <i>Density of raw material</i> [Mg/m <sup>3</sup> ]
<b>Sól kamienna / rock salt</b>			
Wystąpienia pokładowe <i>Stratiform</i>	średnia miąższość <i>average thickness</i> ≥30 m	≤1,2 = zasoby prognostyczne <i>prognostic resources</i> >1,2–2,0 = zasoby perspektywiczne <i>prospective resources</i>	2,1
Wystąpienia pokładowo-wałdowe w zapadlisku przedkarpackim <i>Stratiform to folded in the Carpathian Foredeep</i>	średnia miąższość <i>average thickness</i> ≥35 m × 0,3 (WKBE)	≤1,5 = zasoby prognostyczne <i>prognostic resources</i> >1,5–2,0 = zasoby perspektywiczne <i>prospective resources</i>	
Wystąpienia w wysadach solnych <i>Salt diapirs</i>	grubość wystąpienia <i>thickness</i> × 0,3 (WKBE)	≤1,4 = zasoby prognostyczne <i>prognostic resources</i> >1,4–2,0 = zasoby perspektywiczne <i>prospective resources</i>	
<b>Sole potasowo-magnezowe / potash salts</b>			
Wystąpienia pokładowe <i>Stratiform</i>	średnia miąższość <i>average thickness</i> ≥2 m, ew. / or × 0,3 (WKBE)	≤ 1,2 = zasoby prognostyczne <i>prognostic resources</i> >1,2–2,0 = zasoby perspektywiczne <i>prospective resources</i>	

WKBE – współczynnik komplikacji budowy geologicznej  
WBKE – coefficient of tectonic impact

## KARTA REJONU/OBSZARU PERSPEKTYWICZNEGO

## REJON PERSPEKTYWICZNY LESZNO Na4

TYP KOPALINY: sól kamienna  
WIEK KOPALINY: cechsztyń (górnym perm)

Lokalizacja: obszar Dolnego Śląska i południowa część Wielkopolski, od Wschowej na północy po okolice Rawicza na południowym wschodzie. Jednostka strukturalna: monoklina przedśudecka. Arkusz mapy topograficznej w skali 1:200 000: Leszno M-33-V.

Obszar perspektywiczny (OP): w rejonie perspektywicznym Leszno Na4 wyróżniono 2 izolowane obszary perspektywiczne (tab. 4):

- 1) obszar perspektywiczny Zarzewo,
- 2) obszar perspektywiczny Załęczce.

Stan rozpoznania: wymienione obszary perspektywiczne są słabo rozpoznane pojedynczymi otworami wiertniczymi (w sumie 2 otwory), przewiercającymi utwory cechsztyńskie (patrz – tabele poniżej).

Forma wystąpienia kopaliny: pokładowa, względnie jednorodna budowa wewnętrzna, liczne zaburzenia tektoniczne (uskoki, nasunięcia). Najczęściej analizowany pokład soli kamienniej buduje wydzielenie litostratygraficzne cechsztyńskie najmłodsza sól kamienna dolna (Na4a) cyklu PZ4 (tab. 4), sporadycznie (obszar perspektywiczny Zarzewo – tab. 4) jako perspektywiczny kwalifikuje się wydzielenie najmłodszej soli kamienniej górnej (Na4b). Pokład soli (Na4a) jest podścielony utworami siarczanowymi (anhidryty) wydzielenia anhidrytu pegmatytowego dolnego (A4a) a przykryty – bądź utworami siarczanowymi (anhidryty) wydzielenia anhidrytu pegmatytowego górnego (A4b) i solami kamiennymi wydzielenia najmłodszej soli kamienniej górnej (Na4b) bądź bezpośrednio utworami klastycznym tzw. stropowej serii terygenicznej (PZ1).

Skład mineralny (główne minerały): sól kamienna: halit i anhidryt jako domieszka.

Parametry złożowe: parametry występowania mas solnych, zaklasyfikowanych jako zasoby perspektywiczne i prognostyczne, przedstawiają się następująco (tabela poniżej i tab. 4):

- OP Zarzewo (określony 1 otworem wiertniczym):
  - głębokość stropu serii solnej: 1664,0 m,
  - głębokość spągu serii solnej: 1725,0 m,
  - miąższość serii solnej: 61,0 m,
  - powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów - 1827268 m<sup>2</sup> (ok. 1,8 km<sup>2</sup>),
- OP Załęczce (określony 1 otworem wiertniczym):
  - głębokość stropu serii solnej: 782,5 m,
  - głębokość spągu serii solnej: 867,0 m,
  - miąższość serii solnej: 84,5 m,
  - powierzchnia obszaru przyjęta w obliczeniach zasobów - 1238195 m<sup>2</sup> (ok. 1,2 km<sup>2</sup>).

Zasoby przewidywane kopaliny: zasoby przewidywane soli kamienniej w rejonie perspektywicznym Leszno Na4 reprezentują typ zasobów prognostycznych i perspektywicznych i wynoszą (z redukcją ze względu na zaburzoną tektonicznie budowę wewnętrzną – tab. 4):

- OP Zarzewo (zasoby perspektywiczne): 70221909,24 Mg (ok. 70,2 mln Mg),
  - OP Załęczce (zasoby prognostyczne): 65915310,83 Mg (ok. 65,9 mln Mg).
- Łączne zasoby przewidywane soli kamienniej rejonu wynoszą ok. 132,1 mln Mg, zaś ich powierzchnia - ok. 3 km<sup>2</sup>.

Udokumentowane złoża kopaliny: w rejonie perspektywicznym Leszno Na4 brak jest udokumentowanych złóż soli kamienniej i soli potasowo-magnezowych.

Aktualne koncesje na rozpoznanie kopaliny chemicznej (stan na 02-2015 r.): na rejonie perspektywicznym Leszno Na4 brak przyznanych koncesji na poszukiwanie i rozpoznanie złóż kopaliny chemicznych, skalnych i metali.

Perspektywy poszukiwawcze/zagospodarowania zasobów: w rejonie perspektywicznym Leszno Na4 pokłady najmłodszej soli kamienniej dolnej (Na4a) i górnej (Na4b) są zbyt cienkie (<150 m) by mogły być miejscem ulokowania kopalni ługowniczej, magazynu kawernowego bądź podziemnego składowiska odpadów.

ZESTAWIENIA OTWORÓW WIERTNICZYCH  
DLA POSZCZEGÓLNYCH OBSZARÓW PERSPEKTYWICZNYCH  
OBSZAR PERSPEKTYWICZNY ZARZEWO

L.p.	Nazwa otworu	Na4b		
		głębokość stropu (m)	głębokość spągu (m)	miąższość przyjęta w obliczeniach (m)
1	2	3	4	5
1	ZBARZEWO-1	1664,00	1725,00	61,00

## OBSZAR PERSPEKTYWICZNY ZAŁECCZE

L.p.	Nazwa otworu	Na4a		
		głębokość stropu (m)	głębokość spągu (m)	miąższość przyjęta w obliczeniach (m)
1	2	3	4	5
1	ZAŁECCZE-12a	782,50	867,00	84,50

Ryc. 3. Sól kamienna. Karta rejonu/obszaru perspektywicznego. Rejon perspektywiczny Leszno Na4

Fig. 3. Rock salt. A report for prospective region/area. Prospective region Leszno Na4

solnej, jej miąższości oraz oszacowanie potencjalnych zasobów kopaliny.

Dla zdefiniowania wystąpień obu omawianych typów soli, mających cechy zasobów przewidywanych, przyjęto wartości wybranych ich parametrów, wykorzystując ustalone w 2011 r. (Rozporządzenie, 2011, tab. 28, 29 i 30) graniczne wartości parametrów, określających różne typy złóż soli kamienniej i soli potasowo-magnezowych.

Obecnie złoża soli coraz częściej są wykorzystywane jako wyjątkowo korzystne obiekty geologiczne do budowy

w nich operacyjnych kawernowych magazynów ropy naftowej, gazu ziemnego oraz paliw (np. funkcjonujące jako magazyny złoża Moglino II i Góra), a także bezpiecznych podziemnych składowisk niebezpiecznych odpadów. Przy ocenie zasobności wystąpień soli kamienniej należy zatem przyjąć stosowne kryteria geologiczne, warunkujące wykonanie takich inwestycji. Analizy geomechaniczne i wyniki modelowań wskazują (Ślizowski i in., 2007), że komory magazynowe mogą być efektywnie lokalizowane w złożu soli o miąższości 150 m (dotyczy jednorodnej warstwy soli) i głębokości zalegania stropu nie większej niż 1800 m poniżej powierzchni terenu. Ustalono też, że maksymalna głębokość magazynowania w złożu soli nie powinna przekraczać 2000 m od powierzchni terenu. Głębsza lokalizacja komór – choć technicznie możliwa – jest dziś nieopłacalna ekonomicznie, choć przyszłe potrzeby energetyczne mogą zmienić te oceny. Wyniki modelowania zmian kształtu komór magazynowych gazu wykazują, że optymalne warunki budowy komór to przedział głębokości 1200–1400 m (op. cit.). W dokonanych szacunkach zasobów przyjęto 2000 m jako maksymalną głębokość występowania spągu serii solnej.

Przyjęte parametry poszczególnych typów zasobów zależnie od rodzaju kopaliny i jej formy występowania przedstawia tabela 1.

Przy wyznaczaniu konturu zasobów pominięto parametr minimalnej średniej ważonej zawartości składnika użytecznego w profilu złoża ze względu na brak systematycznych wyników analiz chemicznych z badanych otworów wiertniczych (są to zwykle otwory strukturalne lub poszukiwawcze, nie ukierunkowane na dokumentowanie zasobów soli). Takie dane istnieją wyłącznie dla obszarów udokumentowanych złóż solnych. W sporadycznych przypadkach, np. w ramach poszukiwań złóż soli potasowo-magnezowych na obszarze przedśudeckim (zob: Czapowski i in., 2014 z literaturą), dane składu chemicznego odnoszą się do wybranego odcinka serii solnej w kilku otworach wiertniczych.

Ze względu na dużą zmienność litologiczną i komplikacje tektoniczne w seriach solnych wieku neogeńskiego (miocen środkowy) w zapadlisku przedkarpackim (wystąpienia od pokładowych po pokładowo-fałdowe i fałdowe) przyjęto wartość 35 m, jako minimalną miąższość wystąpienia złożowego. Założono również, że na terenie zapadliska przedkarpackiego obszary z zasobami soli kamienniej, występującej do głębokości 1500 m, rozpoznane geofizycznie i wierceniami w stopniu nieupoważniającym do uznania ich w kategorii C<sub>2</sub>, zaliczono do zasobów prognostycznych, natomiast zasoby zalegające w przedziale >1500–2000 m zaliczono do zasobów perspektywicznych (tab. 1).

Przy szacowaniu wielkości zasobów prognostycznych i perspektywicznych w odniesieniu do soli kamienniej i soli potasowo-magnezowych zastosowano następujące wartości kluczowych parametrów:

1 – **miąższość wystąpienia złożowego kopaliny:**

- dla wystąpień pokładowych – uśredniona miąższość serii złożowej (oparta na danych z otworów spełniających kryteria dla zasobów przewidywanych),
- wysady solne – uśredniona miąższość nawierczonej serii solnej w określonym interwale głębokości,

2 – interwał **głębokości spągu wystąpienia złożowego** – stosowny do typu zasobów.

Przy szacowaniu wielkości zasobów przewidywanych zastosowano przyjęty w opracowaniu z 1993 r. (Bąk &

Przeniosło, 1993) tzw. współczynnik komplikacji budowy geologicznej (WKBG), który wynosi 0,3. Ma on zastosowanie do wystąpień w wysadach solnych i na obszarach o istotnym oddziaływaniu tektoniki na formę tych wystąpień, np. obszar zapadliska przedkarpackiego czy obszar przedsuddecki. Na obszarze Polski północnej (wschodnia część Pomorza Zachodniego, Warmia i Mazury) rola tektoniki dysjunktywnej w przebudowie ewaporatów cechsztyńskich nie jest tak istotna (np. Szaniawski, 1964; Peryt i in., 1984; Dadlez, 1998) jak na obszarze przedsuddeckim, gdzie odnotowano liczne uskoki i nasunięcia w serii solnych cechsztynu (np. Sokołowski, 1967; Podemski, 1972a, 1973, 1974, 1975; Szybist, 1976; Kijewski & Salski, 1978; Kłapciński, 1989; Burliga, 2007; Markiewicz, 2007; Markiewicz & Becker, 2009; Toboła, 2014).

**Gęstość soli kamiennej** przyjęto w szacunkach na  $2,1 \text{ t/m}^3$ . Podobną gęstość zastosowano też w przypadku wystąpień soli potasowo-magnezowych, gdyż łączny w nich udział głównych minerałów solnych K-Mg (sylwin, karnalit, polihalit czy kizeryt) sięga maksymalnie 25%, zaś przeważnie oscyluje w przedziale 8–14%. Przy różnicy ciężarów właściwych od  $1,6 \text{ g/cm}^3$  (karnalit) do  $2,78 \text{ g/cm}^3$  (polihalit) i zmiennych ich proporcjach oraz zwykle współwystępowaniu z halitem (oprócz udokumentowanych złóż polihalitu w pokładach siarczanowych, np. rejon Zatoki Puckiej – Czapowski i in., 2008b) zasadne jest przyjęcie w niniejszych szacunkach ciężaru właściwego kopaliny zbliżonego do ciężaru soli kamiennej.

Zrezygnowano z oszacowania zasobów przewidywalnych soli potasowo-magnezowych w wysadach solnych. Powodem jest wyjątkowo skomplikowana budowa wewnętrzna tych struktur, których dominującym komponentem jest sól kamienna, zaś sole potasowe i potasowo-magnezowe odgrywają marginalną rolę. Oszacowanie takich zasobów byłoby możliwe jedynie po rozcięciu złoża solnego wyrobiskami podziemnymi, jak ma to miejsce obecnie w przypadku złoża soli w wysadzie kłodawskim, a w przeszłości – w wysadzie solnym w Inowrocławiu. W przypadku zagospodarowanych górniczo (metodą otworową) innych wysadów solnych, pomimo bogatych danych otworowych i stwierdzenia obecności soli potasowych i potasowo-magnezowych (np. Czapowski i in., 2009), nie dokonano dotychczas nawet prób oszacowania ich zasobów, z powodu trudności w prawidłowej ocenie sposobu występowania tych soli.

Trudności w wyróżnianiu utworów potasonośnych w profilu otworów wiertniczych (np. Podemski, 1972a, b; Czapowski i in., 2014), a szczególnie pokładów soli potasowo-magnezowych, przy braku pełnego rdzenia (brak analiz chemicznych) bądź karotaży (szczególnie zapisu gamma i neutron-gamma), wymusiły operowanie przy wyznaczaniu obszarów wystąpień i oszacowaniu ich zasobów pojęciem „serii potasonośnej”. Seria taka obejmuje zarówno warstwy zdominowane przez minerały potasonośne (tzn. pokłady soli potasowo-magnezowych), jak i warstwy soli kamiennej o niskim ich udziale (tzw. warstwy przejściowe) oraz warstwy soli kamiennej przedzielające pokłady soli K-Mg.

### Siarka

W odniesieniu do wystąpień siarki rodzimej opracowano w wersjach geologicznej i środowiskowej 5 arkuszy map: Tarnów, Mielec, Rzeszów, Lublin i Lubaczów.

Wersja geologiczna zawiera takie elementy jak: zasięgi występowania utworów miocenu, a w szczególności siarczanów (głównie gipsów) w zapadlisku przedkarpackim, kontury udokumentowanych złóż siarki rodzimej, główne elementy sieci tektonicznej oraz wybrane otwory wiertnicze (zarejestrowane w CBDG), na podstawie których ustalono obszary perspektywiczne wystąpień utworów siarkonośnych.

Wersja środowiskowa tych map, oprócz elementów geologicznych, o których szerzej jest powiedziane niżej, obejmuje obszary chronione środowiska naturalnego i infrastrukturę powierzchniową, wraz ze skalą możliwego stopnia konfliktowości w przypadku prób zagospodarowania wskazanych obszarów perspektywicznych (ryc. 4).

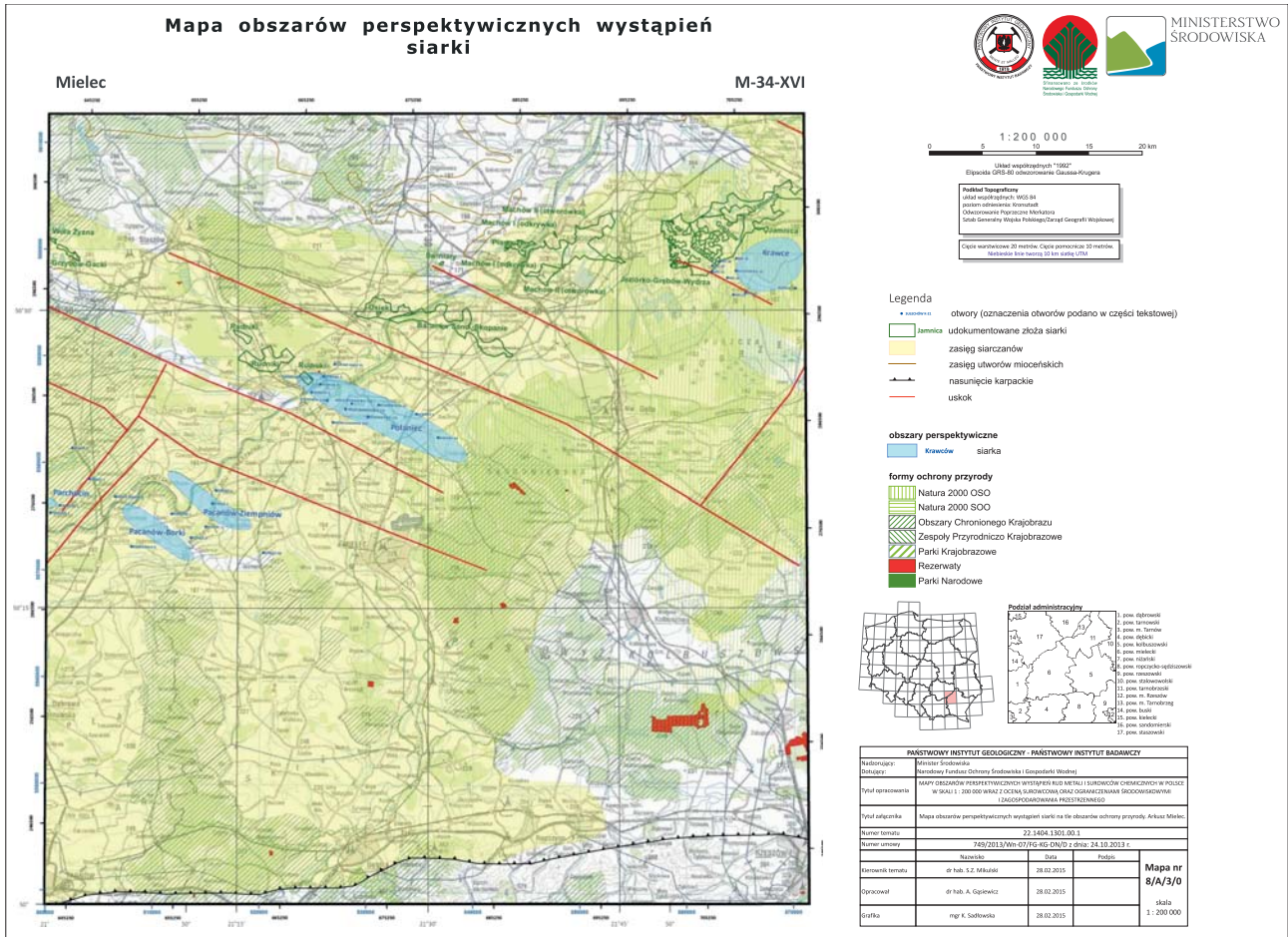
Obszary perspektywiczne dla zapadliska przedkarpackiego zestawiono w tabeli 2 z podziałem na obszary o zasobach prognostycznych i hipotetycznych. Nazwy obszarów perspektywicznych pochodzą od większych miejscowości znajdujących się w rejonie lub w ich pobliżu. Dokładniejsza charakterystyka tych obszarów jest zawarta w załączonych „Kartach obszarów i rejonów perspektywicznych”. Karty te zawierają następujące informacje: nazwę i lokalizację geograficzną obszaru i regionu, arkusz mapy topograficznej, stan jego rozpoznania, formę wystąpienia (pokładowa) głównej kopaliny i jej główny skład mineralny, najważniejsze parametry złożowe (np. głębokość stropu i spągu oraz miąższość utworów, na podstawie których wyróżniono dany obszar), typ i wielkość oszacowanych zasobów, obecność udokumentowanych złóż kopaliny głównej oraz perspektywy poszukiwawcze.

Kryteria pozwalające wyznaczyć obszary perspektywiczne i oszacować ich zasoby pokrywają się częściowo ze stosowanymi wcześniej do opracowania bilansu zasobów perspektywicznych siarki (Gąsiewicz, 2011) i uwzględniają nowe przepisy, definiujące złoża kopaliny (Rozporządzenie, 2011).

W tabeli 2 obszary perspektywiczne wystąpień siarki rodzimej zostały ułożone w układzie z zachodu na wschód. Zawiera ona także główne parametry złożowe poszczególnych obszarów służących oszacowaniu zasobów. Podział na kategorie zasobów prognostycznych (w dawnym podziale odpowiadających kategorii  $D_1$ ) i zasoby hipotetyczne wynika z ilości i jakości danych geologicznych na danym obszarze, a w szczególności: ilości wierceń, głębokości stropu i spągu, wykształcenia litologicznego, zmian miąższości, występowania i stopnia osiarkowania serii chemicznej, dających podstawy do względnie bardziej lub mniej pewnych perspektyw wystąpienia zmineralizowania siarką. Warto podkreślić, że w sytuacji na ogół nielicznych wierceń konturujących, wyznaczenie obszarów wystąpień perspektywicznych jest obciążone dużą dozą subiektywności.

Biorąc pod uwagę brzeżną strefę zapadliska przedkarpackiego, zasięg danego obszaru perspektywicznego jest rezultatem analizy obejmującej sytuację strukturalną, obecność/brak utworów poziomu ewaporatowego, udokumentowany wierceniami rozkład miąższości siarczanów (gipsów) i ich osiarkowania oraz występowanie wapieni płonnych i osiarkowanych. Z dotychczas wykonanych prac wiertniczych wynika, że przemysłowe koncentracje siarki rodzimej stanowią najwyżej 30% danego obszaru perspektywicznego (Pawłowski i in., 1986).

Na ocenę zasobów prognostycznych siarki rodzimej w brzeżnej strefie zapadliska przedkarpackiego ma także wpływ tzw. głębokość bilansowa, stanowiąca przyjętą



Ryc. 4. Obszary perspektywiczne wystąpień siarki rodzimej na terenie Polski południowej. Arkusz Mielec mapy topograficznej w skali 1 : 200 000

Fig. 4. Prospective areas of native sulphur on the Mielec map sheet at scale 1 : 200 000 (southern Poland)

Tab. 2. Zasoby prognostyczne i hipotetyczne siarki rodzimej w strefie brzeżnej zapadliska przedkarpacciego  
Table 2. Prognostic and hypothetical resources of native sulphur in the marginal part of the Carpathian Foredeep

Lokalizacja (z zachodu na wschód) Locality (from West to East)	Powierzchnia obszaru Prospective area		Głębokość serii chemicznej w otworach wiertniczych Depth of Chemical Series in boreholes		Średnia miąższość serii chemicznej Average thickness of Chemical Series		Średnia gęstość przestrzenna rudy siarki Average density of sulphur ore [Mg/m <sup>3</sup> ]	Średnia zawartość S dla 10 złóż Average content of native sulphur in 10 sulphur deposits [%]	Zasoby Resources	
	całkowita total [km <sup>2</sup> ]	zmniejszona do 30% * reduced to 30% * [km <sup>2</sup> ]	stropu top [m]	spągu base [m]	całkowita total [m]	zmniejszona do 35% * reduced to 35% * [m]			progno- styczne [mln t] prognostic [million Mg]	hipote- tyczne [mln t] hypothetic [million Mg]
Książnice Wielkie	24,13	7,24	380	480	12,30	4,31	2,25	31,20	—	22
Nowy Korczyn	11,43	3,43	365	480	15,00	5,25	2,25	31,20	—	11
Badrzychowice	8,06	2,42	165	300	15,64	5,47	2,25	31,20	—	9
Parchocin	8,12	2,44	80	375	19,53	6,84	2,25	31,20	—	12
Pacanów-Borki	12,52	3,76	170	500	15,71	5,50	2,25	31,20	—	14
Pacanów-Ziempniów	13,57	4,07	250	370	9,17	3,21	2,25	31,20	—	9
Połaniec	45,68	13,71	190	395	19,02	6,66	2,25	31,20	64	—
Krawce	24,00	7,20	205	420	42,71	14,95	2,25	31,20	—	76
Stalowa Wola	33,72	10,12	200	460	33,67	11,78	2,25	31,20	84	—
Lipa	31,72	9,52	135	220	13,78	4,82	2,25	31,20	—	32
Lubaczów	29,23	8,77	120	460	25,15	8,80	2,25	31,20	54	—
SUMA Total									202	185

\* objaśnienie w tekście / explanation in the text

maksymalną głębokość spągu złoża dla złóż bilansowych, wynosząca 400 m (Rozporządzenie..., 2001). Spąg serii chemicznej występuje na bardzo różnych głębokościach (od ok. 220 do 500 m, przeważnie do ok. 400 m, a w przypadkach skrajnych dochodzi prawie do 700 m) w zależności od rejonu zapadliska przedkarpackiego (tab. 2). Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania oceny zasobów, powierzchnie wytypowanych obszarów perspektywicznych przyjęte do obliczeń zmniejszono o 70%.

Średnia miąższość pełnych profili gipsowych (zawierających wszystkie litosomy gipsowe (A–G), a więc pełne wykształcenie profili gipsowych dla 4 rejonów złożowych północnej brzożnej części zapadliska, wynosi 36,9 m (Kubica, 1992). Utwory siarkonośne mają znacznie mniejsze miąższości niż otaczające je gipsy i charakteryzują się dużymi jej zmianami. Współczynnik zmienności miąższości określony na podstawie dokumentacji kat C<sub>2</sub> wynosi średnio ok. 52% (Pawłowski i in., 1986). Miąższość serii siarkonośnej na obszarach złożowych jest zmienna i wynosi od <0,5 do ok. 45 m, a średnio wynosi ok. 10 m (Pawłowski i in., 1987). Z ogólnego stosunku uśrednionych miąższości wynika więc, że średnia miąższość wapieni stanowi 27% w pełni wykształconych profili gipsowych. W skali lokalnej brak zależności co do wielkości różnicy między gipsami i utworami siarkonośnymi.

Przyjęta do obliczeń zasobów przewidywana miąższość serii siarkonośnej jest odniesiona do miąższości gipsów na podstawie relacji miąższościowych gipsów i wapieni w danym rejonie. Wynika ona z uśrednionej miąższości utworów gipsowych w otworach wiertniczych. Biorąc pod uwagę wyraźnie mniejszą i dużą zmienność miąższości wapieni siarkonośnych w porównaniu z miąższością siarczanów, a także fakt, że wapienie osiarkowane współwystępują z wapieniami płonnymi w bardzo zmiennych proporcjach oraz że większość profili gipsowych jest z przyczyn naturalnych niepełna, na potrzeby oszacowania zasobów w tej pracy średnią miąższość gipsów w danym rejonie, stwierdzoną otworami, pomniejszono o 65%.

Dla obszarów złożowych średnia zawartość siarki w dotychczas udokumentowanych złożach wynosi 31,2% (Pawłowski i in., 1986). W praktyce osiarkowanie każdego obszaru złożowego odznacza się bardzo silną zmiennością i nieregularnie zanika w utworach płonnych. Stwierdzone w analizowanych otworach osiarkowanie zmienia się od śladowego do kilkudziesięciu procent.

Wielkość zasobów siarki rodzimej w wytypowanych obszarach jest iloczynem przyjętej powierzchni obszaru perspektywicznego (pomniejszonego o 70%), przewidywanej miąższości utworów siarkonośnych w danym obszarze (co odpowiada średniej miąższości gipsów pomniejszonych o 65%), gęstości przestrzennej rudy (wynoszącej średnio 2,25 t/m<sup>3</sup> – Nieć, 1977) i średniej zawartości siarki w złożach wynoszącej 31,2% (Pawłowski i in., 1986).

## OBSZARY PERSPEKTYWICZNE, ZASOBY I MOŻLIWOŚCI ICH ZAGOSPODAROWANIA

### Sól kamienna i sole potasowo-magnezowe

Łączne zasoby przewidywane soli kamiennej wieku cechsztyńskiego i mioceńskiego, skupione w wystąpieniach typu wysadowego i pokładowego na obszarze Polski, oszacowano na ok. 4,059 bln t, zaś ich powierzchnia wynosi ponad 31,7 tys. km<sup>2</sup>. Sole wieku cechsztyńskiego stanowią w tym bilansie większość – ok. 4,052 bln t (powierzchnia ok. 31,6 tys. km<sup>2</sup>), zaś mioceńskiego – jedynie 6,9 mld t, z powierzchnią ok. 137 km<sup>2</sup> (tab. 3).

Zasoby cechsztyńskiej soli kamiennej w wystąpieniach pokładowych ustalono odrębnie dla każdego z czterech cyklotemów zawierających utwory solne:

1. Na obszarze Polski północnej w cyklotemach:

- cyklotem PZ1 reprezentuje 10 arkuszy map, na których wyróżniono 5 obszarów perspektywicznych zgrupowanych w jeden ogromny rejon perspektywiczny Koszalin–Słupsk–Łeba–Puck–Gdańsk–Elbląg–Lidzbark Warmiński,
- cyklotem PZ2 reprezentuje 5 arkuszy map, na których wyróżniono 4 obszary perspektywiczne zgrupowane

**Tab. 3.** Zestawienie zasobów przewidywanych soli kamiennej w Polsce  
**Table 3.** Predicted resources of rock salts in Poland

Wiek Age	Ilość arkuszy map w skali 1:200 000 Number of map sheets	Kategoria zasobów Resources category	Zasoby [t] Resource [Mg]	Powierzchnia obszarów Prospective areas [m <sup>2</sup> ]
SOLE CECHSZTYNYU Zechstein rock salts	53	prognostyczne prognostic	944 848 735 558,12	2 812 761 964,00
		perspektywiczne prospective	3 037 401 540 619,67	28 647 413 492,00
		przewidywane predicted	69 812 211 785,20	116 736 365,00
		suma total	4 052 062 487 963,00	31 576 911 821,00
SOLE MIOCEMU Miocene rock salts	4	prognostyczne prognostic	6 626 602 046,61	135 390 609,00
		perspektywiczne prospective	270 689 769,00	1 753 740,00
		suma total	6 897 291 815,61	137 144 349,00
SUMA Total	57		4 058 959 779 778,61 4058959,8 mln	31 714 056 170,00 31714,1 km <sup>2</sup>



w dwa rejony perspektywiczne: Gdańsk–Elbląg–Orneta i Lidzbark Warmiński,

2. Na obszarze Polski południowo-zachodniej w cyklotemach:

– cyklotem PZ1 reprezentuje 8 arkuszy map, na których wyróżniono 5 obszarów perspektywicznych,

– cyklotem PZ2 reprezentuje 7 arkuszy map, na których wyróżniono 10 obszarów perspektywicznych, częściowo zgrupowanych w dwa rejony perspektywiczne: Leszno Na2 i Ostrów Wielkopolski Na2,

– cyklotem PZ3 reprezentuje 8 arkuszy map, na których wyróżniono 17 obszarów perspektywicznych, częściowo zgrupowanych w trzy rejony perspektywiczne: Leszno Na3, Ostrów Wielkopolski Na3 i Kalisz,

– cyklotem PZ4 reprezentuje 5 arkuszy map, na których wyróżniono 11 obszarów perspektywicznych, zgrupowanych w trzy rejony perspektywiczne: Słubice–Gubin, Świebodzin–Zielona Góra i Leszno Na4.

Wystąpienia cechsztyńskiej soli kamiennej w wysadach solnych przedstawiono – bez podziału na cyklotemy – na 10 arkuszach map, na których wyróżniono 3 obszary i 3 rejony perspektywiczne, grupujące konkretne wysady solne.

W bilansie zasobów cechsztyńskiej soli kamiennej (zasoby te ustalono dla łącznie 14 rejonów perspektywicznych i 64 obszarów perspektywicznych w tym: 5 obszarów o zasobach prognostycznych, 52 obszary o zasobach perspektywicznych i 7 obszarów o zasobach przewidywanych) dominują zasoby perspektywiczne (ok. 3037 mld t), skupione głównie w wysadach solnych (ok. 70,5 mld t) i w wystąpieniach pokładowych we wspomnianych dwóch cyklotemach na obszarze Polski północnej (1926,6 mld t). W Polsce południowo-zachodniej zasoby perspektywiczne wystąpień pokładowych w 4 cyklotemach depozycyjnych wynoszą 1040 mld t. Mniejszy udział w bilansie soli cechsztyńskiej kamiennej mają zasoby prognostyczne (944,8 mld t) i przewidywane (ok. 69,8 mld t), skupione głównie w wysadach solnych (zasoby przewidywane – ok. 69,5 mld t) i na obszarze północnej Polski (zasoby prognostyczne – ok. 944,6 mld t), zaś w Polsce południowo-zachodniej ich wielkość oszacowano na ok. 604,4 mln t (prognostyczne – ok. 272,1 mln t i przewidywane – ok. 332,3 mln t).

Wśród zasobów przewidywanych soli miocenu w zapadlisku przedkarpackim na obszarze południowej Polski (4 arkusze map, na których wyróżniono 4 obszary perspektywiczne, w tym: 3 obszary o zasobach prognostycznych i 1 obszar o zasobach perspektywicznych) zdecydowaną większość – 6,6 mld t – stanowią zasoby prognostyczne, zaś zasoby perspektywiczne oszacowano na jedynie 270,7 mln t.

Porównując aktualne szacunki z obliczeniami zasobów perspektywicznych soli kamiennej w Polsce, przedstawionymi we wcześniejszym opracowaniu (Czapowski & Bukowski, 2011) i ustalającymi ich zasoby przewidywane na ok. 2 256,7 mld t (zasoby prognostyczne – 194,9 mld t i perspektywiczne – 2 061,8 mld t), obecne przeliczone zasoby przewidywane soli kamiennej wzrosły blisko dwukrotnie (o ok. 2002 mld t). Wzrost ten nastąpił dzięki dokładniejszemu wyznaczeniu obszarów perspektywicznych i ustaleniu nowych kryteriów definiowania zasobów, bardziej odpowiadających aktualnym realiom możliwości zagospodarowania wystąpień soli.

Sole potasowo-magnezowe na obszarze Polski znajdują się jedynie w utworach wieku cechsztyńskiego. Ich

**Tab. 4.** Zestawienie zasobów przewidywanych soli potasowo-magnezowych w Polsce

**Table 4.** Predicted resources of potash salts in Poland

Kategoria zasobów <i>Resources category</i>	Powierzchnia obszarów <i>Prospective areas</i> [m <sup>2</sup> ]	Zasoby [t] <i>Resource</i> [Mg]
Prognostyczne <i>Prognostic</i>	110 344 119,00	821 504 130,81
Perspektywiczne <i>Prospective</i>	355 087 918,00	2 816 588 261,86
SUMA <i>Total</i>	465 432 037,00	3 638 092 392,67
	465,4 km <sup>2</sup>	3638,1 mln

zasoby przewidywane wynoszą ok. 3638,1 mln t, zaś całkowita powierzchnia ich wystąpień jest oceniana na ok. 465 km<sup>2</sup> (tab. 4). Zasoby te oszacowano jedynie w wystąpieniach pokładowych (12 obszarów perspektywicznych, w tym: 5 obszarów o zasobach prognostycznych i 7 obszarów o zasobach perspektywicznych) i dominują w ich bilansie zasoby perspektywiczne (ok. 2816,6 mln t, powierzchnia ok. 355,1 km<sup>2</sup>) skupione głównie na obszarze Polski południowo-zachodniej (ok. 2523,5 mln t, powierzchnia ok. 347 km<sup>2</sup>). Zasoby prognostyczne (ok. 821,5 mln t, powierzchnia ok. 110,3 km<sup>2</sup>) też są skoncentrowane głównie w Polsce południowo-zachodniej (ok. 763,5 mln t, powierzchnia ok. 108,4 km<sup>2</sup>).

W Polsce północnej w utworach solnych cyklotemu PZ1 wyznaczono na dwóch arkuszach map trzy obszary perspektywiczne, w tym dwa na wyniesieniu Łęby o zasobach prognostycznych (ok. 57,9 mln t) oraz jeden w syneklizie perybałtyckiej o zasobach perspektywicznych (ok. 293,1 mln t).

W Polsce południowo-zachodniej obszary perspektywiczne wystąpień soli potasowo-magnezowych wyznaczono w utworach cyklotemów PZ2 i PZ3. Dla cyklotemu PZ2 na czterech arkuszach map wyznaczono 7 obszarów perspektywicznych, w tym: 2 obszary o zasobach prognostycznych (ok. 339,1 mln t) i 5 o zasobach perspektywicznych (ok. 2,5 mld t). Z kolei dla cyklotemu PZ3 określono na dwóch arkuszach map tylko 2 obszary perspektywiczne, jeden o zasobach prognostycznych (ok. 424,5 mln t) oraz jeden o zasobach perspektywicznych (ok. 14,3 mln t).

Z porównania aktualnych szacunków z obliczeniami zasobów perspektywicznych soli potasowych i potasowo-magnezowych w Polsce przedstawionymi we wcześniejszym opracowaniu (Czapowski & Bukowski, 2011) i ustalającymi ich zasoby przewidywane na ok. 1019,44 mln t (zasoby prognostyczne – 719,44 mln t i perspektywiczne – 300 mln t) wynika, że obecne przeliczone zasoby przewidywane tych soli wzrosły ponad trzykrotnie (o ok. 2616,6 mln t). Wzrost ten nastąpił, podobnie jak w przypadku soli kamiennej, dzięki bardziej dokładnemu wyznaczeniu obszarów perspektywicznych i ustaleniu nowych kryteriów definiowania zasobów, bardziej odpowiadających aktualnym realiom możliwości zagospodarowania wystąpień soli. Nie wpłynęło na te szacunki nieuwzględnienie w obecnych przeliczeniach zasobów wystąpień polihalitu w rejonie Zatoki Puckiej, udokumentowanych w kategorii C<sub>2</sub> i zaliczanych uprzednio do zasobów perspektywicznych ze względu na słabe rozpoznanie wiertnicze wystąpień i zmianę koncepcji

genezy mineralizacji polihalitowej (np. Czapowski & Bukowski, 2009; Czapowski i in., 2008b).

Istnieją spore możliwości zagospodarowania wybranych wystąpień soli kamiennej, cechsztyńskiego w wysadach solnych i pokładach oraz lokalnie soli miocenu (obszary Brzesko-Tarnów i Pilzno), pod wydobycie soli metodą ługowania. W przypadku soli cechsztyńskich większość wytypowanych wysadów solnych kwalifikuje się także do miejsc budowy kawernowych magazynów bądź składowisk odpadów, podobnie jak niektóre wystąpienia pokładowe soli w Polsce północnej i południowo-zachodniej, spełniające warunek dużej (>150 m) miąższości pokładu soli. W przypadku wytypowanych wystąpień soli potasowych i potasowo-magnezowych niektóre z nich mogą być zagospodarowane górniczo, jednak dopiero po dokładnym określeniu ich zasobów (nie posiadają żadnej dokumentacji geologicznej).

Występowanie wyróżnionych obszarów perspektywicznych soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych na znacznych głębokościach (od kilkuset m do blisko 2 km) oraz niejednokrotnie ich ogromne powierzchnie powodują trudności z określeniem ich oddziaływania na środowisko, którego próbą oceny są wersje „środowiskowe” zaprezentowanych map. W odróżnieniu od powierzchniowych i płytkich wystąpień surowców metalicznych czy siarczanów, gdzie ewentualne konflikty środowiskowe związane z podjęciem ich eksploatacji są łatwiejsze do sprecyzowania, podobne ustalenia dla soli są zbyt ogólnikowe na obecnym poziomie wyznaczania obszarów. Takie oceny są możliwe jedynie w przypadku podjęcia decyzji o konkretnej działalności geologicznej (np. roboty geologiczne celem rozpoznania złoża kopaliny) lub górniczej (np. decyzja o budowie kopalni podziemnej czy otworowej) na określonym obszarze (w formie oceny oddziaływania na środowisko w ramach projektu robót geologicznych czy realizacji inwestycji). Specyfika takich robót jest odmienna i różne mogą być jej skutki oddziaływania na środowisko.

### Siarka

Oszacowane zasoby perspektywiczne wystąpień mioceńskiej siarki rodzimej (5 arkuszy map) w zapadlisku przedkarpaccim występują w 11 obszarach o łącznej powierzchni ok. 73 km<sup>2</sup> i wynoszą ok. 390 mln t (tab. 2). Ze względu na stopień rozpoznania geologicznego trzy obszary zakwalifikowano jako prognostyczne, o łącznej powierzchni ok. 33 km<sup>2</sup> i zasobach ok. 200 mln t, oraz osiem jako hipotetyczne, o łącznej powierzchni ok. 40 km<sup>2</sup> i zasobach ok. 185 mln t.

W porównaniu z wcześniejszymi ustaleniami zasobów i obszarów perspektywicznych (Gąsiewicz, 2011) główne obszary, a także niektóre rejony ich występowania, pozostały te same. Widoczny jest natomiast ogólnie niewielki (o ok. 1/3) wzrost wielkości zasobów. Wzrost ten wynika głównie z wyinterpretowania innych obszarów koncentracji tego surowca, ale też z subiektywności wyznaczenia wielkości obszarów perspektywicznych opartych na ogólnie słabym rozpoznaniu wiertniczym tych obszarów.

### PODSUMOWANIE

Łączne zasoby przewidywane soli kamiennej wieku cechsztyńskiego i mioceńskiego, skupione w wystąpieniach typu wysadowego i pokładowego, na obszarze Polski

wynoszą ok. 4,059 bln t (ich łączna powierzchnia to ponad 31,7 tys. km<sup>2</sup>). Sole wieku cechsztyńskiego stanowią w tym bilansie większość – ok. 4,052 bln t (powierzchnia ok. 31,6 tys. km<sup>2</sup>), zaś mioceńskiego – jedynie 6,9 mld t, z powierzchnią ok. 137 km<sup>2</sup>.

Zasoby przewidywane soli potasowo-magnezowych wieku cechsztyńskiego, oszacowane jedynie w wystąpieniach pokładowych, wynoszą ok. 3638,1 mln t (całkowita powierzchnia to ok. 465 km<sup>2</sup>).

Określenie obszarów perspektywicznych zasobów prognostycznych jest uwarunkowane stanem rozpoznania wiertniczego. Dla potwierdzenia ich perspektywiczności, a także uściślenia tych obszarów, w tym również dla wyznaczenia (możliwych) nowych, konieczne są dodatkowe wiercenia.

Rejony perspektywiczne wystąpień siarki rodzimej, zlokalizowanych na głębokości od ok. 100 m do 300–400 m, są słabo i bardzo słabo rozpoznane wiertniczo. Znacznie mniejsze miąższości utworów siarkonośnych, a tym samym zasoby przewidywane znajdują się w południowo-zachodniej części (rejon Kazimierza Wielka-Pacanów), a względnie największe w części północnej zapadliska przedkarpacciego (rejon tarnobrzeski – związany z występowaniem dużych złóż siarki) i przy granicy z Ukrainą, w rejonie Lubaczowa (w sąsiedztwie złoża siarki „Basznia”).

Zestawienie zbiorcze zasobów perspektywicznych w brzożnej części zapadliska przedkarpacciego (tab. 2) wskazuje zasadniczo na nieduże możliwości zwiększenia zasobów siarki rodzimej.

Wobec obecnej sytuacji zasobowej siarki rodzimej w kraju oraz niemal całkowitego odchodzenia od wykorzystania gospodarczego złóż siarki (tylko jedna czynna, otworowa kopalnia siarki rodzimej Osiek, która pokrywa zapotrzebowanie krajowe i eksportuje surowiec) nie rekomenduje się jakichkolwiek prac w tym zakresie.

Autorzy dziękują inż. Leszkowi Skowrońskiemu za przygotowanie danych wyjściowych do opracowania wystąpień i oszacowania zasobów soli permskich, zaś recenzentowi, dr. hab. Stanisławowi Wołkowiczowi, za cenne uwagi i sugestie.

### LITERATURA

- BAK B. & PRZENIOSŁO S. (red.) 1993 – Zasoby perspektywiczne kopalni Polski wg stanu na 31 XII 1990 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 1–238.
- BEDNARCZUK B., BOLEWSKI A., CIUK E., DEPOWSKI S., GRUSZCZYK H., KOZŁOWSKI S., OSIKA R., PACZYŃSKI B., RAJECKI M., SAŁDAN M., SŁOWAŃSKA B. & SMAKOWSKI T. 1980 – Zasoby perspektywiczne kopalni Polski wg stanu na 1 I 1980 r. Inst. Geol., Warszawa.
- BLUSZ K., INDERBERG T.H.J. & ZERKA P. (red.) 2015 – Obywatele zasobni w zasoby. Biała Księga zarządzania zasobami naturalnymi w Polsce. demosEUROPA – Centrum Strategii Europejskiej, Fridtjof Nansen Institute, Warszawa.
- BOLEWSKI A. & GRUSZCZYK H. (red.) 1988 – Zasoby perspektywiczne kopalni Polski (stan na 1981-01-01). Inst. Geol., Warszawa.
- BUKOWSKI K. 2011 – Badeńska sedymentacja salinarna na obszarze między Rybnikiem a Dębica w świetle badań geochemicznych, izotopowych i radiometrycznych. Rozprawy i Monografie AGH, 236: 1–184.
- BURLIGA S. 2007 – Internal structure of subhorizontal bedded rock salt formation in the area of Sieroszowice, SW Poland – meso- and micro-structural indications. Gosp. Sur. Miner., 23 (1; Prz. Solny): 51–64.
- CZAPOWSKI G. & BUKOWSKI K. 2009 – Złoża soli w Polsce: aktualny stan i perspektywy zagospodarowania. Prz. Geol., 57 (9): 798–811.
- CZAPOWSKI G. & BUKOWSKI K. 2010 – Geology and resources of salt deposits in Poland: the state of the art. Geol. Quarterly, 54 (4): 509–518.
- CZAPOWSKI G. & BUKOWSKI K., 2011 – Sól kamienna i sole potasowo-magnezowe. [W:] Wołkowicz S., Smakowski T. & Speczik S. (red.),

- Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. PIG-PIB, Warszawa: 134–142.
- 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. & GIENKA M. 2008a – Aktualny stan rozpoznania geologicznego złóż soli kamiennej w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 429: 27–36.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., CHEŁMIŃSKI J. & TOMASZCZYK M. 2008b – Stopień rozpoznania i perspektywy zagospodarowania cechsztyńskich złóż soli w rejonie Zatoki Gdańskiej. *Gór. Odkryw.*, 49/II, (2/3): 47–55. Wrocław.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., TADYCH J., GRZYBOWSKI Ł. & SZTYRAK T. 2009 – Wykształcenie i tektonika utworów solnych cechsztynu w wydzie solnym Góra koło Inowrocławia w świetle wyników kompleksowych badań geochemiczno-litologicznych w wybranych otworach wiertniczych. *Prz. Geol.*, 57 (6): 494–503.
- 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. *Wyd. AGH, Geology, Geophysics & Environment (Prz. Solny 2012)*, 38 (2): 153–188.
- CZAPOWSKI G., JAROSIŃSKI M., GŁUSZYŃSKI A., TOMASSI-MORAWIEC H. & SKOWROŃSKI L. 2014 – Określenie możliwości występowania i charakterystyka pokładów soli K-Mg permu na obszarze monokliny przedsudeckiej w świetle danych archiwalnych. *Etapy I i II. Archiwum CUPRUM S.A.*, Wrocław.
- DADLEZ R. (red.) 1998 – Mapa tektoniczna kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego na Niżu Polskim w skali 1 : 500 000. *Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.
- DADLEZ R., MAREK S. & POKORSKI J. (red.) 1998 – Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce, skala 1 : 2 500 000. *Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.
- GAŚIEWICZ A. 1989 – Wyniki prac poszukiwawczych złóż siarki rodzimej w rejonie Alfredówka Gwoździec. *Prz. Geol.*, 37 (4): 207–209.
- GAŚIEWICZ A. 2000 – Sedimentologia i diageniza wapieni poselenitowych a model genetyczny polskich złóż siarki rodzimej. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 172.
- GAŚIEWICZ A. 2011 – Siarka rodzima. [W:] Wołkowicz S., Smakowski T. & Speczik S. (red.), Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. – Kopaliny chemiczne. Siarka rodzima. PIG-PIB, Warszawa: 128–132.
- KIJEWSKI P. & SALSKI W. 1978 – Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu Z1 w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej. *Geol. Sudetica*, 13 (1): 97–134.
- KŁAPCZIŃSKI J. (red.) 1989 – Atlas obszaru miedzionośnego (monoklina przedsudecka), skala 1 : 50 000. *Wyd. Śląsk. Katowice*.
- KOŹMA J. 2015 – Metodyka waloryzacji przestrzennej pokrycia terenu i obiektów ochrony przyrody na potrzeby oceny konfliktowości potencjalnej eksploatacji kopalin w obszarach perspektywicznych. *Prz. Geol.*, 63 (9): 581–588.
- KUBICA B. 1992 – Rozwój litofacjalny osadów chemicznych badenu w północnej części zapadliska przedkarpackiego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 133.
- KUBICA B. 1994a – The discovery of new sulphur deposits between the Vistula and San rivers (the Carpathian Foredeep, southern Poland) – a historical review. *Geol. Quart.*, 38 (3): 341–252.
- KUBICA B. 1994b – Metasomatism of Badenian sulphates of the Carpathian Foredeep and its palaeogeographic conditions. *Geol. Quart.*, 38: 395–414.
- MARKIEWICZ A. 2007 – Naskórkowa struktura południowej części monokliny przedsudeckiej a zagospodarowanie utworów najstarszej soli kamiennej (Na1). *Gosp. Sur. Miner.*, 23 (1; Prz. Solny): 35–49.
- MARKIEWICZ A. & BECKER R. 2009 – Pierwotny zasięg występowania najstarszej soli kamiennej (Na1) w południowej części monokliny przedsudeckiej (SW Polska). *Geologia (Prz. Solny)*, 35 (3): 327–348.
- MIKULSKI S.Z., 2015 – Mapy obszarów perspektywicznych wystąpień rud metali w Polsce w skali 1 : 200 000 – rudy złota typu żyłowego i metasomatycznego towarzyszące mineralizacji siarczkowej na Dolnym i Górnym Śląsku oraz w Małopolsce (południowa Polska). *Prz. Geol.*, 63 (9): 546–555.
- MIKULSKI S.Z. & SADŁOWSKA K. 2015 – Mapy obszarów perspektywicznych wystąpień rud metali w Polsce w skali 1 : 200 000 – rudy niklu typu wietrzeniowego (saproilitowego) na bloku przedsudeckim (SW Polska). *Prz. Geol.*, 63 (9): 556–555.
- MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., CZAPOWSKI G., SADŁOWSKA K., GAŚIEWICZ A., MARKOWIAK M., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., SZTROMWASSER E., KOŹMA K., SIKORSKA-MAYKOWSKA M., PAULO A., CHMIELEWSKI A., RADWANIEK-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. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB [1714/2015]*, Warszawa
- NIEĆ M. 1977 – Metodyka rozpoznawania złóż siarki na potrzeby eksploatacji otworowej. *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*, 3: 5–81.
- OSIKA R. (red.) 1979 – Zasady prognozowania i zasoby perspektywiczne kopalin Polski. *Inst. Geol.*, Warszawa.
- OSMÓLSKI T. 1971 – Historia badań genezy złóż siarki w zapadlisku przedkarpackim w Polsce. *Biul. Inst. Geol.*, 246: 163–185.
- OSZCZEPALSKI S. & CHMIELEWSKI A. 2015 – Zasoby przewidywane surowców metalicznych Polski na mapie w skali 1 : 200 000 – miedź, srebro, złoto, platyna i pallad w utworach cechsztyńskiej serii miedzionośnej. *Prz. Geol.*, 63 (9): 534–545.
- PAWŁOWSKI S., PAWŁOWSKA K. & KUBICA B. 1985 – Budowa geologiczna tarnobrzeskiego złoża siarki rodzimej. *Pr. Inst. Geol.*, 114.
- PAWŁOWSKI S., PAWŁOWSKA K. & KUBICA B. 1986 – Siarka rodzima. [W:] Bolewski A. & Gruszczak H. (red.), Zasoby perspektywiczne kopalin Polski (stan na 1981-01-01). *Inst. Geol.*, Warszawa: 512–536.
- PAWŁOWSKI S., PAWŁOWSKA K. & KUBICA B. 1987 – Siarka rodzima. [W:] Osika R. (red.), Budowa geologiczna Polski. T. 6. Złoża surowców mineralnych, część IV: Surowce chemiczne. *Wyd. Geol. Warszawa*: 378–412.
- PERYT T.M., CZAPOWSKI G., DĘBSKI J., GAŚIEWICZ A., HERBICH E. & PIZON A. 1984 – Poszukiwanie złóż soli cechsztyńskich polihalitu na wyniesieniu Leby. Część I. Analiza geologicznych warunków występowania i genezy polihalitu i soli cechsztyńskich na wyniesieniu Leby. 1–100. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB [33716, 33/177]*, Warszawa.
- 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: 1–184. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB [4121/401]*, Warszawa.
- PODEMSKI M. 1973 – Podsumowanie wyników dotychczasowych badań geofizycznych i geologicznych zachodniej części niecki północno-sudeckiej w aspekcie poszukiwań złóż soli kamiennej i potasowej: 1–43. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB [DS/259]*, Warszawa.
- PODEMSKI M. 1974 – Wyniki dotychczasowych badań soli potasowych w strefie przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 21 (1): 7–12.
- PODEMSKI M. 1975 – Sole cechsztyńskie w rejonie struktury Rybaki. *Biul. Inst. Geol.*, 286 (III): 5–63.
- ROZPORZĄDZENIE 2001 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 grudnia 2001 r. w sprawie kryteriów bilansowości złóż kopalin. *Dz.U. nr 153, poz. 1774, z późn. zm.*
- ROZPORZĄDZENIE 2011 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopalin. *Dz.U. nr 291, poz. 1712, 2011.*
- SIKORSKA-MAYKOWSKA M., KOSTRZ-SIKORA P., BLIŹNIUK A. & PIOTROWSKA M. 2015 – Ograniczenia środowiskowe obszarów perspektywicznych wystąpień rud metali i surowców chemicznych w Polsce. *Prz. Geol.*, 63 (9): 589–597.
- SOKOŁOWSKI J. 1967 – Charakterystyka geologiczna i strukturalna obszaru przedsudeckiego. *Geol. Sudetica*, 3: 297–367.
- SZANIAWSKI H. 1964 – Cechsztyń na Pomorzu Gdańskim. *Kwart. Geol.*, 8 (4): 922–923.
- SZTROMWASSER E., GIEŁŻECKA-MĄDRY D., MĄDRY S., KUĆ P. & SADŁOWSKA K. 2015 – Zasoby perspektywiczne surowców siarczanowych Polski na mapach w skali 1 : 200 000 – gipsy i anhidryty. *Prz. Geol.*, 63 (9): 572–580.
- SZYBIŚ A. 1976 – Złoże soli kamiennej w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedzianym. *Prz. Geol.*, 24 (10): 572–576.
- ŚLIZOWSKI J., LANKOF L. & WOJTUSZEWSKA K. 2007 – Geomechaniczna ocena optymalnej głębokości komór magazynowych gazu ziemnego w polskich złożach soli kamiennej. *WUG, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, 6 (154), 50–61. Katowice.
- TOBOŁA T. 2014 – The influence of tectonics on petrological characteristics of anhydrite and anhydrite-halite intercalations in the Oldest Halite (Na1) (Zechstein, Upper Permian) of the Bądźów area (SW Poland). *Geol. Quart.*, 58 (3): 531–542.
- WOŁKOWICZ S., SMAKOWSKI T. & SPECZIK S. (red.) 2011 – Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. PIG-PIB, Warszawa: 1–261.
- ŻEŁAŹNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P., BUŁA Z., KARNKOWSKI P. H., KONON A., OSZCZYPKO N., ŚLĄCZKA A., ŻABA J. & ŻYTKO K. 2011 – Regionalizacja tektoniczna Polski. *Komitet Nauk Geol. PAN, Wrocław*: 1–60.