

POTENCJAŁ ZASOBOWY SOLI KAMIENNEJ I SOLI POTASOWYCH W POLSCE A PERSPEKTYWY JEGO WYKORZYSTANIA

SALT RESOURCES OF POLAND AND PERSPECTIVES OF THEIR MANAGEMENT

Grzegorz Czapowski - Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa
Krzysztof Bukowski - Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Udokumentowane zasoby bilansowe soli kamiennej wynosiły w 2011 roku blisko 85 mld ton zaś pozabilansowe – blisko 21 mld ton. Dominują zasoby soli permskiej, występujące głównie w obrębie wysadów solnych, zaś zasoby złóż soli mioceńskich stanowią ułamek krajowych zasobów soli kamiennej (bilansowe - 5,1 % i pozabilansowe - 0,28 %).

Przewidywane (prognostyczne i perspektywiczne) zasoby soli kamiennej w Polsce wynoszą ponad 2 256 mld ton, w tym zasoby soli permskiej to ponad 2 254 mld ton, (ponad 96,7% to zasoby wystąpień soli pokładowych). Zasoby przewidywane mioceńskiej soli kamiennej wynoszą 2,4 mld ton (0,1% krajowych zasobów przewidywanych).

Łączny stan zasobów soli kamiennej (udokumentowanych i przewidywanych) w Polsce szacowany jest na ok. 2 362,4 mld ton, z czego absolutną większość (87,3% całości) stanowią zasoby perspektywiczne soli permskiej, ulokowane głównie w wystąpieniach pokładowych. Zasoby dotychczas udokumentowane to jedynie 4,7% całego krajowego potencjału zasobowego soli kamiennej.

Przyjmując średnie roczne ok. 3,9 mln i całkowite wykorzystanie zasobów udokumentowane zasoby soli kamiennej wystarczą na ponad 27 tys. lat, zaś zasoby przewidywane - na ponad 500 lat (zakładając pozyskanie jedynie 1/10⁶ części zasobów). Coraz częściej złoża soli wykorzystuje się do budowy w ich obrębie operacyjnych kawernowych magazynów gazu (Mogilno, Kosakowo) i paliw (Góra), a w przyszłości - mogą być z nich lokowane składowiska odpadów niebezpiecznych.

Zasoby bilansowe permskich soli potasowo-magnezowych są niewielkie (72 mln ton udokumentowane w wysadzie solnym Kłodawa, sporadycznie eksploatowane). Zasoby prognostyczne tych soli wynoszą 719,44 mln ton i obejmują zasoby złóż soli typu siarczanowego (polihalit), występujące w rejonie Zatoki Puckiej oraz zasoby w obrębie wysadu kłodawskiego. Zasoby perspektywiczne soli potasowo-magnezowych na terenie monokliny przedsudeckiej oszacowano na 300 mln ton. Łączne zasoby przewidywane soli potasowo-magnezowych w Polsce oszacowano na blisko 1,02 mld ton.

Słowa kluczowe: zasoby soli, perspektywy zagospodarowania, Polska

The documented anticipated economic resources of rock salts in 2011 were 84,98 bln t and the subeconomic resources - c. 20,7 bln t. Miocene salt resources equaled to 5,1% and 0,28% - of total anticipated economic and subeconomic resources and the resources of Permian rock salt predominated in both categories..

Predicted (prognostic and prospective) resources of rock salt were estimated for >2 256 bln t, with >2 254 bln t of the Permian salts (stratiform deposits constituted 96,7% and the salt diapirs – 3,2% of total resources). Predicted resources of Miocene rock salt equaled 2,45 bln t (0,1%).

Total (documented and predicted) resources of rock salt in Poland was estimated for c. 362,38 bln t, with the dominant (87,3%) prospective resources of Permian salts, belonged mainly to the stratiform deposits. Hitherto documented resources of rock salt constituted only 4,7% of whole rock salt potential. The documented rock salt resources could prove over 27 Ka of exploitation, assuming the current production rate (annual output of c. 3,9 mln t) and the total resource excavation. Wit the same production and excavation of 1/106 of total predicted resources these resources will prove >500 years of salt production. Underground cavern storages for gas (as Mogilno and Kosakowo) and fuels (as Góra) as well as underground safety disposals for hazardous wastes become the more important form of salt deposits management in the nearest future.

The small (72 mln t) anticipated economic resources of Permian potash-magnesium became documented in the Kłodawa salt diapir. The predicted resources of such salts are 719,44 mln t and included the prognostic resources of polyhalite (619,44 mln t) at the Puck Bay and in the Kłodawa salt diapir (100 mln t). The prognostic resources of Permian potash-magnesium salts in the Fore-Sudetic monocline area were estimated for 300 mln t. Total predicted resources of these salts in Poland equaled 1,02 bln t and until now their exploitation was sporadic and uneconomic but last time the increased interest of these deposits management is observed, especially of polyhalite deposits at the Puck Bay.

Key words: salt resources and reserves, management perspectives, Poland

Wstęp

Polska, podobnie jak sąsiadujące Niemcy, jest w skali Europy krajem wyjątkowo zasobnym w złoża soli, szczególnie soli kamiennej. Zawdzięcza to głównie wstąpieniom soli (soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych) późnego permu (cechsztynu), które wypełniają olbrzymi europejski permski basen sedimentacyjny, zajmujący w Polsce blisko 60% powierzchni kraju, zaś grubość serii solnej sięga blisko 1,4 km [7]. Sole kamienne miocenu o grubości do 200-300 m zalegają stosunkowo płytko w obrębie wąskiego pasa wystąpień w zapadlisku przedkarpackim na południu Polski. Ich wieloletnia eksploatacja zakończyła się praktycznie w końcu ubiegłego wieku, a część zabytkowych kopalni pełni obecnie funkcję turystyczno-wypoczynkową i zabytkową.

Sole permskie są obecnie podstawowym obiektem eksploatacji oraz stanowią aktualną i przyszłą bazę zasobową tej kopaliny. Cała pozyskiwana sól kamienna (w 2011 r. wydobyto jej ponad 4,28 mln t [35]) pochodzi ze złóż, udokumentowanych w wysadach solnych na obszarze Niżu Polskiego oraz wystąpień pokładowych na monoklinie przedsudeckiej i na Pomorzu Gdańskim koło Zatoki Puckiej. Szereg złóż pozostało niezagospodarowanych i zamierzeniem pracy jest przedstawienie szacunków łącznych krajowych zasobów (aktualnie udokumentowanych i przewidywanych do głębokości występowania 2 km) soli kamiennej oraz soli potasowo-magnezowych. Znajomość tych zasobów, z podziałem na formy wystąpień złożowych [6, 8, 9, 10, 11], jest istotna dla planowania przyszłej gospodarki krajowymi zasobami kopalni, szczególnie w sytuacji, gdy złoża soli stały się pożądanymi obiektami geologicznymi dla lokowania w ich obrębie podziemnych kawernowych magazynów węglowodorów [2, 3, 17, 18, 19, 21, 22, 24, 25, 27, 33, 34, 40, 41] oraz składowisk niebezpiecznych odpadów (w tym również promieniotwórczych) [16, 22, 28, 29, 31, 37; 38]. Dyskusyjną formą wykorzystania wyrobisk solnych byłoby składowanie w ich obrębie przemysłowego dwutlenku węgla w ramach programu sekwestracji tego gazu [30]. Jedną z ciekawszych koncepcji jest wykorzystanie kawern solnych do magazynowania powietrza dla hybrydowych elektrowni gazowych [32] lub wodoru dla produkcji energii i paliw syntetycznych [5].

Aktualne udokumentowane zasoby soli w Polsce

Sól kamienna

Udokumentowane w 16. (rys. 1) spośród 19. złóż [6, 7]) zasoby bilansowe soli kamiennej wynosiły w 2011 roku blisko 85 mld ton [35], w tym zasoby soli mioceńskich (3 złoża) osza-

cowano na 4,37 mld t (5,1% całości krajowych bilansowych zasobów soli kamiennej), zaś zasoby soli permskich (14 złóż) wynoszą 80,96 mld t (94,9% całości zasobów). Wśród złóż soli permskich dominującą część (tab. 1) stanowią zasoby 9 złóż rozpoznanych w obrębie 7. wysadów (blisko 56 mld ton i 65,4% zasobów krajowych), zaś zasoby soli z 4. złóż pokładowych oceniane są na blisko 25 mld ton (29,4% zasobów krajowych). Zasoby przemysłowe 5. eksploatowanych złóż permskiej soli kamiennej wynoszą ponad 1,25 mld ton, w tym złoża pokładowe (Mechelinki) - 0,35 mld ton [35].

Zasoby pozabilansowe soli kamiennej udokumentowane w 10. złożach wynosiły w 2011 r. blisko 20,7 mld t [35], w tym absolutną większość stanowią zasoby soli permskich (8 złóż) oceniane na 20,64 mld t (99,7% całości krajowych zasobów pozabilansowych). Skupione są one głównie w wysadach solnych (5 złóż; blisko 13 mld t, 62,5% całości zasobów), zaś zasoby 3 złóż pokładowych szacowane są na 7,7 mld t - 37,2% całości zasobów (tab. 1). Zasoby pozabilansowe mioceńskiej soli kamiennej, ustalone dla złóż Wieliczka i Siedlec-Moszczenica, wynoszą 58,26 mln t (ok. 0,3% całości zasobów).

Sole potasowo-magnezowe

Zasoby bilansowe soli potasowo-magnezowych w udokumentowanych 5. złożach (rys. 1) wynoszą >669 mln ton [35]), z czego większość (4 złoża, ok. 597 mln ton; 89,2% całości zasobów) stanowią złoża soli potasowo-magnezowej typu siarczowego (polihalit) w rejonie Zatoki Puckiej [6, 7, 9], gdzie lokują się w otoczeniu pokładowych złóż soli kamiennej (rys. 2).

Zasoby bilansowe i pozabilansowe złóż nad Zatoką Pucką (20,6 mln t; 93% całości zasobów - [35]) należy jednak traktować w kategorii zasobów prognostycznych ze względu na stosunkowo słaby stopień rozpoznania (niska kategoria udokumentowania), głębokość występowania do 1000 m, brak zagospodarowania i zmianę koncepcji powstania mineralizacji polihalitowej, rzutującą na oszacowanie zasobów [7].

Niewielkie ilości soli potasowo-magnezowych typu chlorkowego (głównie karnalit) o zasobach bilansowych 72 mln ton stanowiących 10,8% całości zasobów i zasobach pozabilansowych wynoszących 1,5 mln t (7% całości zasobów - [35]) udokumentowano [44] w wysadzie solnym Kłodawa (rys. 3). Należy podkreślić, że obecnie w Polsce nie jest prowadzona eksploatacja soli potasowo-magnezowych.

Zasoby przewidywane soli kamiennej w Polsce

Po 16 latach od momentu wykonania pierwszej oceny zasobów perspektywicznych kopalni Polski [1] dokonano [9]

Tab. 1. Udział udokumentowanych zasobów poszczególnych typów złóż permskich soli kamiennych w Polsce
Tab. 1. Volume and percent of documented resources related to various types of Permian rock salt deposits in Poland

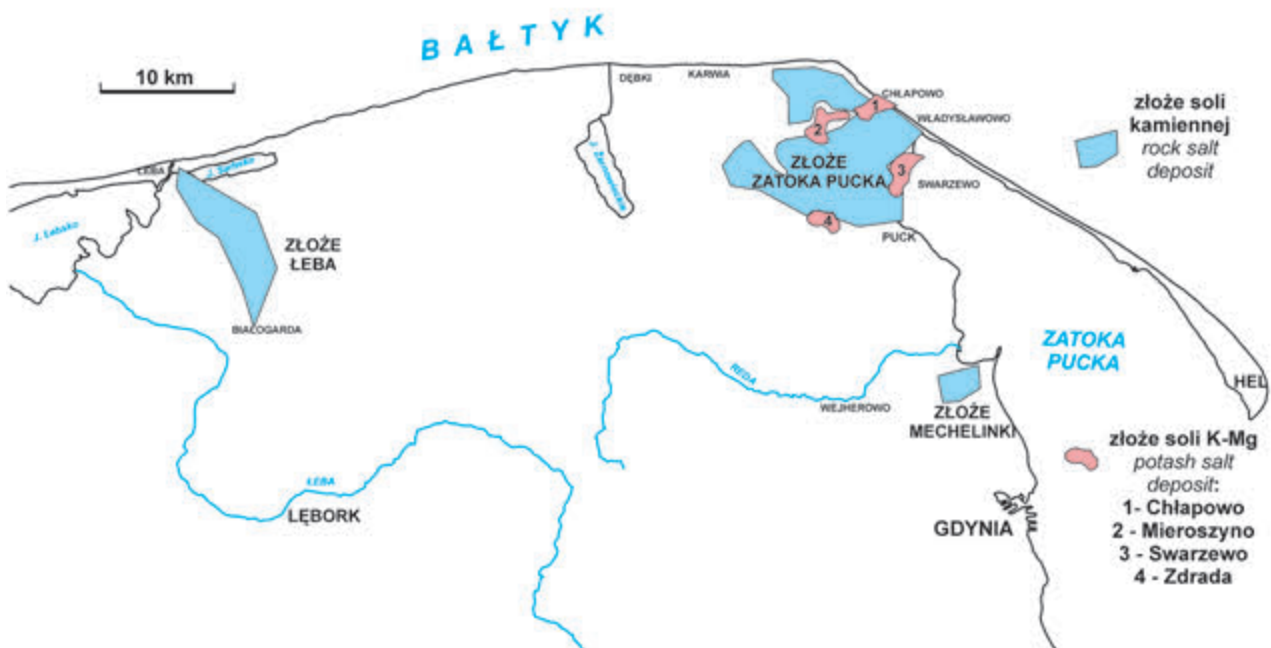
Typ złoża <i>Deposit type</i>	Zasoby bilansowe (mln ton) <i>Anticipated economic resources</i>	Procent całości (%) <i>Percent of total</i>	Zasoby pozabilansowe (mln ton) <i>Subeconomic resources</i>	Procent całości (%) <i>Percent of total</i>
wysadowe <i>in salt diapir</i>	55 611 (9 złóż)	69	12 944,0 (5 złóż)	62,7
pokładowe <i>stratiform</i>	24 998 (4 złoża)	31	7 696,5 (3 złoża)	37,3
RAZEM <i>Total</i>	80 609	100	20 640,6	100



Rys. 1. Rozmieszczenie udokumentowanych złóż soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych w Polsce (wg [6])
 Fig. 1. Location of documented rock salt and potash-magnesium salts deposits in Poland (after [6])

ponownego ich oszacowania, w tym zasobów soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych (rys. 3). Przedstawiono kryteria określania rodzaju zasobów i ponownie obliczono wielkości zasobów przewidywanych tych soli (z podziałem na zasoby prognostyczne [kategoria D₁] i perspektywiczne [kategoria D₂, E]) do głębokości 2 km (aktualnie technicznie przyjmowana maksymalna głębokość dla lokowania kavern magazynowych – [39]).

Złoże soli kamiennej są coraz częściej wykorzystywane nie tylko do produkcji soli kruszonej czy solanki lecz także jako wyjątkowo korzystne obiekty geologiczne do budowy w ich obrębie operacyjnych kawernowych magazynów ropy naftowej i gazu ziemnego oraz paliw np. funkcjonujące jako magazyn gazu złożo Moglino II [17, 21, 33], budowany magazyn Kosakowo w złożu soli Mechelinki [24] czy zaadaptowane do potrzeb magazynowania paliw kwerny w złożu Góra [20]. Planuje się też



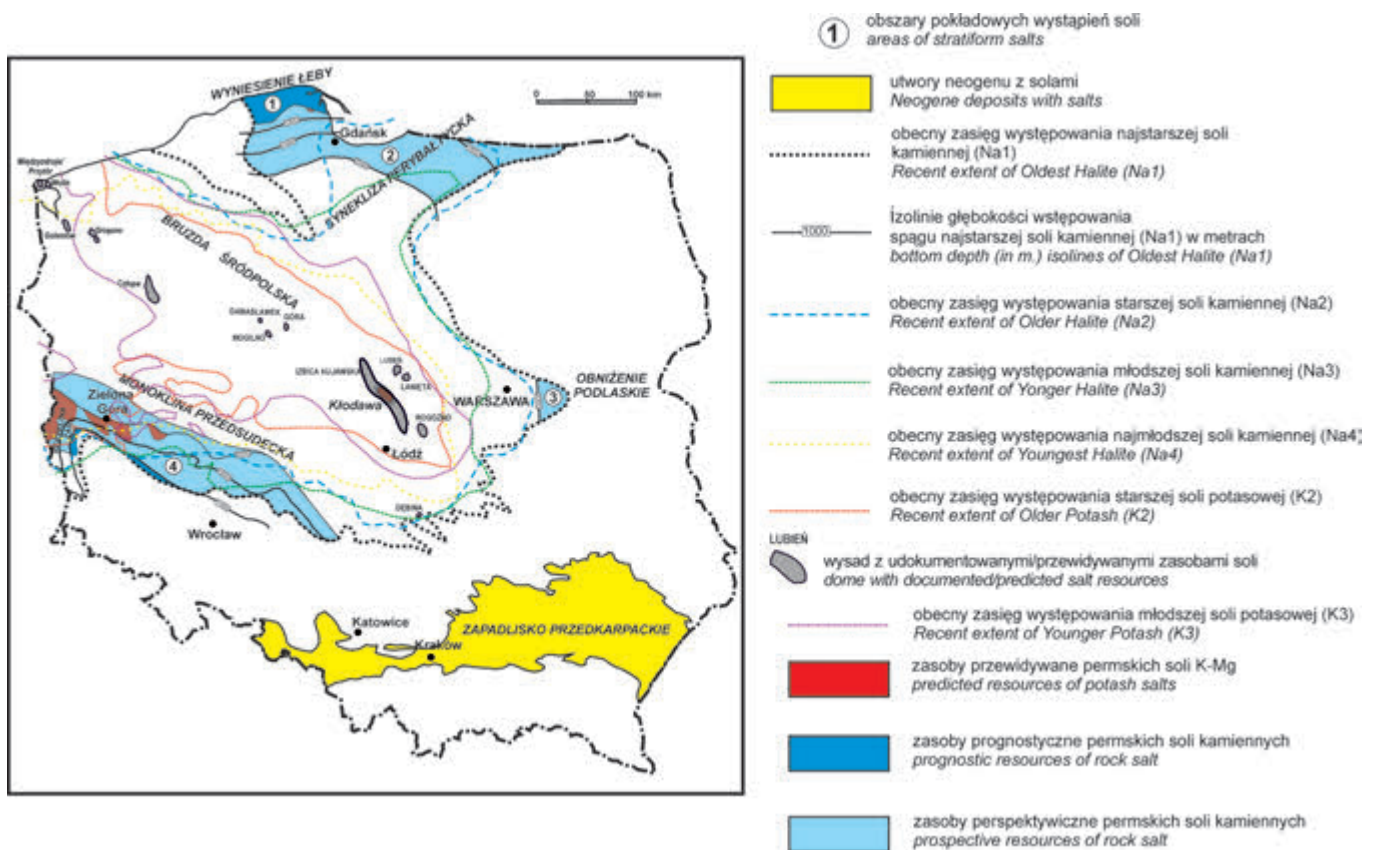
Rys. 2. Rozmieszczenie pokładowych złóż permiake soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych w rejonie Zatoki Puckiej (wg [6])
 Fig. 2. Distribution of stratiform Permian rock salt and potash-magnesium deposits at the Puck Bay (after [6])

Tab. 2. Wybrane parametry i zasoby przewidywane permskiej soli kamiennej w wystąpieniach pokładowych w Polsce (wg [9])
 Tab. 2. Selected parameters and predicted Permian rock salt resources of stratiform salt occurrences in Poland (after [9])

Nr obszaru <i>Area number</i>	Nazwa obszaru złożowego <i>Name of deposit area</i>	Powierzchnia (km ²) <i>Deposit area</i>	Zasoby <i>Resources</i>		Głębokość występowania soli (m) <i>Depth of salt top</i>	Miąższość soli(m) x współczynnik komplikacji budowy tektonicznej złoża <i>Salt thickness x tectonic coefficient</i>	Zawartość składnika użytecznego (% NaCl) <i>Main component content</i>
			prognostyczne (mln ton) <i>prognostic</i>	perspektywiczne (mln ton) <i>prospective</i>			
1.	Obszar wyniesienia Leby <i>Leba elevation</i>	1491 ¹	107 025 ¹	-	700-1000*	35*	80,0-99,8
		900*	-	65 000*	100-700*	35*	b.d.*
2.	Synekliza perybałtycka <i>Peribaltic Syncline</i>	9 900*	-	1 036 810	1000-2000*	35*	do 98*
3.	Obniżenie podlaskie <i>Podlasie Depression</i>	500*	-	5000*	1500-2000*	5*	b.d.*
4.	Monoklina przedsudecka <i>Fore-Sudetic Monocline</i>	449,4 ²	44 913,7 ²	-	≤1000*	50*	85-99*
		6 200	-	921 522	1000-2000*	50*	82-99
RAZEM <i>Total</i>		19 440,4	151 938,7	2 028 332,0			

* dane wg [1], 1 - dane wg [1], pomniejszone o złożo soli kamiennej Mechelinki, 2 - dane wg [1], pomniejszone o złożo soli kamiennej Kazimierzów/Sierszowice, b.d. – brak danych

* data after [1], 1 – data after [1], without resources of Mechelinki salt deposit, 2 - data after [1], without resources of Kazimierzów/Sierszowice salt deposit, b.d. – lack of data



Rys. 3. Mapa występowania zasobów przewidywanych permskiej soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych w Polsce (wg [9])
 Fig. 3. Distribution of predicted (prognostic and prospective) Zechstein salt resources in Poland (after [9])

Tab. 3. Wybrane parametry i zasoby przewidywane soli kamiennej w udokumentowanych i rozpoznanych wysadach solnych w Polsce (dane wg [1])
 Tab. 3. Selected parameters and predicted rock salt resources of documented and recognized salt diapirs in Poland (data after [1])

Lp.	Nazwa diapiru solnego i złoża soli <i>Name of salt diapir & salt deposit</i>	Powierzchnia <i>Deposit area (km²)</i>	Zasoby <i>Resources</i>		Głębokość występowania soli (m) <i>Depth of salt top</i>	Miąższość soli (m) x współczynnik komplikacji budowy tektonicznej złoża <i>Salt thickness x tectonic coefficient</i>	Zawartość składnika użytecznego (% NaCl) <i>Main component content</i>
			prognostyczne (mln ton) <i>prognostic</i>	perspektywiczne (mln ton) <i>prospective</i>			
1.	Mogilno (I+II)	4,3	2 710	-	1000-2000	1000 x 0,3	95,6
2.	Góra	0,5	300	-	1000-2000	1000 x 0,3	82-99
3.	Damaśławek	15,5	5 860	-	1400-2000*	600 x 0,3	95,1
4a.	Kłodawa (część północna)	15,0	-	9 250	1000-2000	1000 x 0,3	97,5
4b.	Kłodawa (część środkowa)	14,9	9 250	-	1000-2000	1000 x 0,3	97,5
4c.	Kłodawa (część południowa)	9,8	-	6 000	1000-2000	1000 x 0,3	97,5
5.	Lubień	3,5	2 000	-	1000-2000	1000 x 0,3	90,0
6.	Lanięta	8,5	5 360	-	1000-2000	1000 x 0,3	96,1
7.	Rogóżno	21,0	13 000	-	1000-2000	1000 x 0,3	97,5
8.	Izbica Kujawska	4,0	1 250	-	≤1000	500 x 0,3	b.d.
		-	-	2 550	1000-2000	1000 x 0,3	b.d.
9.	Dębina	0,5	250	-	≤1000	750 x 0,3	96,5-98
		-	-	300	1000-2000	1000 x 0,3	b.d.
RAZEM <i>Total</i>		97,5	39 980,0	18 100,0	-	-	-

* b.d. – brak danych

* b.d. – lack of data

lokowanie w nich podziemnych składowisk niebezpiecznych odpadów (np. [19, 22, 28, 29, 31, 37, 38]), należy zatem przy ocenie zasobności złóż soli kamiennej przyjąć stosowne kryteria geologiczne, warunkujące wykonanie takich inwestycji. Ustalono [39], że maksymalna głębokość magazynowania w złożu soli nie powinna przekraczać 2000 m od powierzchni terenu, zaś optymalne warunki lokowania kavern magazynowych to przedział głębokości 1200-1400 m.

Jak wspomniano wcześniej na obszarze Polski dominują wystąpienia permskich soli, przyjmujące formę pokładową i wysadową (rys. 3):

- w formie pokładowej, głównie na obrzeżu dawnego basenu permskiego, np. obszar wyniesienia Łeby, synekliza perybałtycka, monoklina przedsudecka z perykliną Żar;
- w formie wysadowej, w obrębie różnorodnych struktur solnych (od kopuł po słupy i grzebień solne) wysokości do 7 km, występujących na obszarze bruzdy śródpolskiej, gdzie najwcześniej poznane struktury solne są związane z regionem kujawskim.

Lepiej rozpoznane (czasem dokumentacje w kategorii C₂ i C₁), ale niezagospodarowane zasoby występień soli kamiennej do głębokości 1000 m zaliczono do zasobów prognostycznych, zaś słabo poznane (sporadycznie dokumentacje w kategorii C₂), zalegające w przedziale głębokości 1-2 km – przeważnie do zasobów perspektywicznych. Wybrane parametry geolo-

giczno-surowcowe oraz wielkość zasobów przewidywalnych omówionych występień soli kamiennej w Polsce zawierają tabele 3-6.

Zasoby przewidywane występień pokładowych permskiej soli kamiennej obejmują (rys. 3; tab. 2):

- obszar wyniesienia Łeby (1) - zasoby przewidywane to ponad 172 mld ton, w tym: zasoby prognostyczne - ponad 107 mld ton i zasoby perspektywiczne - 65 mld ton;
- obszar syneklizy perybałtyckiej (2) – zasoby perspektywiczne soli kamiennej wynoszą 1 036,81 mld ton i obejmują dwa pokłady soli: najstarszej soli kamiennej (Na1; 727,65 mld ton i młodszej soli kamiennej (Na2; 309,16 mld ton);
- obszar obniżenia podlaskiego (3) - zasoby perspektywiczne pokładu najstarszej soli kamiennej wynoszą 5 mld ton;
- obszarze monokliny przedsudeckiej (4), wraz z jej najbardziej zachodnią częścią, którą stanowi peryklina Żar, gdzie dwa kompleksy soli kamiennej: najstarsza sól kamienna (Na1) i młodsza sól kamienna (Na3) spełniają założone kryteria oceny dla zasobów przewidywanych.

Łączne zasoby perspektywicznych tych soli wynoszą 921,5 mld ton, zaś prognostyczne – 44,9 mld t.

Zasoby prognostyczne i perspektywiczne dla rozpoznanych i udokumentowanych 9 wysadów (rys. 4) podano (tab. 3) za wcześniejszym opracowaniem B. Bąk i S. Przeniosło [1] wobec



Rysc. 4. Wysady solne w Polsce z zasobami przewidywalnymi soli kamiennej (wg [9], zmienione)
Fig. 4. Salt diapirs in Poland with predicted (prognostic and prospective) rock salt resources (after [9], modified)

braku zagospodarowania i lepszego rozpoznania większości z nich. Zasoby przewidywanych w tych wysadach wynoszą ponad 58 mld ton, w tym: zasoby prognostyczne – 39,98 mld ton, zasoby perspektywiczne – 18,1 mld ton. Udokumentowane w wysadach Kłodawa, Mogilno i Góra złoża soli kamiennej są przedmiotem eksploatacji: kopalnia podziemna w środkowej części wysadu kłodawskiego oraz kopalnie otworowe w wysadach Mogilno i Góra.

Ponadto wytypowano 5 dotychczas wstępnie rozpoznanych struktur wysadowych: Międzyzdroje/Przytór, Wolin, Golenów, Grzęzno i Człopa (rys. 4; tab. 4), w których głębokość występowania zwierciadła solnego spełnia założone kryteria dla zagospodarowania pod pozyskiwanie soli i budowę kwer-

nowych magazynów. Zasoby przewidywane soli kamiennej w tych wysadach wynoszą 15,86 mld t (tab. 4).

Łączna wielkość przewidywanych zasobów permskiej soli kamiennej w Polsce, oszacowanych w obrębie 18 obiektów w Polsce to ponad 2 254 mld ton. Zasoby prognostyczne (wystąpienia pokładowe i wysady solne) do głębokości 2 km, wynoszą 192,46 mld ton, zaś zasoby perspektywiczne - 2 062 mld ton. Zasoby przewidywane wystąpień pokładowych wyliczono na ponad 2 180 mld ton, (zasoby prognostyczne - <152 mld ton, perspektywiczne - >2 028 mld ton); zasoby przewidywane w 14 wysadach solnych oszacowano na ponad 73,9 mld ton (zasoby prognostyczne wynoszą 40,5 mld ton, a perspektywiczne – 18,1 mld ton).

Tab. 4. Wybrane parametry i zasoby przewidywane soli kamiennej w wysadach solnych w Polsce powierzchniowo rozpoznanych (wg [9])
Tab. 4. Selected parameters and predicted rock salt resources of preliminary recognized salt diapirs in Poland (after [9])

Lp	Nazwa diapiru Name of salt diapir	Powierzchnia Diapir area (km ²)	Zasoby Resources		Głębokość występowania soli (m) Depth of salt top	Miąższość soli (m) x współczyn- nik komplikacji budowy tektonicznej złoża Salt thickness x tectonic coefficient	Zawartość składnika użytecznego (% NaCl) Main component content
			prognostyczne (mln ton) prognostic	perspektywiczne (mln ton) prospective			
1.	Międzyzdroje/ Przytór	3,9 ^	-	1 228	1000-2000	500 x 0,3	b.d.
2.	Wolin	10,6 ^	-	4 508	1000-2000	675 x 0,3	b.d.
3.	Golenów	7,0 ^	538	-	≤1000	122 x 0,3	b.d.
4.	Grzęzno	4,1 ^	-	1 467	1000-2000	568 x 0,3	b.d.
5.	Człopa	13,7 ^	-	3 711	1000-2000	430 x 0,3	b.d.
RAZEM Total		39,3	538	15324	-	-	-

W obrębie zapadliska przedkarpackiego, od okolic Wieliczki po Pilzno i Tarnów, wyznaczono 3 obszary występowania zasobów przewidywanych miocenijskiej soli kamiennej (rys. 5; tab. 5).

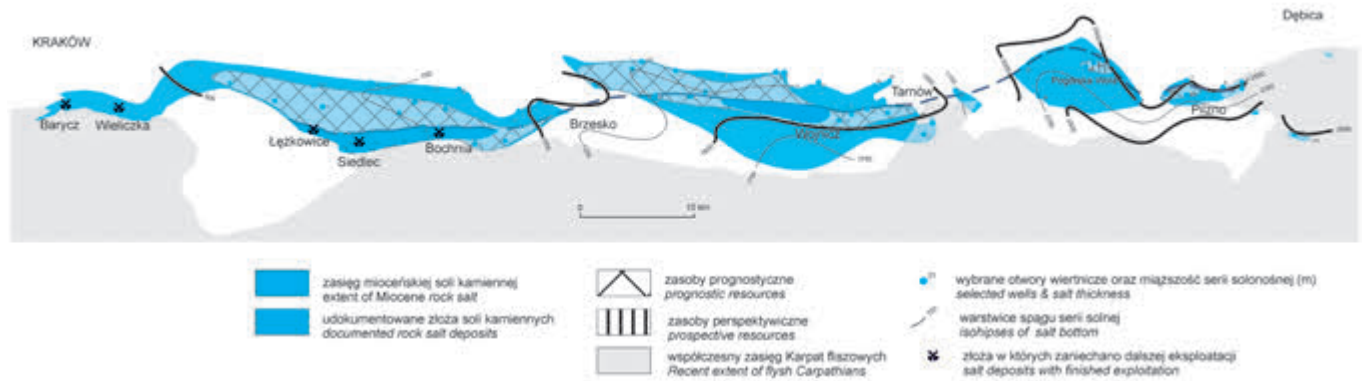
Ogólna powierzchnia przewidywanych zasobów miocenijskiej soli kamiennej szacowana jest na 115 km², zasoby prognostyczne wynoszą 2,4 mld ton, zaś perspektywiczne – 44 mln ton (tab. 6). Zasoby te mają marginalne znaczenie gdyż stanowią jedynie 0,1% całości zasobów przewidywanych soli kamiennych w Polsce [9].

Zasoby soli kamiennej w Polsce i perspektywy ich zagospodarowania

Łączny stan zasobów soli kamiennej w Polsce (udokumentowanych i przewidywanych) szacowany jest na blisko 2 362,38 mld t (tab. 6), z czego absolutną większość (87,3% całości) stanowią zasoby perspektywiczne soli permskiej, ulokowane głównie w wystąpieniach pokładowych [9]. Zasoby dotychczas udokumentowane to jedynie 4,7 % całego krajowego potencjału zasobowego soli kamiennej.

Udokumentowane (bilansowe i pozabilansowe) zasoby soli kamiennej wystarczają na ponad 27 tys. lat wydobycia, przyjmując średnie roczne wydobycie dla lat 2006-2011 na ok. 3,9 mln i całkowite wykorzystanie objętości tych zasobów. Przy podobnej wielkości wydobycia zasoby przewidywane soli kamiennej starczą na ponad 500 lat, zakładając pozyskanie jedynie 1/10⁶ części tych zasobów.

Złoża soli kamiennej to obecnie nie tylko źródło pożądanego surowca, ale w coraz większym stopniu świetny obiekt geologiczny do budowy w ich obrębie operacyjnych podziemnych kavernowych magazynów węglowodorów, zabezpieczających potrzeby energetyczne państwa. Zaletą takich magazynów jest wysokie bezpieczeństwo i gwarancja szybkiego odbioru magazynowanego medium (np. [23, 25, 34]). W Polsce funkcjonuje magazyn gazu w wysadzie solnym Mogilno [17, 19, 20, 33], w budowie jest magazyn gazu Kosakowo w złożu pokładowym soli kamiennej Mechelinki nad Zatoką Pucką [24], realizujący koncepcję zagospodarowania tego złoża z lat 70-tych ub. wieku [43]. Do magazynowania paliw wykorzystano część kavern solnych powstałych w wyniku działalności kopalni ługowniczej w wysadzie Góra (np. [19]). Potrzeby tworzenia podobnych



Rys. 5. Wystąpienia zasobów przewidywalnych miocenijskiej soli kamiennej w zapadlisku przedkarpackim (wg [9])

Fig. 5. Location of predicted Miocene rock salt resources in the Carpathian Foredeep (after [9])

Tab. 5. Wybrane parametry i zasoby przewidywane miocenijskiej soli kamiennej w zapadlisku przedkarpackim (wg [9])

Tab. 5. Selected parameters and predicted Miocene rock salt resources in Carpathian Foredeep (after [9])

Lp	Nazwa obszaru złożowego Name of deposit area	Powierzchnia (km ²) Area	Zasoby Resources		Głębokość występowania soli (m) Depth of salt top	Miąższość soli (m) x współczynnik komplikacji budowy tektonicznej złoża Salt thickness x tectonic coefficient	Średnia zawartość składnika użytecznego (% NaCl) Average content of main component
			prognostyczne (mln ton) prognostic	perspektywiczne (mln ton) prospective			
1	Wieliczka-Brzesko	60,0	1 323,0	-	≤1000	35 x 0,3	80
2	Brzesko-Tarnów	48,0	1 058,0	-	≤1500	35 x 0,3	80
3	Tarnów-Dębica	3,0 (obszar Pilzno)	66,0	-	≤1500	35 x 0,3	75
		2,0 (obszar Pogórska Wola)	-	44,0	1500-2000	35 x 0,3	75
RAZEM Total		115,0	2 447,0	44,0			

Tab. 6. Stan zasobów soli kamiennej w Polsce
 Tab. 6. Total volume of rock salt resources in Poland

ZASOBY UDOKUMENTOWANE W 2011 r. (% całości) (mln ton) <i>Resources documented in 2011 (% of total)</i>	
zasoby bilansowe <i>anticipated economic</i>	84 978,0 (3,6%)
zasoby pozabilansowe <i>subeconomic</i>	20 698,8 (1,1%)
ZASOBY PRZEWIDYWANE (% całości) (mln ton) <i>Predicted resources (% of total)</i>	
zasoby prognostyczne <i>prognostic</i>	194 903,7 (8,2%)
zasoby perspektywiczne <i>prospective</i>	2 061 800,0 (87,3%)
ZASOBY ŁĄCZNI <i>Total</i>	2 362 380,5 (100%)

podziemnych magazynów w Polsce są duże (np. [25, 34]) i jest możliwe ulokowanie ich w obrębie szeregu wysadów solnych i złóż pokładowych soli (np. [40, 41, 42]). Preferowanymi ze względu na korzystne parametry geologiczne (strop serii solnej na głębokości do 1 km) i rozpoznanie geologiczne (wyniki badań rozpoznawczych i dokumentacje złożowe) są dotąd niezagospodarowane wysady (rys. 4): Goleniów, Damasławek, Izbica Kujawska, Lubień, Łanięta, Rogóżno i Dębina [11, 12, 18, 40]. Należy także rozważyć możliwość budowy podobnego magazynu w największym w Polsce wysadzie solnym Kłodawa, nie kolidującego z funkcjonującą tu podziemną kopalnią soli. Niestety, pozostałe wysady solne są zbyt słabo poznane i wymagają lepszego rozpoznania geologicznego przed podjęciem jakiegokolwiek decyzji o ich zagospodarowaniu [11, 12].

Inna forma zagospodarowania złóż soli to budowa w ich obrębie nowych składowisk niebezpiecznych odpadów lub adaptacja do tego celu starych wyrobisk np. dla odpadów przemysłu miedziowego w złożu Kazimierzów w Sieroszowicach [15], odpadów przemysłowych, sanitarnych czy odpadów z elektrowni węglowych czy w wysadach solnych [16, 29, 31, 37]. Sole kamienne, a szczególnie skały zubrowe występujące w wysadach solnych [4], są dobrym ośrodkiem geologicznym do lokowania odpadów promieniotwórczych [22, 28, 36, 38]. Rozważa się też (np. [3]) opłacalność składowania w wyrobiskach solnych przemysłowego dwutlenku węgla.

Wyrobiska solne mogłyby też służyć jako wyrafinowane obiekty laboratoryjne np. projekt budowy laboratorium fizyki cząstek w kopalni w pokładowym złożu soli kamiennej Kazimierzów w Sieroszowicach na Dolnym Śląsku [26].

Zasoby soli potasowo-magnezowych w Polsce i perspektywy ich zagospodarowania

Zasoby bilansowe (597 mln ton – [35]) czterech złóż soli potasowo-magnezowych typu polihalitowego, udokumentowanych kategorii C₂ w rejonie Zatoki Puckiej (rys. 2-3), zaliczono do zasobów prognostycznych (tab. 7) ze względu na stosunkowo słaby stopień rozpoznania, głębokość występowania do 1000 m, brak zagospodarowania i zmianę koncepcji powstania mineralizacji polihalitowej, rzutującą na oszacowanie zasobów. Zasoby soli typu polihalitowego oszacowano w tym rejonie na >619 mln ton [9].

Na obszarze Niżu Polskiego nagromadzenia soli pota-

sowych i potasowo-magnezowych są związane z ogniwami: starszej (K2p) i młodszej (K3p) soli potasowej. Zostały one rozpoznane w wysadach w Inowrocławiu, Górze Mogilnie czy Kłodawie [13]. Jedyne w wysadzie kłodawskim (rys. 3) sole te zostały udokumentowane [44] jako tzw. pokład przemysłowy w obrębie ogniw młodszej (K3p) soli potasowej. Zasoby prognostyczne tych soli w części środkowej wysadu kłodawskiego oceniono na 100 mln ton [1]. Systematyczna eksploatacja tych soli nie jest prowadzona wobec trudnych warunków geologicznych (zmienna miąższość i zawartość składników użytecznych).

Na obszarze przedśudeckim (rys. 3) serie soli potasowo-magnezowych typu pokładowego w obrębie ewaporatów cykli PZ2 i PZ3 były opisywane od lat 60-tych ubiegłego wieku, lecz do chwili obecnej nie zostały udokumentowane złożowo [7]. Ponieważ stan ich rozpoznania od 1993 roku nie uległ zmianie przyjęto zatem oszacowaną wcześniej [1] wielkość ich zasobów perspektywicznych na równą 300 mln ton (tab. 7).

Łączna wielkość zasobów przewidywanych soli potasowo-magnezowych w Polsce wynosi prawie 1,02 mld mln ton, w tym zasoby prognostyczne (wraz z przeklasyfikowanymi zasobami udokumentowanymi) oceniono na ponad 719 mln ton, zaś perspektywiczne – na 300 mln ton (tab. 7). Większość (70,6%) zasobów przewidywanych stanowią zasoby prognostyczne wystąpień soli typu polihalitowego w rejonie Zatoki Puckiej, zaś pozostała część .to głównie zasoby perspektywiczne soli w rejonie Zielona Góra-Nowa Sól na monoklinie przedśudeckiej. Udokumentowane, ale nie eksploatowane zasoby w wysadzie Kłodawa mają znaczenie marginalne (9,8% ogólnych zasobów).

Dotychczas pomimo dość znaczących zasobów soli potasowo-magnezowych (głównie cenne polihality) w Polsce nie prowadzono ich systematycznego wydobycia. Wynikało to głównie z niskich cen tego surowca na europejskim rynku i dużej jego podaży, oferowanej przez eksploatowane wielkie złoża na Białorusi, Rosji czy Ukrainie. Tańszy był import niż podjęcie zagospodarowania krajowych zasobów. Ostatnio rośnie jednak zainteresowanie zarówno krajowych jak i zagranicznych inwestorów udokumentowanymi złożami w Polsce, a szczególnie złożami polihalitu nad Zatoką Pucką. Złoża te wymagają jednak lepszego rozpoznania i ponownego oszacowania zasobów. Serie soli potasowo-magnezowych, które występują na znacznym obszarze monokliny przedśudeckiej

Tab. 7. Powierzchnia i zasoby przewidywane permskich soli potasowo-magnezowych w Polsce (wg [9])
 Tab. 7. Area and predicted Permian potash salt resources in Poland (after [9])

Lp.	Nazwa obszaru złożowego <i>Name of deposit area</i>	Powierzchnia (km ²) <i>Deposit area</i>	Zasoby <i>Resources</i>		Głębokość występowania pokładu (m) <i>Depth of salt top</i>	Miąższość (od-do/średnia w m) x % wpół. komp. tek. <i>Salt thickness (min-max./average in m) x tectonic coefficient</i>	Zawartość składnika użytecznego od-do/ średnia (% K ₂ O) <i>Main component content (min-max./average)</i>
			prognostyczne (mln ton) <i>prognostic</i>	perspektywiczne (mln ton) <i>prospective</i>			
WYSTĄPIENIA POKŁADOWE <i>Stratiform deposits</i>							
A.	Obszar wyniesienia Łeby <i>Leba elevation</i>	17,75	(597,02); 619,44	-	≤1000*	1,9-73,0/ 6,03-31,3	3,5-15,97/ 7,74-13,78
B.	Monoklina przedsudecka <i>Fore-Sudetic Monocline</i>	100,0*	-	300,0*	1000-2000*	-/5 x 0,3*	1,0-25,0/10,0*
ZŁOŻA W WYSADACH SOLNYCH <i>Deposits in salt diapirs</i>							
C.	Kłodawa (część północna i część południowa)	0,01*	(72,09); 100*	-	500-1000*	-/10*	-/8,5*
RAZEM <i>Total</i>		117,76	(669,11); 719,44	300	-	-	-

* dane wg [1]; (...) – zasoby bilansowe

* data after [1], (...) – anticipated economic resources

w mniej korzystnych warunkach geologicznych (przedział głębokości 840-1900 m, intensywna tektonika dysjunktywna), nie mają dotychczas choć wstępnie udokumentowanych zasobów i wydają się mniej korzystne do zagospodarowania.

Podsumowanie

Udokumentowane w 19 złożach zasoby bilansowe soli kamiennej wynosiły w 2011 roku blisko 85 mld ton zaś pozabilansowe – blisko 20,7 mld ton. Zasoby złóż soli miocenijskich, zarówno bilansowe jak i pozabilansowe, stanowią ułamek – odpowiednio 5,1% i 0,28% - krajowych zasobów soli kamiennej. Dominują zasoby soli permskiej, głównie w obrębie wysadów solnych.

Oszacowane przewidywane (prognostyczne i perspektywiczne) zasoby soli kamiennej w Polsce wynoszą ponad 2 256 mld t, w tym zasoby soli permskiej to ponad 2 254 mld ton, z czego ponad 96,7 % stanowią zasoby wystąpień pokładowych soli, pozostała część tworzą zasoby w wysadach solnych. Zasoby przewidywane miocenijskiej soli kamiennej, ocenione na wynoszą 2,45 mld ton, mają - podobnie jak jej zasoby udokumentowane – znaczenie marginalne (0,1% krajowych zasobów przewidywanych).

Łączny stan zasobów soli kamiennej (udokumentowanych i przewidywanych) w Polsce szacowany jest na blisko 2 362,38 mld ton, z czego absolutną większość (87,3% całości) stanowią zasoby perspektywiczne soli permskiej, ulokowane głównie w wystąpieniach pokładowych. Zasoby dotychczas udokumentowane to jedynie 4,7% całego krajowego potencjału zasobowego soli kamiennej.

Udokumentowane (bilansowe i pozabilansowe) zasoby soli kamiennej wystarczają na ponad 27 tys. lat wydobycia, przyjmując średnie roczne wydobycie w Polsce na ok. 3,9 mln i całkowite wykorzystanie objętości zasobów. Przy podobnej

wielkości wydobycia zasoby przewidywane soli kamiennej starczą na ponad 500 lat, zakładając pozyskanie jedynie 1/10⁶ części tych zasobów. Coraz bardziej znaczącą formą zagospodarowania złóż soli jest budowa w ich obrębie operacyjnych kawernowych magazynów gazu (Mogilno, Kosakowo) i paliw (Góra), zaś w przyszłości – składowisk odpadów niebezpiecznych.

Zasoby bilansowe permskich soli potasowo-magnezowych odnoszą się jedynie do niewielkich ilości tych soli (72 mln ton), udokumentowanych w wysadzie solnym Kłodawa. Obliczone zasoby prognostyczne cechsztyńskich soli potasowo-magnezowych wynoszą 719,44 mln ton i obejmują one zasoby złóż soli typu siarczanowego (polihalit), występujące w rejonie Zatoki Puckiej (619,44 mln ton z włączeniem zasobów dotychczas uznawanych za bilansowe – 597 mln t) oraz zasoby w obrębie wysadu kłodawskiego (100 mln ton). Zasoby perspektywiczne tych soli na terenie monokliny przedsudeckiej (w przedziale głębokości 1000-2000 m) oszacowano na 300 mln ton. Łączne zasoby przewidywane soli potasowo-magnezowych w Polsce oszacowano na blisko 1,02 mld ton. Dotychczas eksploatacji tych soli nie prowadzono wobec niskiej opłacalności, lecz ostatnio rośnie zainteresowanie możliwością ich pozyskania, szczególnie cennych polihalitów ze złóż nad Zatoką Pucką.

Literatura

- [1] Bąk B., Przeniosło S., (red.). *Zasoby perspektywiczne kopalin Polski wg stanu na 31.XII.1990 r.* PIG, Warszawa, 1993
- [2] Brańka S., *Ekonomiczne uwarunkowania lokalizacji podziemnych magazynów gazu na przykładzie Polski*, Geologia (Przeгляд Solny 2009), 35, 3. Wyd. AGH, Kraków, 2009
- [3] Brańka S., Jawor E., Lankof L., Maciejewski A., Mazur M., Ney R., Pisiewicz T., Rogowska E., Ślizowski J., Ślizowski K., Urbańczyk K., Wiśniewska M., *Ocena możliwości magazynowania substancji w złożach soli kamiennej*, CAG PIG nr 715/2006, Warszawa
- [4] Brzóska G., Dudała J., Gilewicz-Wolter J., Janeczek J., Kasprzyk W., Lankof L., Łukaszewski P., Ochoński A., Pawlikowski M., Pinińska J., Przewłocki K., Ślizowski J., Ślizowski K., *Badania laboratoryjne zubrów (iłowców solnych) dla oceny możliwości składowania odpadów promieniotwórczych w polskich wysadach solnych*, Wydaw. IGSMiE PAN, Kraków, 2005
- [5] Chromik M., *Perspektywy wykorzystania kawern solnych dla celów magazynowania wodoru uzyskiwanego z okresowych nadwyżek energii elektrycznej z odnawialnych źródeł*. Abstrakty XVII Międz. Sympozjum Solnego QVO VADIS SAL, nt. Poeksploatacyjne zagospodarowanie wyrobisk górniczych w złożach soli, Kraków-Wieliczka, 11-13 października 2012 r. Kraków, 2012.
- [6] Czapowski G., Bukowski K., *Złoża soli w Polsce: stan aktualny i perspektywy zagospodarowania*, Prz. Geol., 57, 9. Warszawa, 2009
- [7] Czapowski G., Bukowski K., *Geology and resources of salt deposits in Poland: the state of the art*, Geological Quarterly, 54, 4, 2010
- [8] Czapowski G., Bukowski K., *Salt resources in Poland at the beginning of XXI century*, Geology, Geophysics & Environment, 38, 2. Wyd. AGH, Kraków, 2012
- [9] Czapowski G., Bukowski K., *Sól kamienna i sole potasowo-magnezowe*, W: S. Wołkiewicz, T. Smakowski, S. Speczik (red.) Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31.XII 2009 r. PIG-PIB, Warszawa, 2011
- [10] Czapowski G., Bukowski K., Gientka M., *Aktualny stan rozpoznania geologicznego złóż soli kamiennej w Polsce*, Pierwszy Polski Kongres Geologiczny, Abstrakty, Kraków 26-28 czerwca 2008. Pol. Tow. Geol., Kraków, 2008
- [11] Czapowski G., Ślizowski K., *Stan rozpoznania niezagospodarowanych wysadów solnych w Polsce: optymizm czy problem ?*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi i Energią, 24, 3/2. Kraków, 2008
- [12] Czapowski G., Tomassi-Morawiec H., *Stan rozpoznania geologicznego struktur solnych regionu szczecińskiego pod kątem oceny możliwości budowy w ich obrębie kawernowych magazynów i składowisk*, Biuletyn PIG, 448, 1. Warszawa, 2012
- [13] Czapowski G., Tomassi-Morawiec H., Chelmiński J., Tomaszczyk M., *Stopień rozpoznania i perspektywy zagospodarowania cechsztyńskich złóż soli w rejonie Zatoki Gdańskiej*, Górnictwo Odkrywkowe, XLX/II, 2-3, 2008
- [14] Czapowski G., Tomassi-Morawiec H., Toboła T., Tadych T., *Geology, geochemistry and petrological characteristics of potash salt units from PZ2 and PZ3 Zechstein (Late Permian) cycles in Poland*, Geology, Geophysics & Environment, 38, 2., Wyd. AGH, Kraków, 2012
- [15] Dębowski R., Kudelko J., Sadecki Z., Wirth H., *Koncepcja zagospodarowania złoża soli kamiennej „Kazimierzów” na składowisko odpadów przemysłu miedziowego LGOM*, Abstrakty XV Międzynarodowego Sympozjum Solnego pt. Potencjał gospodarczy polskiego górnictwa solnego – stan obecny i perspektywy rozwoju. Świeradów Zdrój, 21-22 października 2010
- [16] Garlicki A., *Możliwości podziemnego magazynowania odpadów w polskich złożach soli*, Mat. konf. pt. Tektonika solna regionu kujawskiego, Uniejów 23-25.10.1997. s. 13-14. WIND, Wrocław, 1997
- [17] Gąska K., *Kawernowy Podziemny Magazyn Gazu „Mogilno”*, Tech. Posz. Geol, Geosynopt. i Geotermia, 42, 223. Kraków, 2000
- [18] Grzybowski Ł., Wilkosz P., Saj A., Czemerzyńska A., *Przydatność wysadu solnego Goleniów do lokalizacji podziemnego magazynu gazu - nowe dane*, Abstrakty XVII Międz. Sympozjum Solnego QVO VADIS SAL, nt. Poeksploatacyjne zagospodarowanie wyrobisk górniczych w złożach soli, Kraków-Wieliczka, 11-13 października 2012 r. Kraków, 2012
- [19] Jasiński Z., *Podziemny system magazynowania paliw w kawernach solnych na przykładzie kopalni „Góra”*, Tech. Posz. Geol, Geosynopt. i Geotermia, 42, 223. Kraków, 2000
- [20] Jasiński Z., *Podziemny system magazynowania paliw w kawernach solnych*, Górnictwo Odkrywkowe, 3-4. 2004
- [21] Karnkowski P. H., Czapowski G., *Underground hydrocarbons storages in Poland: actual investments and prospects*, Prz. Geol., 55, 12/1, 2007
- [22] Kłeczek Z., Zejlaś D., *Lokalizacja podziemnego składowiska odpadów promieniotwórczych w Polsce*, Prz. Geol., 52, 1/2. Warszawa, 2004
- [23] Kunstman A., Poborska-Młynarska K., Urbańczyk K., *Geologiczne i górnicze aspekty budowy magazynowych kawern solnych*, Prz. Geol., 57, 9. Warszawa, 2009
- [24] Laskowska T., Szczybyło J., Gąska K., Wilkosz P., *Polskie magazyny gazu ziemnego – od Mogilna do Kosakowa*, Prz. Geol., 57, 9. Warszawa, 2009
- [25] Maciejewski A., *Podziemne magazynowanie paliw płynnych*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 34, 3/2 (Przeгляд Solny). Kraków, 2008
- [26] Markiewicz A., Pytel W., Zalewska A., *Koncepcja wybudowania Laboratorium Polskiej Fizyki Cząstek w złożu najstarszej soli kamiennej na terenie LGOM*, Gospodarka Surowcami Min. (Przeгляд Solny), 23, 1. Kraków, 2007

- [27] Mazur M., Mierzwa L., Grabania A., *Perspektywy lokalizacji podziemnych magazynów w złożach soli w Polsce*, Przegląd Górn., 50, 10. Katowice, 1994
- [28] Nielubowicz B., *Odpady promieniotwórcze. Wstępne badania i analizy wyboru lokalizacji składowiska*, Postępy Techniki Jądrowej, 99 (666). Centrum Informatyki Energetyki, Warszawa, 1989
- [29] Poborska-Młynarska K., *Przegląd możliwości wykorzystania podziemnych wyrobisk górniczych do magazynowania substancji użytecznych i składowania odpadów*, Tech. Posz. Geol. Geosynopt. i Geotermia, 42, 223. Kraków, 2000
- [30] Poborska-Młynarska K., *Wstępna ocena możliwości składowania CO₂ w ługowniczych komorach solnych w Polsce*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 34, 3/2 (Przegląd Solny). Kraków, 2008
- [31] Radomski A., *Wykorzystanie wyrobisk poeksploatacyjnych kopalń soli do składowania odpadów przemysłowych*, Mat. Kon. Nauk. nt. Nowe technologie w gospodarce złożami soli kamiennej w Polsce, Ryto, 24-26.10.1994. OBRTG CHEMKOP, Kraków, 1994
- [32] Radomski A., *Hybrydowy układ energetyczny*, Abstrakty XVII Międz. Sympozjum Solnego QVO VADIS SAL, nt. Poeksploatacyjne zagospodarowanie wyrobisk górniczych w złożach soli, Kraków-Wieliczka, 11-13 października 2012 r., s. 63-66. Kraków, 2012
- [33] Reinisch R., *Wybrane, istotne aspekty podziemnych magazynów gazu (u progu XXI wieku)*, Wydaw. PLJ, Warszawa, 2000
- [34] Stopa J., Rychlicki S., Kosowski P., *Rola podziemnego magazynowania gazu w kawernach solnych*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 34, 3/2 (Przegląd Solny). Kraków, 2008
- [35] Szufflicki M., Malon A., Tymiński M., (red.) *Bilans zasobów kopalni i wód podziemnych Polsce wg stanu na 31.XII.2011 r.*, PIG-PIB. Warszawa, 2012
- [36] Ślizowski K., *Kryteria wyboru i klasyfikacja struktur solnych w Polsce jako potencjalnych składowisk odpadów promieniotwórczych*, Abstrakty XII Międz. Sympozjum Solnego Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego pt. Przemysł solny w gospodarce, Kłodawa 11-12 października 2007
- [37] Ślizowski K., Kesling J., Lankof L., *Uwarunkowania podziemnego składowania odpadów niebezpiecznych w Polsce*, Studia, Rozprawy, Monografie, 129. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2004
- [38] Ślizowski K., Lankof L., *Geologiczne uwarunkowania składowania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych w złożach soli w Polsce*, Prz. Geol., 57, 9. Warszawa, 2009
- [39] Ślizowski J., Lankof L., Wojtuszczyńska K., *Geomechaniczna ocena optymalnej głębokości komór magazynowych gazu ziemnego w polskich złożach soli kamiennej* WUG, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 6 (154), 2007
- [40] Ślizowski J., Urbańczyk K., Lankof L., *Przydatność środkowopolskich wysadów solnych do magazynowania gazu ziemnego. Oszacowanie na podstawie danych z KPMG Mogilno*, Abstrakty XVII Międz. Sympozjum Solnego QVO VADIS SAL, nt. Poeksploatacyjne zagospodarowanie wyrobisk górniczych w złożach soli, Kraków-Wieliczka, 11-13 października 2012 r. Kraków, 2012
- [41] Urbańczyk K., Czapowski G., Lankof L., Ślizowski K., Tomaszczyk M., *Analiza zdolności magazynowej wybranych pokładów soli* W: J. Ślizowski, K. Urbańczyk (red.), *Możliwości magazynowania gazu ziemnego w polskich złożach soli kamiennej w zależności od warunków geologiczno-górnictwowych*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2011
- [42] Urbańczyk K., Ślizowski J., Czapowski G., Lankof L., *Zdolność magazynowa wysadów solnych*, W: J. Ślizowski, K. Urbańczyk, (red.), *Możliwości magazynowania gazu ziemnego w polskich złożach soli kamiennej w zależności od warunków geologiczno-górnictwowych*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2011
- [43] Werner Z., *Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej „Mechelinki”, woj. Gdańsk*, CAG PIG [11637], Warszawa, 1975
- [44] Werner Z., *Dokumentacja geologiczna złoża soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w kłodawskim wysadzie solnym*, CAG PIG [3927/209]. Warszawa, 1962



Mgły nad łąkami

fot. A. Różycki