



Sole potasowo-magnezowe – polskie zasoby na tle gospodarki światowej

Potassium-magnesium salts – Polish deposits in global economy

Marta HODBOD

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa,
e-mail: marta.hodbod@pgi.gov.pl

The Polish Geological Institute – National Research Institute, Rakowiecka 4, 00-975 Warsaw,
e-mail: marta.hodbod@pgi.gov.pl

Sole potasowo-magnezowe, jako cenne źródło pierwiastka potasu, wykorzystuje się przede wszystkim (w ponad 90%) do produkcji nawozów. Obecnie całe światowe rolnictwo bazuje na nawozach mineralnych, stąd sole potasowo-magnezowe zajmują strategiczną pozycję na rynku surowców. Ponadto surowiec ten stosowany jest w przemyśle szklarskim, spożywczym, kosmetycznym (mydła), farbiarskim, farmaceutycznym, produkcji detergentów i wielu innych.

Złoża soli potasowo-magnezowych powstają w wyniku procesu ewaporacji w zbiornikach z roztworami bogatymi w substancje mineralne. Sedymentacja tych soli następuje zarówno w środowiskach morskich – zatoki, laguny, saliny, jak i w środowiskach lądowych – bezodpływowe zbiorniki jeziorne. Jako najłatwiej rozpuszczalne związki, krystalizują w końcowej fazie pełnego cyklu solnego.

Głównymi minerałami soli potasowo-magnezowych są: sylwin KCl , karnalit $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, polihalit $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, kizeryt $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, kainit $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, heksahydrat $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, langbajnit $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$.

Zasadniczo złoża soli potasowych są pierwotne, jednak ich cechy, takie jak plastyczność czy podatność minerałów na przemiany, prowadzą do wtórnych przemian mineralnych pod wpływem procesów diagenetycznych lub/i metamorficznych. W stanie kopalnym większość soli potasowo-magnezowych jest reprezentowana przez takie minerały jak sylwin i karnalit, budujące pierwotne złoża pokładowe. Procesy ich przeobrażeń prowadzą często do powstania soczew, gniazd, żył lub form rozproszonych, zawierających też kizeryt (Czapowski i in., 2020).

Potassium-magnesium salts, as a valuable source of the potassium element, are mainly used (in over 90%) to produce of fertilizers. Currently, the entire world agriculture is based on mineral fertilizers, hence potassium and magnesium salts occupy a strategic position on the raw material market. In addition, this raw material is used in glass, food, cosmetics (soap), dyeing, pharmaceutical, detergent production and many other industries.

Deposits of potassium and magnesium salts are formed as a result of the evaporation process in basins with solutions rich in mineral substances. Sedimentation of these salts occurs both in marine environments - bays, lagoons, salines, and in terrestrial environments - inletless lake reservoirs. As the most soluble compounds, they crystallize in the final phase of the full salt cycle.

The main minerals of potassium and magnesium salts are sylvite KCl , carnallite $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, polyhalite $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, kieserite $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, kainite $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, hexahydrate $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, langbeinite $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$.

Basically, the deposits of potassium salts are primary, but their characteristics, such as plasticity or mineral susceptibility to transformation, lead to secondary mineral changes under the influence of diagenetic and/or metamorphic processes. In the fossil state, most potassium-magnesium salts are represented by sylvinite and carnallite, building up the primary bedded deposits. Their alteration processes often lead to the formation of lenses, sockets, veins or dispersed forms, also containing kieserite (Czapowski et al., 2020).

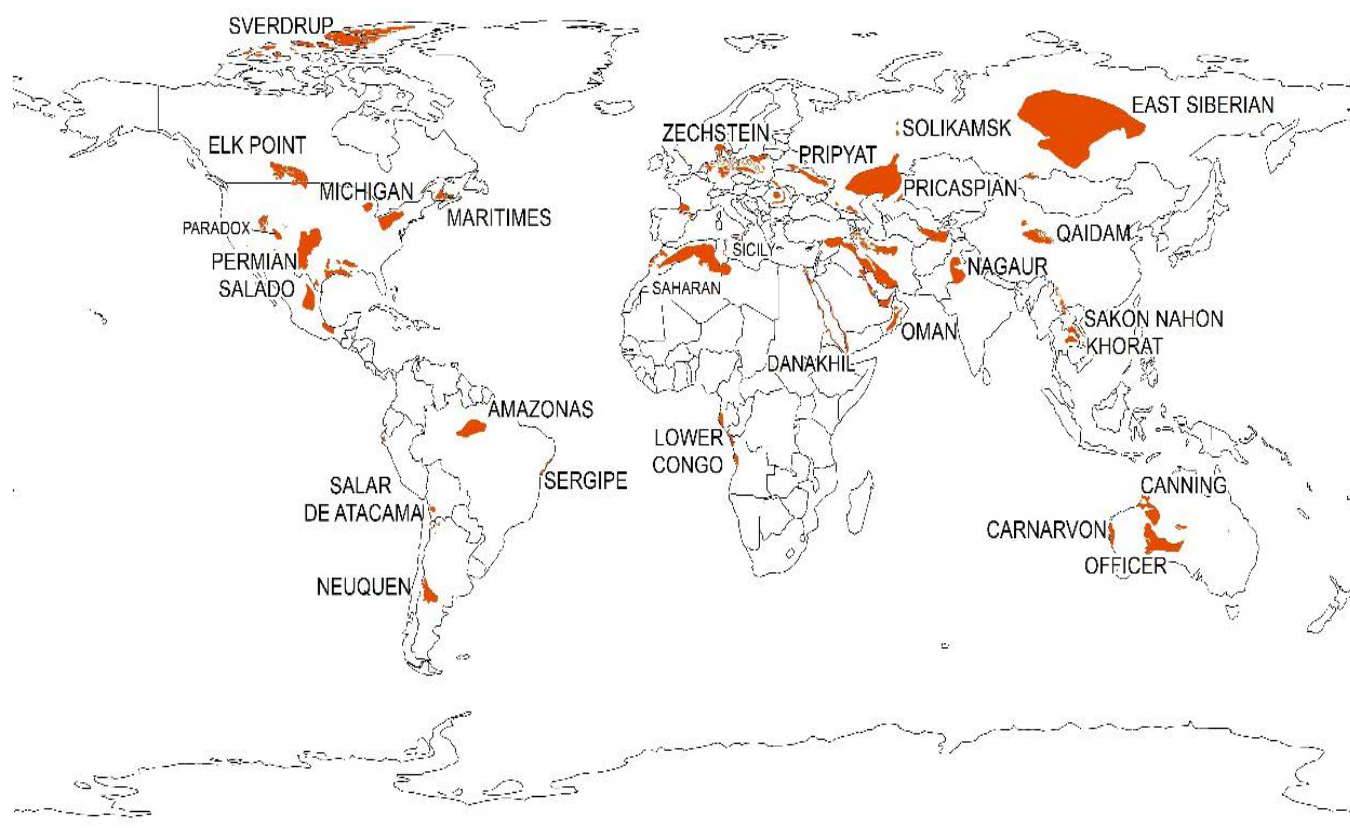
W Polsce sole potasowe i potasowo-magnezowe występują w cechsztyńskiej formacji solnej, która jest częścią ogromnego środkowoeuropejskiego permskiego (cechsztyńskiego) basenu sedymentacyjnego. Udokumentowane sole potasowo-magnezowe występują w wysadzie solnym Kłodawa. Zostały również udokumentowane w pokładowej formacji solnej na Kaszubach, w rejonie Zatoki Puckiej – złoża: Chłapowo, Mioszyno, Swarzewo, Zdrada. Złoża te nie zostały jak dotąd zagospodarowane. Ponadto wystąpienia soli potasowo-magnezowych są znane z większości obszarów występowania cechsztyńskiej soli kamiennej w Polsce. W rejonie Zatoki Puckiej sole występujące w postaci chlorkowej mają charakter pierwotny, a siarczanowe mają genzę infiltracyjną, wczesno diagenetyczną (epigenetyczne), która wynikała z zastępowania pierwotnego siarczanu wapnia przez polihalit (Czapowski, Bukowski, 2013, Czapowski i in., 2020).

Polska posiada stosunkowo duże szacunkowe zasoby perspektywiczne. Sole te są w większości słabo rozpoznane i z reguły występują na dużych głębokościach. Przewidywane (prognostyczne i perspektywiczne) zasoby soli potasowo-magnezowych, obliczone wyłącznie dla złóż pokładowych, oszacowano na 3,64 mld t. Występowanie tych złóż stwierdzono na obszarze monokliny mazursko-podlaskiej, monokliny przedsudeckiej oraz synklinorium północnosudeckiego (peryklina Żar), o łącznej powierzchni ponad 466 km² (Czapowski i in., 2020).

In Poland, potassium and potassium-magnesium salts are found in the Zechstein salt formation, part of the vast Central European Permian (Zechstein) sedimentary basin. Documented potassium-magnesium salts occur in the Kłodawa salt dome. They have been documented in the bedded salt formation in Kashubia, in the area of Puck Bay - the Chłapowo, Mioszyno, Swarzewo, Zdrada deposits. These deposits have not been developed so far. In addition, the occurrence of potassium-magnesium salts is known from most areas of the Zechstein rock salt occurrence in Poland. Chloride salts are of primary nature, and sulphate salts have an infiltration, early diagenetic (epigenetic) origin, which resulted from the replacement of primary calcium sulphate by polyhalite (Czapowski, Bukowski, 2013; Czapowski et al., 2020).

Poland has relatively large estimated prospective resources. These salts are mostly poorly known and generally occur at large depths. The predicted (prognostic and prospective) resources of potassium and magnesium salts, calculated only for the bedded deposits, were estimated at 3.64 billion tons. The occurrence of these deposits was found in the area of the Mazurian-Podlasie monocline, the Fore-Sudetic Monocline and the North Sudetic synclinorium (Żary pericline), with a total area of over 466 km² (Czapowski et al., 2020).

So far, deposits of potassium and magnesium salts have not been exploited in Poland. In the 20th century it was associated with low profitability of their exploitation - low prices.



Ryc. 1. Mapa obszarów występowania soli potasowych na świecie (wg. Orris i in., 2014).
Fig. 1. Map of the occurrence areas of potassium salts in the world (acc. to Orris et al., 2014).

Jak dotąd złoża soli potasowo-magnezowych nie były w Polsce eksploatowane. Jeszcze w XX w. wiązało się to z niską opłacalnością ich pozyskiwania - niskie ceny surowca na rynku oraz wysoka podaż z krajów wschodnich, m.in. z Białorusi i Rosji. Stąd zapotrzebowanie na ten surowiec zaspokajał import. Obecnie obserwuje się wzrost zainteresowania złożami soli potasowo-magnezowych, jednak ich zagospodarowanie będzie wymagało lepszego rozpoznania i ponownego oszacowania zasobów (Czapowski, Bukowski, 2013).

Sole kamienne wraz z solami potasowo-magnezowymi są znane są ze wszystkich okresów geologicznych i kontynentów na Ziemi. Największe baseny z sedymentacją tych soli w Ameryce Północnej to: Elk Point, Maritimes, Paradox i Salado, w Europie: cechsztyński, prypecki, Solikamsk i przedkaspijski, w Afryce: Danakil i Dolnego Kongo, w Azji: Morze Martwe, Khorat, Sakon Nakon, Qaidam i baseny centralnej Azji, w Ameryce Południowej: amazoński, Sergipe, Salar de Atacama i Neuquén (Cocker et al., 2016).

Zgodnie z raportem *Mineral Commodity Summaries 2021* (Jasinski, 2021) całkowite zasoby soli potasowych na świecie wynoszą 250 mld t. Z uwagi na niepełne dane trudno oszacować światowe zasoby wydobywalne (*reserves*), jednak wiadomo, że największe z nich znajdują się w Kanadzie, Białorusi, Rosji i USA.

Światowa konsumpcja w 2020 r. utrzymała się na podobnym poziomie, co w latach wcześniejszych i wyniosła około 41 mln t K_2O . Dzięki zwiększonej produkcji w Kanadzie oraz Rosji, odnotowany został również wzrost światowej produkcji. Wiodącymi regionami konsumenckimi były Azja i Ameryka Południowa, dzięki którym również w 2021 roku spodziewany jest wzrost globalnej konsumpcji (Jasinski, 2021). International Fertilizer Association (IFA) oszacowało, że w 2020 r. produkcja wzrosła o 6% w stosunku do 2019 r. i przekroczyła 70 mln ton K_2O . Wolumen handlowy osiągnął rekordowy przyrost – z 49 mln ton MOP (KCl) w 2019 r. do 65 mln ton w 2020 r. MOP (KCl). Wpływ na to miał m.in. zwiększony popyt w krajach takich jak USA, Brazylia, Indie czy Chiny, jak również znaczny wzrost produkcji w Rosji i na Białorusi (o 2,3 mln t K_2O więcej niż w 2019 r.), gdzie uruchomione zostały nowe kopalnie. IFA prognozuje dalsze zwiększanie mocy produkcyjnej nawet o 4,6 mln ton K_2O w latach 2021-2025, w związku z planowanym uruchomieniem kolejnych projektów potasowych (IFA, 2021).

Czołowymi producentami soli potasowych są: Kanada – 14 mln ton K_2O w 2020 r., Rosja – 7,6 mln ton K_2O w 2020 r. i Białoruś – 7,3 mln ton K_2O w 2020 r. (Jasinski, 2021). Światowy rynek potasu charakteryzuje się stosunkowo niewielką liczbą producentów. Konkurencja uzależniona jest głównie od kosztów produkcji i możliwości logistycznych. Wejście na rynek dla nowych firm nie jest łatwe z uwagi na wysokie koszty inwestycyjne oraz czas niezbędny do rozpoczęcia działalności (pozwolenia, koncesje, budowa kopalni i zakła-

es of the raw material on the market and high supply from eastern countries, including Belarus and Russia. Hence the demand for this raw material was met by imports. At present, there is an increased interest in deposits of potassium and magnesium salts, however, they require better recognition and re-estimation of resources. (Czapowski, Bukowski, 2013).

Rock salts and potassium-magnesium salts are known from all geological periods and continents on Earth. The largest basins with the sedimentation of these salts in North America are: Elk Point, Maritimes, Paradox and Salado. In Europe: Zechstein, Pripyat, Solikamsk and Pricaspian, in Africa: Danakil and Lower Congo, in Asia: Dead Sea, Khorat, SakonNakon, Qaidam and the basins of Central Asia, in South America: Amazonian, Sergipe, Salar de Atacama and Neuquén (Cocker et al., 2016).

According to the report *Mineral Commodity Summaries 2021* (Jasinski, 2021), the total reserves of potassium salts in the world amount to 250 billion tons. Due to incomplete data, it isn't easy to estimate the world's recoverable reserves. However, it is known that the largest of them are in Canada, Belarus, Russia and the USA.

World consumption in 2020 remained at a similar level as in the previous years and amounted to about 41 million tons of K_2O . Due to increased production in Canada and Russia, an increase in global production was also noted. The leading consumer regions were Asia and South America, thanks to which global consumption is also expected to increase in 2021 (Jasinski, 2021). International Fertilizer Association (IFA) estimated that in 2020 production increased by 6% compared to 2019 and exceeded 70 million tonnes of K_2O . Trade volume reached a record increase - from 49 million tons of MOP (KCl) in 2019 to 65 million tons in 2020. MOP (KCl). It was influenced, among others, by increased demand in countries such as the USA, Brazil, India and China, as well as a significant increase in production in Russia and Belarus (by 2.3 million tons of K_2O more than in 2019), where new mines were launched. IFA forecasts a further increase in production capacity by up to 4.6 million tons of K_2O in 2021-2025, in connection with the planned launch of further potash projects (IFA, 2021).

The leading producers of potassium salts are Canada - 14 million tons of K_2O in 2020, Russia - 7.6 million tons of K_2O in 2020 and Belarus - 7.3 million tons of K_2O in 2020 (Jasinski, 2021). The global potassium market is characterized by a relatively small number of producers. Competition depends mainly on production costs and logistic possibilities. Entering the market is not easy for new companies due to the high investment costs and the time necessary to start operations (permits, concessions, construction of mines and production plants). Currently, the largest competing enterprises are (Fig. 2):

dów produkcyjnych). Obecnie największymi, konkurującymi ze sobą przedsiębiorstwami są (Fig. 2):

Nutrien – kanadyjska firma, jest największym na świecie producentem związków potasu (ponad 20 mln ton – 21% możliwości produkcji światowej) w sześciu zakładach/kopalniach potasu w Saskatchewan: Allan Potash, Cory Potash, Lanigan Potash, Patience Lake Potash, Rocanville Potash, Vanscoy Potash. 79% obrotów światowych KCl należy do osiągnięć firmy. Głównymi importerami związków potasu są Brazylia, USA, Chiny oraz Indie (Nutrien, 2019).

Mosaic – amerykańska firma, jeden z wiodących na świecie producentów i sprzedawców skoncentrowanych fosforanów oraz soli potasowych. Roczna produkcja związków potasu to 10,5 mln ton (15 % produkcji światowej). Firma posiada 3 kopalnie i zakłady produkcyjne w Kanadzie (Saskatchewan): Belle Plaine, Colonsay i Esterhazy oraz 1 kopalnię w Carlsbad (Nowy Meksyk, USA). Główne kierunki eksportu: Chiny, Indie, Korea Południowa, Brazylia, Wietnam, Malezja, rynek wewnętrzny (USA) i kanadyjski (Mosaic, 2019).

JSC Belaruskali – białoruska spółka, jest jednym z największych producentów (15 % produkcji światowej) i eksporterów nawozów potasowych na świecie. Wydobywanie opiera się na złożu soli potasowych Starobin, w południowej części obwodu mińskiego na Białorusi. Spółka posiada 6 kopalń oraz 4 zakłady produkcyjne. Drugim, niedawno ustanowionym obszarem jest złożo Petrikovsky (obwód homelski). JSC Belaruskali produkuje głównie nawozy potasowe (87,9%), a także nawozy typu NPK (2,2%) oraz chlorek sodu (NaCl) w postaci technicznej, paszowej i soli kuchennej (9,9%). Eksport odbywa się do Europy, wschodniej Azji, krajów śródziemnomorskich, Afryki, Indii, Chin, Ameryki Południowej i Północnej (<https://kali.by/en>).

Uralkali – rosyjska spółka, zajmująca się produkcją związków potasu, głównie MOP oraz karnalitu, a także soli kamiennej (NaCl). Ma znaczący udział (14%) w produkcji światowej soli potasowych. Posiada 5 kopalń (Solikamsk-1, Solikamsk-2, Solikamsk-3, Berezniki-2, Berezniki-4), 6 zakładów obróbki rudy potasu (KCl) oraz 1 zakład obróbki karnalitu, zlokalizowanych w miejscowościach Berezniki i Solikamsk (Kraj Permski, Rosja). Uralkali prowadzi też badania w ramach 4 koncesji poszukiwawczo-rozpoznawczych nowych bloków złoża. Kluczowe rynki eksportu: Brazylia, Indie, Chiny, południowo-wschodnia Azja, USA, Europa (Uralkali, 2019).

K+S – niemiecka grupa, jest największym dostawcą produktów solnych na świecie, piątym wśród największych producentów soli potasowych na świecie (udział 7%) i największym dostawcą soli potasowych w zachodniej Euro-

Nutrien - a Canadian company, is the world's largest producer of potassium compounds (over 20 million tons - 21% of global production capacity) at six potassium plants/mines in Saskatchewan: Allan Potash, Cory Potash, Lanigan Potash, Patience Lake Potash, Rocanville Potash, Vanscoy Potash. 79% of KCl's global turnover belongs to the company's achievements. The main importers of potassium compounds are Brazil, the USA, China and India (Nutrien, 2019).

Mosaic - an American company, one of the world's leading producers and sellers of concentrated phosphates and potassium salts. The annual production of potassium compounds is 10.5 million tonnes (15% of world production). The company has 3 mines and production plants in Canada (Saskatchewan): Belle Plaine, Colonsay and Esterhazy, and 1 mine in Carlsbad (New Mexico, USA). Main export destinations: China, India, South Korea, Brazil, Vietnam, Malaysia, domestic (USA) and Canadian (Mosaic, 2019).

JSC Belaruskali - a Belarusian company, is one of the largest producers (15% of world production) and exporters of potash fertilizers in the world. The mining is based on the Starobin potassium salt deposit in the southern part of the Minsk region in Belarus. The company has 6 mines and 4 production plants. The second recently established area is the Petrikovsky field (Gomel region). JSC Belaruskali mainly produces potassium fertilizers (87.9%), as well as NPK fertilizers (2.2%) and sodium chloride (NaCl) in technical, feed and table salt (9.9%) forms. Exports are made to Europe, East Asia, Mediterranean countries, Africa, India, China, South and North America (<https://kali.by/en>).

Uralkali - a Russian company dealing in the production of potassium compounds, mainly MOP, and carnallite and rock salt (NaCl). It has a significant share (14%) in the production of the world potassium salt. It has 5 mines (Solikamsk-1, Solikamsk-2, Solikamsk-3, Berezniki-2, Berezniki-4), 6 potassium ore processing plants (KCl) and 1 carnallite processing plant located in Berezniki and Solikamsk (Perm Region, Russia). Uralkali is also researching 4 exploration and appraisal licenses for new deposit blocks. Key export markets: Brazil, India, China, Southeast Asia, USA, Europe (Uralkali, 2019).

K + S - the German group, is the largest supplier of salt products in the world, the fifth largest producer of potassium salts in the world (7% share) and the largest supplier of potassium salts in Western Europe. The raw material is obtained in underground and opencast mines, as well as borehole mines and evaporation of sea reservoirs and salines in many regions around the world. Half of the profits of the agricultural segment were generated in Europe. The other key export destinations are the countries of South America (especially Brazil) and Asia (K + S, 2019).

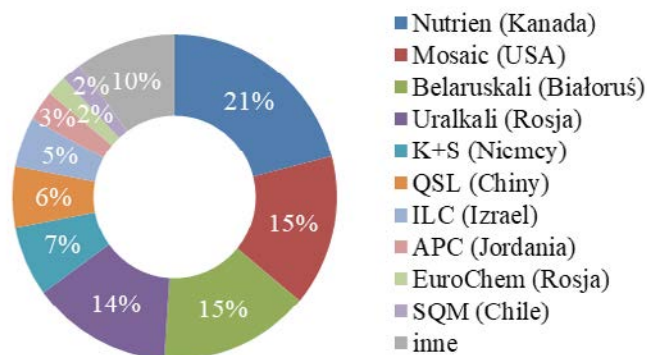
The significant producers of potassium salts also include: QSL (China), ICL (Israel), APC (Jordan), EuroChem (Russia) and SQM (Chile). The remaining companies account for only 10% of the share.

pie. Surowiec pozyskiwany jest w kopalniach podziemnych i odkrywkowych, jak również otworowych oraz ewaporacje zbiorników morskich i salin w wielu regionach na świecie. Połowa zysków segmentu rolniczego została wygenerowana w Europie, pozostałymi kluczowymi kierunkami eksportu są kraje Ameryki Południowej (zwłaszcza Brazylia) oraz Azji (K+S, 2019).

Wśród znaczących producentów soli potasowych można wymienić także: QSL (Chiny), ICL (Izrael), APC (Jordania), EuroChem (Rosja) i SQM (Chile). Pozostałe firmy stanowią zaledwie 10% udziału.

W ciągu ostatnich kilku lat przodującymi krajami w eksporcie produktów potasowych były Kanada, Białoruś i Rosja. Głównymi odbiorcami dostaw były Brazylia, Chiny i USA. (tab. 1, 2). W 2019 r. Polska zajęła 8. miejsce wśród państw importujących (Nutrien, 2020).

W najbliższych latach przewiduje się wzrost importu w krajach Ameryki Południowej i wschodniej Azji. Niektórzy kluczowi konsumenci z południowo-wschodniej Azji wskazują na możliwy wzrost importu w tym regionie, w tym m.in. Indie, Indonezja, Malezja, ale też Afryka (IFA, 2020).



Ryc. 2. Udział poszczególnych producentów soli potasowych na rynku międzynarodowym (ICL, 2021)

Fig. 2. Share of individual producers of potassium salts on the international market (ICL, 2021).

Over the past few years, Canada, Belarus and Russia have been the leading countries in the export of potassium products. The main recipients of supplies were Brazil, China and the USA. (Tab. 1, 2). In 2019, Poland was ranked 8th among importing countries (Nutrien, 2020).

Tab. 1. Zestawienie przodujących krajów w eksporcie KCl w latach 2017–2019 oraz główne kierunki eksportu (Nutrien, 2020).

CAŁKOWITY EKSPORT [tys. ton KCl]					GŁÓWNE KIERUNKI EKSPORTU W 2019 r.		
POZYCJA	PAŃSTWO EKSPORTUJĄCE	2019	2018	2017	1	2	3
1	Kanada	19 236	21 421	18 920	USA	Chiny	Brazylia
2	Białoruś	10 323	10 960	10 508	Chiny	Brazylia	Indie
3	Rosja	9 544	8 622	10 241	Brazylia	Chiny	Indonezja
Razem	top 3	39 103	41 003	39 669			
Razem	świat	49 291	52 323	51 522			

Tab. 2. Zestawienie przodujących krajów w imporcie KCl w latach 2017–2019 oraz główne źródła importu (Nutrien, 2020).

CAŁKOWITY IMPORT [tys. ton KCl]					GŁÓWNE ŹRÓDŁA IMPORTU W 2019 r.		
POZYCJA	PAŃSTWO IMPORTUJĄCE	2019	2018	2017	1	2	3
1	Brazylia	10 201	10 011	9 228	Kanada	Rosja	Białoruś
2	Chiny	8 962	7 409	7 544	Kanada	Rosja	Białoruś
3	USA	7 792	9 109	9 530	Kanada	Białoruś	Rosja
Razem	top 3	26 955	26 529	26 302			
Razem	świat	49 291	52 323	51 522			

Tab. 1. List of the leading countries in KCl export in 2017-2019 and the main directions of exports (Nutrien, 2020).

TOTAL EXPORT [thousand tonnes KCL]					MAIN DIRECTIONS OF EXPORT IN 2019		
POSITION	EXPORTING COUNTRY	2019	2018	2017	1	2	3
1	Canada	19 236	21 421	18 920	USA	China	Brasil
2	Belarus	10 323	10 960	10 508	China	Brasil	India
3	Russia	9 544	8 622	10 241	Brasil	China	Indonesia
TOTAL	top 3	39 103	41 003	39 669			
TOTAL	world	49 291	52 323	51 522			

Tab. 2. A list of the leading countries in KCl import in 2017-2019 and the main sources of imports (Nutrien, 2020).

TOTAL IMPORT [thousand tonnes KCL]					MAIN DIRECTIONS OF IMPORT IN 2019		
POSITION	IMPORTING COUNTRY	2019	2018	2017	1	2	3
1	Brasil	10 201	10 011	9 228	Canada	Russia	Belarus
2	China	8 962	7 409	7 544	Canada	Russia	Belarus
3	USA	7 792	9 109	9 530	Canada	Belarus	Russia
TOTAL	top 3	26 955	26 529	26 302			
TOTAL	world	49 291	52 323	51 522			

Słowa kluczowe: sole potasowo-magnezowe, światowa konsumpcja, wiodący producenci, złoża soli

Imports are expected to increase in South America and East Asia in the coming years. Some key consumers in Southeast Asia indicate a possible increase in imports in the region, including India, Indonesia, Malaysia, but also Africa (IFA, 2020).

Key words: potassium-magnesium salts, world consumption, leading producers, deposits

LITERATURA/REFERENCES

- COCKER M.D., ORRIS G.J., WYNN J., 2016. U.S. Geological Survey assessment of global potash production and resources - A significant advancement for global development and a sustainable future. *W: Geoscience for the Public Good and Global Development: Toward a Sustainable Future* (red. G.R. Wessel, J.K. Greenberg). *Geological Society of America Special Paper*, 520: 89–98.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2013. Potencjał zasobowy soli kamienniej i soli potasowych w Polsce a perspektywy jego wykorzystania. *Górnictwo Odkrywkowe*, 54, 2: 74 – 84.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., MAZUREK S., 2020. Sól kamienna (rock salt, salt, halites) i sole potasowo-magnezowe (potashsalts, potassiumsals, potassium-magnesium salts). *W: Bilans perspektywicznych zasobów kopalni Polski wg stanu na 31.12.2018 r.* (red. Szamałek K., Szufflicki M., Mizerski W.): 218–232. PIG-PIB, Warszawa. <https://kali.by/en>
- ICL, 2019. Annual Report. For the Period Ended December 31, 2020 [www document]. https://s27.q4cdn.com/112109382/files/doc_financials/2020/ar/ICL-Group-Ltd.-final-20F-2020.pdf
- IFA, 2020. Fertilizer Outlook 2020–2024 [www document]. https://www.fertilizer.org/Public/Stewardship/Publication_Detail.aspx?SEQN=6020&PUBKEY=FDB434B2-9E8A-4ABC-A4BE-5F0422F198ED
- IFA, 2021. Public Summary Medium-Term Fertilizer Outlook 2021–2025 [www document]. https://www.fertilizer.org/public/resources/publication_detail.aspx?SEQN=6177&PUBKEY=29353BFE-6AEF-4C6C-8DBC-A360A645F491
- JASINSKI S. M., 2021. Potash. *W: Mineral commodity summaries 2021*. U.S. Geological Survey: 126–127.
- K+S, 2019. Annual Report [www document]. <http://www.ks-group.com.au/wp-content/uploads/sites/2/2019/10/KS-Corp-Annual-Report-2019.pdf>
- MOSAIC, 2019. Annual Report [www document]. https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/m/NYSE_MOS_2019.pdf
- NUTRIEN, 2019. Fact Book [www document]. <https://www.nutrien.com/nutrien-fact-book>

- NUTRIEN, 2020. Fact Book [www document]. <https://www.nutrien.com/nutrien-fact-book>
- ORRIS G.J., COCKER M.D., DUNLAP P., WYNN J., SPAN-
SKI G.T., BRIGGS D.A., GASS L., BLISS J.D., BOLM K.S.,
YANG C., LIPIN B.R., LUDINGTON S., MILLER R.J.,
SŁOWAKIEWICZ M., 2014. Potash – A global overview of
evaporite-related potash resources, including spatial databases
of deposits, occurrences, and permissive tracts. U.S. Geological
Survey Scientific Investigations Report 2010–5090–S, pp. 76,
daneprzestrzenie:<http://dx.doi.org/10.3133/sir20105090S>.
- URALKALI, 2019. Proactive, progressive, proud. Annual Report
[www document]. https://ar2019.uralkali.com/pdf/Uralkaliy2019_EN.pdf