



Polskie sole kamienne vs sole himalajskie – analiza porównawcza wybranych składników soli spożywczych

Polish rock salts vs Himalayan salts – comparative analysis of selected components of table salts

Joanna JAWORSKA¹, Marcin SIEPAK¹

¹Instytut Geologii UAM, ul. B. Krygowskiego 12, 61-680 Poznań,
e-mail: veronika@amu.edu.pl, Marcin.Siepak@amu.edu.pl

STRESZCZENIE

Badaniom poddano sole spożywcze dostępne w sprzedaży detalicznej na rynku polskim, wykorzystywane w gospodarstwach domowych. Przeanalizowano dwa rodzaje soli powszechnie używanych: pierwszy typ to sole kamienne pozyskiwane w Polsce przez wiodącego producenta; jest to sól kamienna, spożywcza, niejodowana; drugi typ to tzw. sól himalajska pozyskiwana w Pakistanie, biała. W próbkach soli dokonano oznaczeń podstawowych makroelementów oraz szerokiej gamy mikroelementów z wykorzystaniem absorpcyjnej i emisyjnej spektrometrii atomowej z atomizacją płomieniową (F-AAS i F-AES) oraz indukcyjnie sprzężonej plazmy z detekcją mas (ICP-QQQ). Wykonano również oznaczenia części nierozpuszczalnych pod kątem ilościowym i jakościowym. Uzyskane wyniki badań dla obu typów soli porównano ze sobą i odniesiono do danych literaturowych oraz upublicznionych oficjalnych raportów.

Słowa kluczowe: polska sól kamienna, sól himalajska, analiza porównawcza, skład chemiczny, część nierozpuszczalna

ABSTRACT

Table salts available on the Polish market were tested. Two types of commonly salts have been analyzed: the first type is fine-crystalline rock salts from Poland, the second type is so called Himalayan salt obtained in Pakistan. In salt samples, basic macroelements and a wide range of microelements

were determined using absorption and emission atomic spectrometry with flame atomization (F-AAS and F-AES) and inductively coupled plasma with mass detection (ICP-QQQ). Insoluble matter were analysed (qualitative and quantitative) also. The results of chemical analysis both types of salt were compared with data referred in literature and public official reports.

Key words: Polish rock salt, Himalayan salt, comparative analysis, chemical composition, insoluble matter

WSTĘP

Podstawowym składnikiem soli kuchennej (NaCl) jest jon chlorkowy (60,66%) oraz sodowy (około 39,34%; zob. np. Patnaik, 2002; <http://webmineral.com/data/Halite.shtml>), podczas, gdy inne pierwiastki występują w mniejszych ilościach, takie jak potas, wapń, magnez, siarczyn, żelazo, mangan, nikiel, chrom, ołów, kadm, cynk, miedź, lit, kobalt, arsen, selen i wiele innych pierwiastków (Titler, Curry, 2011; Yalçın, Mutlu, 2012; Nafees i in., 2013). Spożycie soli przez człowieka jest zalecane w niewielkich ilościach na poziomie około 5-6 g na dzień (Mancia i in., 2007, 2013; https://nadcisnienietetnicze.pl/ptnt/wytyczne_ptnt). Nadmierna zawartość sodu w diecie powoduje wzrost stężenia tego pierwiastka w osoczu, co przyczynia się do przechodzenia wody z komórek do przestrzeni zewnątrzkomórkowych. W efekcie dochodzi do zatrzymania wody w organizmie, a u niektórych osób może wzrosnąć ryzyko pojawienia się podwyższonego

ciśnienia krwi. W przypadku takich osób należy ograniczyć spożycie sodu do około 1,5-2 g/ dzień (WHO 2003; Mancina i in., 2007, 2013).

Sól kamienna zawiera naturalne domieszki jak siarczan wapnia lub magnezu (CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, MgSO_4), chlorek potasu (KCl), magnezu (MgCl_2), wapnia (CaCl_2) (Ladoo, Myers, 1951). Notuje się w niej niewielkie ilości jodku potasu (KI) oraz magnezu (MgI_2). Stosuje się ją przy niedoborach jodu w organizmie człowieka. Ciało ludzkie do prawidłowego funkcjonowania potrzebuje w diecie dziennej zarówno makro jak i mikroelementy, dlatego niezwykle ważna jest analiza chemiczna składu soli spożywczych stosowanych w gospodarstwach domowych, pod kątem poziomu stężeń makro i mikroelementów.

Obecnie na polskim rynku detalicznym – w sklepach, można zakupić szereg odmian soli spożywczych różnie określanych przez ich producentów, w tym: sól kamienną (jodowaną i niejodowaną), kuchenną, sól himalajską, celtycką, hawajską, sól morską, kwiat soli /kwiat soli morskiej – *fleur de sel* i inne. Niektóre z nich są dostępne w kilku odmianach kolorystycznych (np. różowe, czarne). Jednocześnie informacje na ich temat bywają nieprawdziwe, czy też połowiczne, m.in. dotyczy to ich pochodzenia. Niewątpliwie wszystkie wymienione powyżej typy soli powstały w wyniku tych samych procesów i można nazwać solami morskimi. Wytrafiły się jako ewaporaty w zbiornikach o podwyższonym zasoleniu, w warunkach ciepłego, czy też gorącego klimatu. Sole nazywane kamiennymi są niczym innym jak kopalnymi solami morskimi, np. wieku miocenowego, cechsztyńskiego lub prekambryjskiego; liczą sobie odpowiednio dziesiątki albo setki milionów lat. Ich skład chemiczny, szczególnie ciekłych inkluzji uwieczonych w halicie, odzwierciedla skład ówczesnych wód morskich (Warren, 2010; Bąbel, Schreiber, 2014), podobnie jak w tzw. solach morskich wytrącających się współcześnie (ich skład odzwierciedla aktualny chemizm wód).

Producenci często nie podają na opakowaniach informacji dla konsumentów w zakresie składu chemicznego, w szczególności w zakresie szerokiej gamy mikroelementów. W związku z powyższym celowe było przeanalizowanie dwóch popularnych typów soli dostępnych w większości polskich sklepów: soli kamienną i tzw. soli himalajskiej, na zawartość wybranych makro i mikroelementów oraz części nierozpuszczalnych. Badania te wykonano na pojedynczych próbkach przy losowo wybranym towarze (opakowaniu z kartonu soli) zakupionym w jednym z marketów w Poznaniu.

MATERIAŁ BADAWCZY

Do badań wykorzystano popularne, dostępne w sprzedaży detalicznej dwa wybrane typy soli spożywczej:

1/ jeden typ to sól kamienna biała, drobnokrystaliczna (wielkość ziaren rzadko przekraczała 1 mm, ryc. 1A). Jest ona niejodowana i nie warzona, produkowana i konfekcjonowana

w Polsce. Producent posiada certyfikat systemu zarządzania bezpieczeństwem żywności ISO 22000 : 2005, a laboratorium badań środowiskowych tej kopalni ma certyfikat akredytacji laboratorium badawczego.

Sól ta jest eksploatowana ze złoża Kłodawa od 1949. Kopalnia znajduje się na terenie województwa wielkopolskiego; pod względem geologicznym leży na granicy segmentu kujawskiego, będącego jednostką antyklinorium śródpolskiego, a segmentem mogileńsko-lódzkim, będącym częścią synklinorium szczecińsko-miechowskiego.

Surowiec ten jest wieku cechsztyńskiego (późny perm). Pozyskuje się go metodą tradycyjną, podziemną na sucho. Złoże ma formę jednego z największych i najlepiej rozpoznanych wysadów w Polsce, o długości 25 km, szerokości 1,7 km; zajmuje powierzchnię 37,5 km² (Ślizowski, Saługa, 1996). Stanowi część znacznie większej struktury solnej – Izbica Kujawska-Lęczycza, dłuższej i wąskiej, rozciągającej się w kierunku NW-SE, podobnie jak szereg pozostałych ciał solnych na Niżu Polskim.

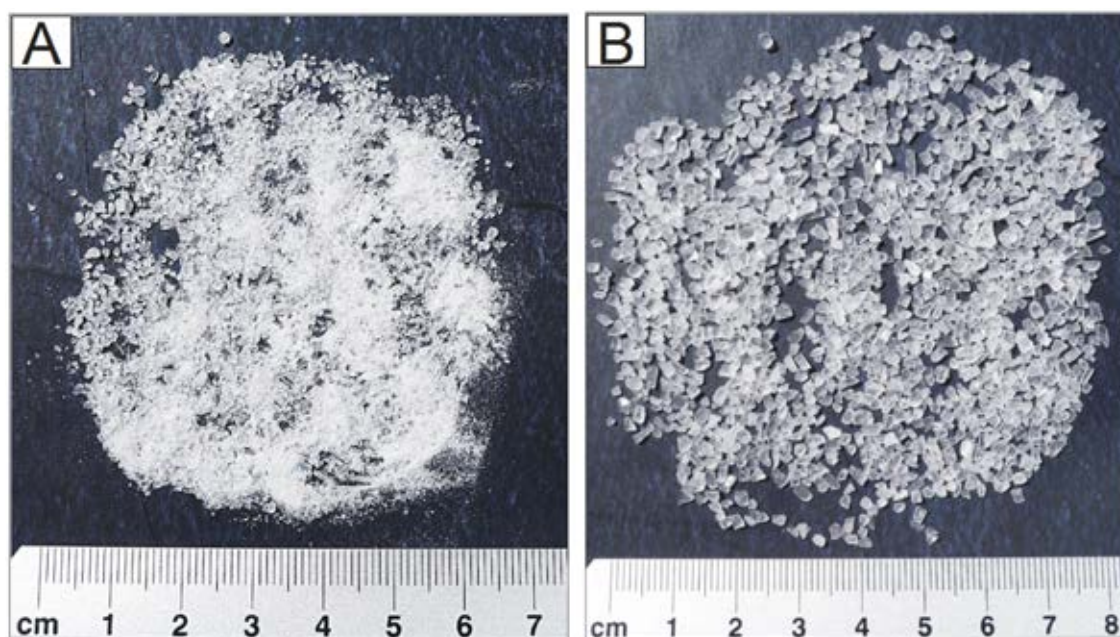
Wewnętrzna budowa wysadu jest skomplikowana - silnie zaburzona (m.in. Poborski, 1957, 1975; Tarka, 1992; Burliga i in., 1995; Burliga, 1997); składa się z dwóch antyklin brzeżnych rozdzielonych w centralnej części synkliną. Złoże tworzą utwory ewaporatowe należące do wszystkich 4 cyklotemów (PZ1-PZ4), których łączną miąższość szacuje się na ok 1400 m. Jądra antyklin i synkliny formują przede wszystkim sole starsze (Na2) drugiego cyklotemu (PZ2); znajdują się one w otoczeniu soli młodszych (Na3, PZ3) lub odpowiednio soli najstarszych (Na1, PZ1) (Poborski, 1957, 1975; Szybist, 2003, 2008; Szybist, Garlicki, 2003). Obok soli kamiennych występują sole potasowo-magnezowe, anhidryty, zubry, i iły. Sole potasowe są również przedmiotem eksploatacji.

Wysad należy do struktur, które na przełomie mezozoiku i kenozoiku przebiły się przez nadkład. Pomijając utwory czwartorzędowe, w jego bezpośrednim otoczeniu rozpoznano silnie wychylone utwory triasu górnego po stronie północno-wschodniej, a po stronie południowo-zachodniej – utwory jury środkowej (Poborski, 1975; Szybist, 2003, 2008; Szybist, Garlicki, 2003). Poza wysadem strop utworów cechsztynu występuje na głębokości ok. 7 km (Poborski, 1971), pod cechsztynem zalegają utwory czerwonego spągowca (dolny perm), a niżej starszego paleozoiku na podłożu prekambryjskim (Dadlez i in., 2000).

Złoże soli kamienną zostało udokumentowane w kategorii A+B+C1. Jego zasoby oszacowano na 11,865 mld ton; w 2017 roku wydobyto 584 tys. ton tego surowca (raport PIG-PIB, 2018).

2/ drugi typ to tzw. sól himalajska biała, średniokrystaliczna (wielkość ziaren w granicach 1-2 mm, ryc. 1B). Jest ona eksploatowana w Pakistanie, a konfekcjonowana w Polsce.

Na opakowaniu tej soli znajduje się informacja, że surowiec ten jest „wydobywany w Himalajach, ze złóż sprzed 250



Ryc. 1. Polska sól kamienna (A), sól himalajska (B)

Fig. 1. Polish rock salt (A), Himalayan salt (B)

mln lat”. Ponieważ polski sprzedawca nie udzielił informacji z jakiej konkretnie kopalni pochodzi ta sól, można jedynie założyć, że jest ona eksploatowana z jednej z kopalń usytuowanych w paśmie Gór Słonnych (ang. *Salt Range*), na południowym skraju płaskowyżu Potwar (ang. *Potwar Plateau*), pomiędzy dolinami rzek Indus i Jhelum w północnej części Pakistanu, w prowincji Punjab. Góry Słone są skrajnie południową częścią dużego nasunięcia, odkutego częściowo od krystalicznego podłoża, i przemieszczonego z południa na północ na równinę Punjab. To nasunięcie jest efektem kolizji płyty Dekanu z płytą euroazjatycką i formowania się orogenu himalajskiego (Góry Słone są najbardziej na południe rozwiniętym pasmem deformacyjnym tego orogenu; Jaumé, Lillie, 1988; Gee, 1989; Pennock i in., 1989; Abir i in., 2015). Na terenie tego pasma działają 3 kopalnie soli: Khewra, Warcha i Kalabagh. Pozostałe 2 kopalnie soli w Pakistanie eksploatują surowiec wieku trzeciorzędowego. Sól kamienna wydobywana w wymienionych trzech kopalniach jest wieku neoproterozoicznego. Najstarszą i największą kopalnią (jedną z największych na świecie) jest Khewra Salt Mines, oficjalnie działająca od 1872 roku. Kopalnie eksploatują sól kamienną należącą do formacji Salt Range (ang. *Salt Range Formation*, Asrarullah, 1967), która ma formę szeregu ciał solnych, kopuł, a miejscami diapirów, rozwiniętych częściowo na uskawkach; generalnie objęta jest intensywną tektoniką solną. Wiek całej formacji ustalono na ediakar- wczesny kambr (Sameeni, 2009; Ghazi i in., 2012). Jej całkowita miąższość jest szacowana na 800-2000 m (Fatmi, 1973; Fatmi i in., 1984; Gee, 1989). Dzieli się na 3 jednostki - ogniwa, przy czym soloński jest najniższy z nich – Billianwala (Sameeni, 2009; Ghazi i in., 2012; Richards i in., 2015). W przypadku kopal-

ni Khewra sól kamienna występuje w obrębie 7 pokładów o sumarycznej miąższości 150 m, eksploatowanych na 18 poziomach, z tego 12 poniżej, a 6 powyżej poziomu terenu (<http://www.pmdc.gov.pk>). Obok soli kamiennych występują sole potasowe które są również przedmiotem eksploatacji.

Powyżej soli kamiennej występują margle ogniwa Sahwal, a jeszcze wyżej gipsy ogniwa Bandarkas. Nad formacją Salt Range zalegają zgodnie utwory kambru, a na nich niezgodnie permu i ponownie niezgodnie paleocenu, eocenu i miocenu. Natomiast w podłożu formacji występują skały krystaliczne płyty dekańskiej; są to należące do proterozoiku kwarcyty, fyllity i metawulkanity (Shah, 1977; Gee, 1989; Bender, Raza, 1995; Grealud i in., 2002; Kazmi, Abbasi, 2008).

Zasoby soli kamiennej Khewra oszacowano na 220 mln ton (Hussain i in., 2017), 600 mln ton (Whitmore, Williams, 1982) natomiast pakistańskie ministerstwo zasobów naturalnych deklaruje ponad miliard ton; w latach 2016-2017 wydobyto w tej kopalni 390 tys. ton tego surowca (<http://www.pmdc.gov.pk>).

METODYKA BADAŃ

W celu oznaczenia makro i mikroelementów w próbkach soli kamiennej rozpuszczono 1 g soli w 100 ml dejonizowanej wody i zakwaszono 65% HNO₃ (Ultrapur, ROMIL-UpA™) do pH<2. W tak przygotowanych roztworach dokonano oznaczeń Fe, Mn, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ z wykorzystaniem absorpcyjnej i emisyjnej spektrometrii atomowej z atomizacją płomieniową (F-AAS i F-AES), model 280FS firmy Varian (Australia) oraz Al, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Sb, Pb, Sr, Be, Rb, Mo, Y, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb i Lu z wykorzystaniem indukcyjnie sprzężonej plazmy z detekcją mas (ICP-QQQ), model 8800 QQQ, firmy Agilent

Tabela 1. Warunki pracy techniką F-AAS, F-AES i ICP-QQQ**Table 1.** F-AAS, F-AES and ICP-QQQ operating conditions

| | | | | | |
|---|---|-------|-------|-------|-------|
| Spektrometr <i>Spectrometer</i> | Varian 280FS | | | | |
| Pierwiastek <i>Element</i> | Fe | Mn | Ca | Mg | K |
| Długość fali (nm) <i>Wavelength (nm)</i> | 248.3 | 279.5 | 422.7 | 285.2 | 766.5 |
| Szerokość szczeliny (nm) <i>Slit (nm)</i> | 0.2 | | | | |
| Prąd lampy (mA) <i>Lamp current (mA)</i> | 5 | | F-AES | | |
| Przepływ powietrza (L/min) <i>Air flow (L/min)</i> | 13.5 | | | | |
| Przepływ acetyleny (L/min) <i>Acetylene flow (L/min)</i> | 2 | | 6.5 | | |
| Przepływ podtlenku azotu (L/min) <i>Nitrous oxide flow (L/min)</i> | | | 11 | | |
| Przepływ próbki (mL/min) <i>Sample flow (mL/min)</i> | 5 | | | | |
| Spektrometr <i>Spectrometer</i> | Agilent 8800 Triple Quad | | | | |
| Rozpylacz <i>Nebulizer</i> | Micromist | | | | |
| Interfejs <i>Interface</i> | Stożki Ni <i>Sampler and skimmer cones in Ni</i> | | | | |
| RF moc generatora <i>RF power</i> | 1550 W | | | | |
| Przepływ gazu plazmowego (argon) <i>Plasma flow rate (argon)</i> | 15 (L/min) | | | | |
| Przepływ gazu ochronnego (argon) <i>Carrier gas flow (argon)</i> | 1.08 (L/min) | | | | |
| Pompa perystaltyczna <i>Nebulizer pump</i> | 0.3 (rps) | | | | |
| S/C temp <i>S/C temp</i> | 2 (°C) | | | | |
| Czas płukania <i>Rinsing time</i> | 30.0 (s) | | | | |
| Ilość powtórzeń <i>Number of repetitions</i> | 10 | | | | |
| Przepływ gazu <i>Gas flow rate</i> | He 5.0 (mL/min) | | | | |
| | O ₂ 0.3 (mL/min) 30 (%) | | | | |

Technologies (Japonia). Zoptymalizowane warunki pracy poszczególnych aparatów analitycznych użytych w oznaczeniach zestawiono w tabeli 1.

Sole kamienne zostały przeanalizowane również pod kątem zawartości i składu części nierozpuszczalnych w wodzie. W tym celu rozpuszczono 200 g naważki obu typów soli. Materiał, który nie uległ rozpuszczeniu zebrano na sączku, wysuszono i zważono na wadze analitycznej, co pozwoliło określić udział procentowy części nierozpuszczalnej w badanej próbce. Następnie materiał ten przeanalizowano z użyciem binookularu określając skład petrograficzny dominujących składników.

Podczas oznaczeń techniką absorpcyjnej i emisyjnej spektrometrii atomowej oraz indukcyjnie sprzężonej plazmy z detekcją mas użyto roztworów wzorcowych firmy Merck (Merck, Darmstadt, Niemcy) oraz firmy VHG Labs (Manchester, Anglia). Jako gaz palny podczas analizy F-AAS i F-AES użyto acetyleny analitycznego oraz podtlenek azotu firmy Linde (Linde Gaz Polska Sp. z o.o., Kraków, Polska). Podczas analizy ICP-QQQ jako gaz plazmowy i ochronny użyto argonu, natomiast jako gazy reakcyjne użyto helu i tlenu firmy Linde (Linde Gaz Polska Sp. z o.o., Kraków, Polska).

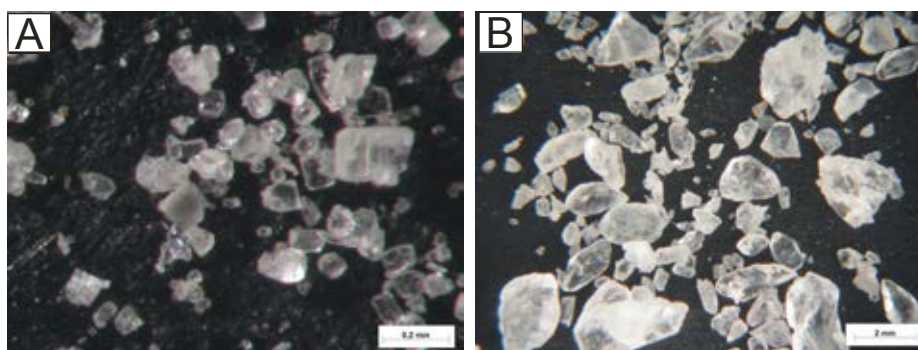
Podczas prac badawczych korzystano z odczynników o odpowiedniej czystości analitycznej oraz wody o oporności 18,2 MΩ·cm (w 25°C) oczyszczanej za pomocą urządzenia Direct-Q® UV3 firmy Millipore (Millipore, Francja).

W celu sprawdzenia poprawności wykonywanych analiz wykorzystano następujące certyfikowane materiały odniesienia: SRM 1643e (National Institute of Standards and Technology, USA) oraz SPS-SW2 Batch 125 (Spectrapure Standards as, Oslo, Norwegia).

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Z soli himalajskiej uzyskano 2,4 g części nierozpuszczalnej, a z polskiej soli kamiennej 2,2 g. Oba typy soli charakteryzują się wysoką czystością na poziomie odpowiednio 1,2 % (sól himalajska) i 1,1 % (polska sól kamienna). Dodatkowo obserwacjom poddano materiał, który stanowił nierozpuszczalne rezyduum. W przypadku polskich soli kamiennych głównym składnikiem części nierozpuszczalnej jest anhydryt, którego wielkość ziaren wynosi 0,1-0,2 mm (ryc. 2A). Natomiast dominującym składnikiem rezyduum soli himalajskich są detrytyczne ziarna kwarcu, tylko częściowo lub słabo obtoczone; wielkość większości tych ziaren wynosi 1-2 mm (ryc. 2B).

i 0,26 mg/kg dla soli himalajskich. W przypadku obu typów soli przy dziennym spożyciu 5 g na dzień nie zostanie przekroczona dopuszczalna dawka manganu wynosząca 5 mg/dzień (WHO, 2003; Nafees i in., 2013). Wyższe stężenia strontu stwierdzono w soli polskiej niż himalajskiej. Podobnie jak w przypadku Al, Co, Ba, Rb (Ryc. 4A). W przypadku metali ciężkich najwyższe stężenia stwierdzono dla cynku. Zarówno dla soli himalajskiej, jak i dla soli polskiej nie zostanie przekroczona dopuszczalna dawka cynku wynosząca 15 mg/dzień (WHO, 2003), przy dziennym spożyciu soli na poziomie 5 g. Podobnie jak w przypadku pozostałych metali ciężkich. Metaloidy (As, Sb i Se) na wyższym poziomie stężeń występują w solach himalajskich, tak samo jak V, Be i Mo (Ryc. 4B). W przypadku metaloidów najwyższe stężenia stwierdzono dla Se, który w odpowiednich dawkach w diecie dziennej może korzystnie wpływać na prawidłowe funkcjonowanie człowieka (Siepak, 2005). Wśród pozostałych analizowanych mikroelementów, zaliczanych do pierwiastków ziem rzadkich (Ryc. 5), dominuje Ce. Na niższym poziomie stężeń występuje Y, Nd i La oraz pozostałe pierwiastki (Ryc. 5). Dla większości pierwiastków ziem rzadkich ich wyższe stężenia występują w soli polskiej (Ryc. 5, Tabela 2).



Ryc. 2. Część nierozpuszczalna, polska sól kamienna (A), sól himalajska (B)
 Fig. 2. Insoluble matter; Polish rock salt (A), Himalayan salt (B)

Uzyskane wyniki badań dla soli kamiennych w zakresie analizowanych makroskładników wskazują, że sól polska charakteryzuje się wyższymi stężeniami wapnia, a niższymi stężeniami magnezu i potasu w stosunku do soli himalajskiej (Ryc. 3, Tabela 2). W przypadku żelaza (Ryc. 4A) wyższymi stężeniami (28,7 mg/kg) charakteryzuje się sól himalajska niż sól polska (15,3 mg/kg). Dzienna dawka Fe, obliczona przy założonym spożyciu soli na poziomie dopuszczalnym wynoszącym 5 g na dzień, wynosi 0,144 mg/dzień i 0,077 mg/dzień żelaza odpowiednio dla soli himalajskiej oraz soli polskiej i jest niższa niż dopuszczalna wartość wynosząca 15 mg/dzień (WHO 2003; Nafees i in., 2013). W solach kamiennych zawartość manganu wynosiła 0,90 mg/kg dla soli polskiej

Porównując uzyskane wyniki badań z wynikami zawartymi w raportach producenta soli oraz danymi literaturowymi, można stwierdzić, że skład chemiczny soli kamiennej himalajskiej jest niemal identyczny jak w publikacji Harrier i Ferreira (2003). Natomiast w przypadku polskich soli wyniki badań odbiegają od siebie tylko w zakresie: Sr, Fe i Mo (Tabela 2).

Największe różnice obu typów soli widoczne są przy porównywaniu materiału rezydualnego. W przypadku polskich soli kamiennych dominującym składnikiem części nierozpuszczalnej jest drobnokrystaliczny anhydryt (materiał autochtoniczny) – typowy minerał ewaporatów; jego udział jest deklarowany przez producenta. W solach himalajskich

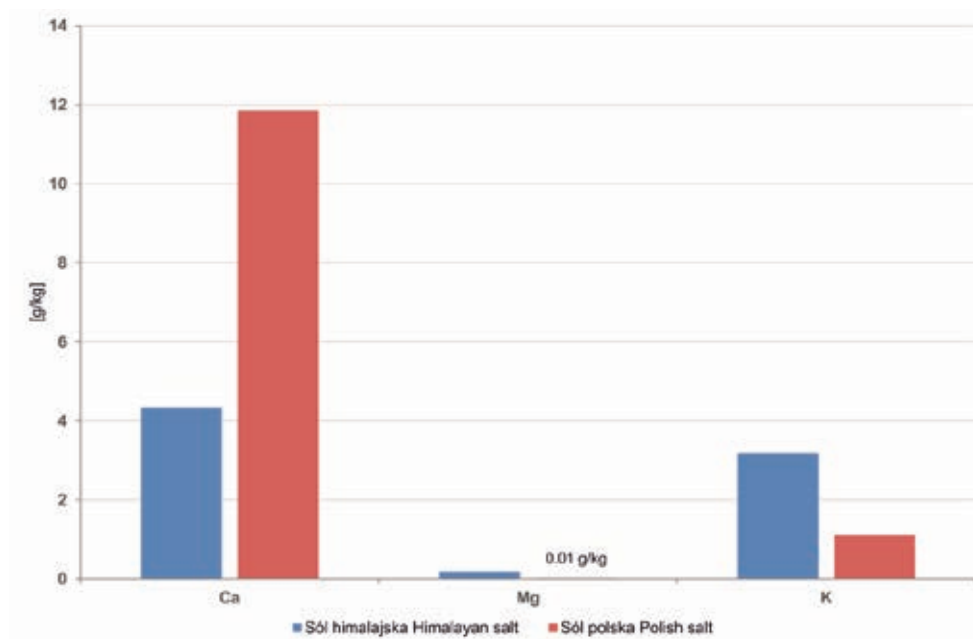
Tabela 2. Stężenia wybranych makro i mikroelementów w polskich solach kamiennych i himalajskich
Table 2. Concentrations of selected macro and microelements in Polish and Himalayan salts

| Pierwiastek Element | Ca | Mg | K | Sr | Al | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Pb | Cr | Se | Ba | As | V | Cd | Sb | Źródło Source |
|----------------------------------|--------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|---------|-------|------|-------|------|-------|-------|--------|-------|---|
| | [g/kg] | | | | | | | | | | [mg/kg] | | | | | | | | | |
| Sól himalajska Himalayan salt | 4.32 | 0.18 | 3.18 | 10.8 | 0.61 | 0.26 | 28.7 | 0.56 | 0.14 | 0.58 | 1.63 | 0.18 | 0.06 | 0.041 | 1.21 | 0.014 | 0.05 | 0.001 | 0.004 | Niniejsze badania This paper |
| Sól polska Polish salt | 11.8 | 0.01 | 1.09 | 13.1 | 0.80 | 0.90 | 15.3 | 1.46 | 0.18 | 0.42 | 1.06 | 0.05 | 0.79 | 0.028 | 2.05 | 0.009 | 0.04 | 0.001 | 0.002 | |
| Sól himalajska Himalayan salt | 4.05 | 0.16 | 3.50 | 14.0 | 0.66 | 0.27 | 38.9 | 0.60 | 0.13 | 0.56 | 2.38 | 0.10 | 0.05 | 0.050 | 1.96 | <0.01 | 0.06 | <0.001 | <0.01 | Hendel, Ferreira 2003 |
| Sól polska Polish salt | 12.0 | 0.01 | 0.89 | 4.50 | 1.47 | 0.50 | 2.16 | <1.00 | b.d.* | <1.00 | <1.00 | <1.00 | 0.16 | <1.00 | | | b.d.* | | | Dane z raportu Data from the literature |

| Pierwiastek Element | Mo | Rb | Be | Y | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Źródło Source |
|--|---------|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------------------------------------|
| | [mg/kg] | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sól himalajska Himalayan salt | 0.02 | 0.07 | 0.01 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.0002 | 0.0008 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.00004 | 0.00005 | 0.00004 | Niniejsze badania This paper |
| Sól polska Polish salt | 0.01 | 1.06 | 0.01 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.0002 | 0.0008 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0002 | 0.00005 | 0.00006 | 0.00007 | |
| Sól himalajska Himalayan salt | 0.01 | 0.04 | <0.01 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <3.00 | <0.001 | <0.001 | <4.00 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | Hendel, Ferreira 2003 |
| Sól polska Polish salt | 0.15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | b.d.* |

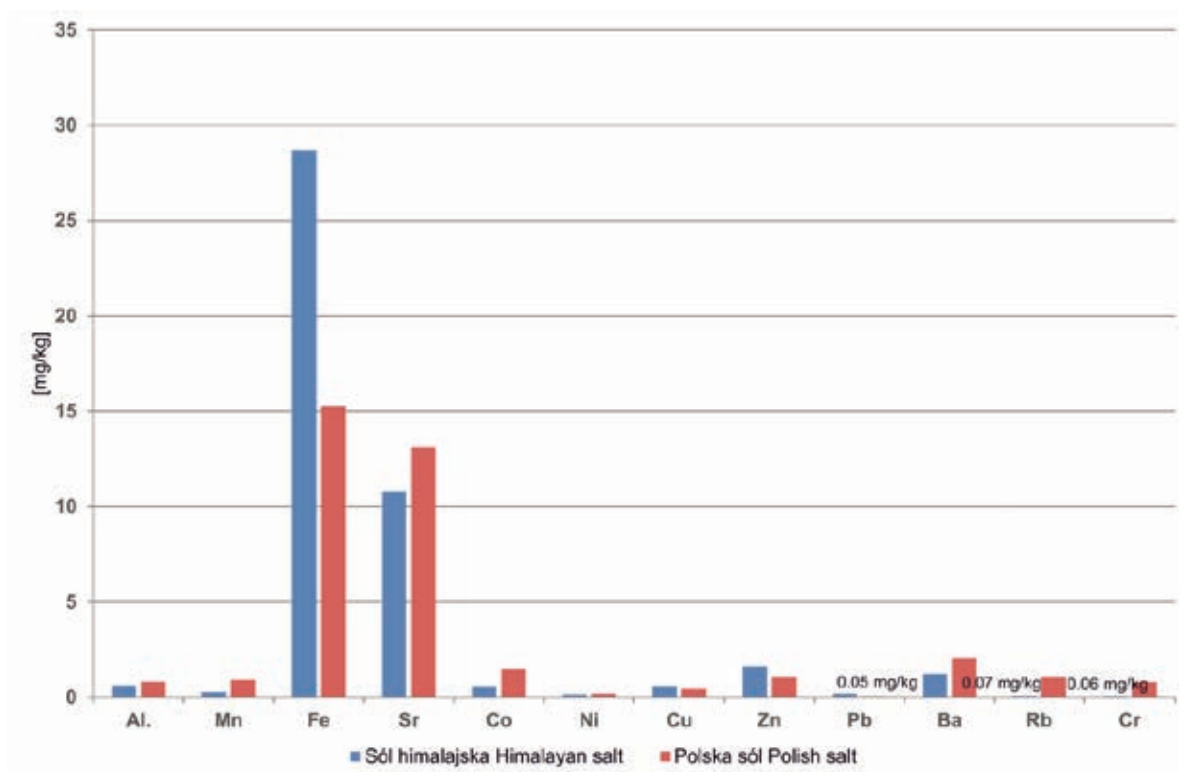
b.d.* - brak danych
no data

Wyniki badań chemicznych zestawiono w tabeli 2., podano je w g/kg oraz mg/kg. Dodatkowo zamieszczono diagramy ilustrujące wyniki analiz (ryc. 3-5).



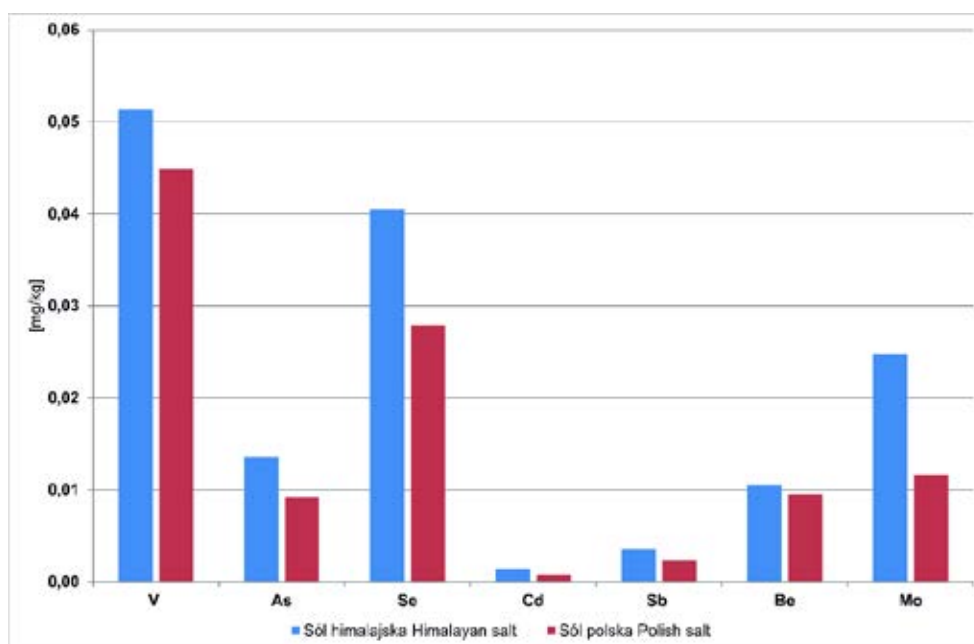
Ryc. 3. Diagram zawartości wybranych makroelementów w polskich solach kamiennych i himalajskich [w g/kg]

Fig. 3. Diagram of the content of selected macroelements in Polish and Himalayan salts [in g/kg]



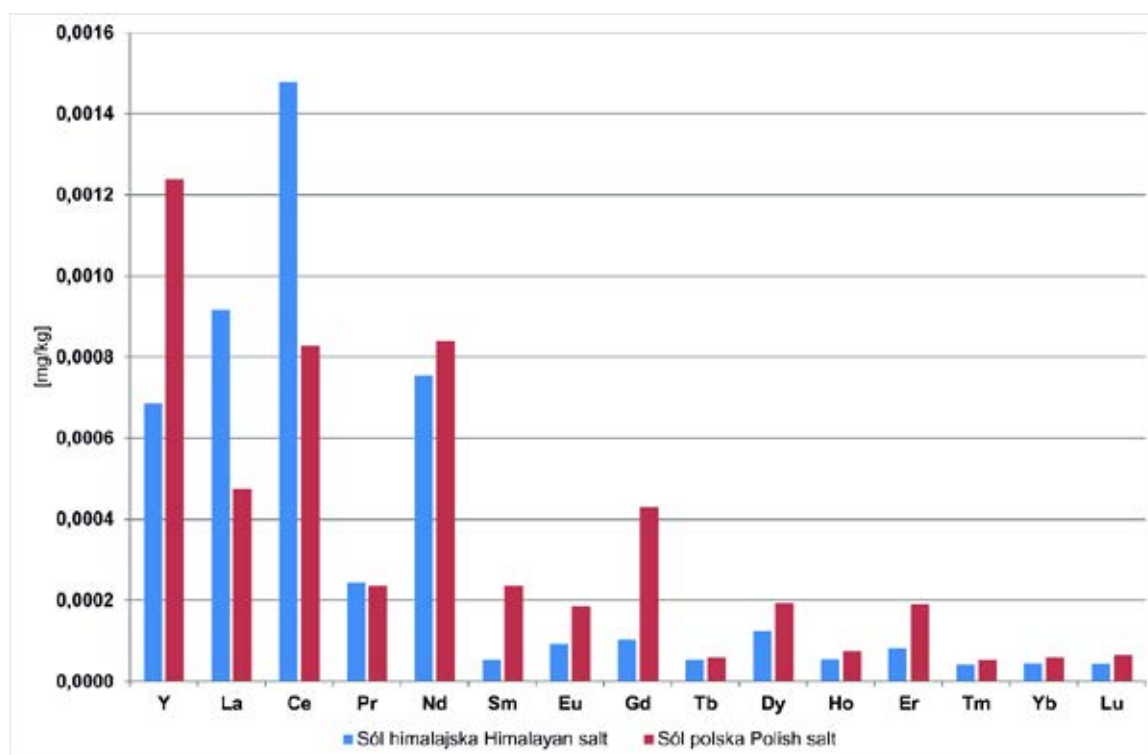
Ryc. 4.A. Diagram zawartości wybranych mikroelementów (cz. 1) w polskich solach kamiennych i himalajskich [w mg/kg]

Fig. 4.A. Diagram of the content of selected microelements (part 1) in Polish and Himalayan salts [in mg/kg]



Ryc. 4.B. Diagram zawartości wybranych mikroelementów (cz. 2) w polskich solach kamiennych i himalajskich [w mg/kg]

Fig. 4.B. Diagram of the content of selected microelements (part 2) in Polish and Himalayan salts [in mg/kg]



Ryc. 5. Diagram zawartości pierwiastków ziem rzadkich w polskich solach kamiennych i himalajskich [w mg/kg]

Fig. 5. Diagram of the content of rare earth elements in Polish and Himalayan salts [in mg/kg]

głównym składnikiem rezydium jest detrytyczny kwarc, zaskakujący wielkością ziaren (1-2 mm). Jest materiałem allochtonicznym, przytransportowanym do zbiornika w którym powstały sole. W podłożu, a więc najbliższym otoczeniu, złóż występują skały krystaliczne, m.in. kwarcyty. Określenie źródła alimentacji tych kwarców mogłoby wskazać kierunki transportu w prekambryjskim zbiorniku: paleopądów lub wiatrów. Niski lub średni stopień obtoczenia kwarców oraz brak łyszczków w obrębie rezydium wskazuje na transport eoliczny tego materiału, a wielkość ziaren może świadczyć o dość dużej sile tych wiatrów.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania porównawcze soli kamiennych polskich i himalajskich pozwalają stwierdzić:

1. Sole obu typów mają niemal identyczny udział części nierozpuszczalnej. Wykonane analizy wykazały, że polska sól kamienna charakteryzuje się czystością na poziomie 98,9 % (1,1 % części nierozpuszczalnej) a himalajska – 98,8% (1,2 % części nierozpuszczalnej).
2. Skład mineralny rezydium uzyskanego z rozpuszczenia soli jest odmienny. Polskie sole kamienne zawierają przede wszystkim drobnokrystaliczny anhydryt, który jest składnikiem autochtonicznym, natomiast w solach himalajskich obecny jest średniokrystaliczny, detrytyczny kwarc, będący materiałem allochtonicznym.
3. Sole obu typów mają porównywalny skład chemiczny. Polskie sole kamienne zawierają więcej: Ca, Cr, Mn, Co, Sr, Rb, Ba, natomiast himalajskie: K, Mg, Fe, Cu, Zn, As, Se, Pb. Różnice są jednak nieznaczne biorąc pod uwagę jednostkę w której wyrażono udział poszczególnych pierwiastków.
4. Oba typy soli mają niemal identyczną zawartość pierwiastków ziem rzadkich.
5. Wykonane analizy chemiczne soli w odniesieniu do wyników dostępnych w upublicznionych raportach wskazują bardzo dużą zbieżność w przypadku soli himalajskich, i nieduże różnice w przypadku polskich soli kamiennych.

CONCLUSIONS

The comparative studies of Polish and Himalayan salts (Fig. 1.) have shown that:

1. Salts of both types have an almost identical proportion of the insoluble matter. The analyses showed that Polish rock salt is characterized by purity of 98.9% (1.1% of insoluble part) and Himalayan - 98.8% (1.2% of insoluble part).
2. The mineral composition of residue from the dissolution of salt is different. Polish rock salts contain primarily the fine-crystalline anhydrite, which is an autochthonic component, while in the Himalayan salt is present a medium-crystalline, detrital quartz, which is allochthonous material (Fig. 2.).

3. Salts of both types have a comparable chemical composition. Polish rock salts contain more: Ca, Cr, Mn, Co, Sr, Rb, Ba, while Himalayan: K, Mg, Fe, Cu, Zn, As, Se, Pb. The differences, however, are insignificant (see Tab. 2 and Fig. 3-4).
4. Both types of salt have an almost identical content of rare-earth elements (Fig. 5).
5. Chemical analyses of salts in compare to the results available in the published reports indicate a convergence in the case of Himalayan salt, and small differences in the case of Polish rock salt (see Tab. 2).

PODZIĘKOWANIA

Prace badawcze zostały sfinansowane ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach projektu nr 215862/E-336/SPUB/2017/1.

LITERATURA/REFERENCE

- ABIR I.A., KHAN S.D., GHULAM A., TARIQ S., SHAH M.T., 2015. Active tectonics of western Potwar Plateau–Salt Range, northern Pakistan from InSAR observations and seismic imaging. *Remote Sensing of Environment*, 168: 265-275.
- ASRARULLAH P., 1967. Geology of the Khewra Dome.- Proceedings of the 18th and 19th combined session of All Pakistan Science Conference, University of Sind, Hyderabad, Part-III, Abstracts, F3-F4.
- BABEL M., SCHREIBER B.C., 2014. Geochemistry of Evaporites and Evolution of Seawater In: Holland H. D., Turekian K. K. (eds.) *Treatise on Geochemistry*, 2nd ed., v. 9, Sediments, Diagenesis, and Sedimentary Rocks (Mackenzie ed.). Oxford, Elsevier, 483-560.
- BENDER F.K., RAZA H.A. (eds.), 1995. *Geology of Pakistan*, Gerbrüder Borntraeger, Berlin.
- BURLIGA S., 1997. Ewolucja wysadu solnego Kłodawy. Mat. Konferencji: Tektonika solna regionu kujawskiego. Wyd. Wind, Wrocław, 66-76.
- BURLIGA S., KOLONKO P., MISIEK G., CZAPOWSKI G., 1995. Kłodawa Salt Mine. Upper Permian (Zechstein) profile from basin center, salt tectonics, mineral transformations, salt mining problems. XIII International Congress on Carboniferous-Permian Guide to Excursion A3., 45-54. Warszawa: Wyd. PIG.
- DADLEZ R., MAREK S., POKORSKI J. (red.), 2000. Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- FATMI A.N., AKHTAR M., ALAM G.S., HUSSAIN I., 1984. Guide Book of Geology of the Salt Range: Geological Survey of Pakistan, First Pakistan Geological Congress, 14 p.
- FATMI A.N., 1973. Lithostratigraphic units of the Kohat-Potwar Province, Indus Basin. Geological Survey of Pakistan Memoir, 10, 80 p.
- GEE E.R., 1989. Overview of the geology and structure of the Salt Range, with observations on related areas of northern Pakistan. In: Malinconico L.L., Lillie R.J. (eds) *Tectonics of the western Himalayas*. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 232: 95-112.
- GHAZI S., MOUNTNEY N.P., BUTT A.A., SHARIF S., 2012. Stratigraphic and palaeoenvironmental framework of the Early Permian sequence in the Salt Range, Pakistan. *Journal of Earth System Science*, 121 (5): 1239-1255.

- GRELAUD S., SASSI W., LAMOTE D.F., JASWAL T., ROURE F., 2002. Kinematics of eastern Salt Range and South Potwar Basin (Pakistan): a new scenario. *Marine and Petroleum Geology*, 19: 1127–1139.
- HENDEL B., FERREIRA P., 2003. Water & Salt: The Essence Of Life: The Healing Power of Nature. Natural Resources. <https://academic.oup.com/eurheartj/article/28/12/1462/2844990#56889485>
- HUSSAIN W., ABBAS S.Q., HUSSAIN S., 2017. Structure Investigation, Economics and Stratigraphy of the Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic Sequence in the Vicinity Eastern and Western side of the Salt Range, Punjab Pakistan. *Journal of Computer Science of Newports Institute of Communications and Economics*, 6: 95-116.
- JAUME S.C., LILLIE R.J., 1988. Mechanics of the Salt Range-Potwar Plateau, Pakistan. A fold-and-thrust belt underlain by evaporites. *Tectonics*, 7: 57-71.
- KAZMI A.H., ABBASI I.A., 2008. Stratigraphy and historical geology of Pakistan. Department and NCE in Geology, University of Peshawar, Peshawar, 524 p.
- LADOO R.B., MYERS W.M., 1951. Non-metallic minerals. Mac Graw-Hill Book Company, New York — Toronto — London, 605 p.
- MANCIA G. i in., 2007. 2007 Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*, 28 (12): 1462–1536.
- MANCIA i in., 2013. Wytyczne ESH/ESC dotyczące postępowania w nadciśnieniu tętniczym w 2013 roku. *Nadciśnienie tętnicze*, 17 (2): 69-168.
- NAFEES M., KHAN N., RUKH S., BASHIR A., 2013. Analysis of rock and sea salts for various essentials and inorganic elements. *J. Sc. & Tech. Univ. Peshawar*, 37 (1): 9-20.
- PATNAIK P., 2002. *Handbook of Inorganic Chemicals*. New York, NY: McGraw-Hill Professional.
- PENNOCK E.S., LILLIE R.J., ZAMAN A.S.H., YOUSAF M., 1989. Structural interpretation of seismic reflection data from eastern Salt Range and Potwar Plateau. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 73: 841-857.
- POBORSKI J., 1957. Cechsżyńska struktura solna Izbica-Łęczycza. *Przegląd Geologiczny*, 1: 31-32.
- POBORSKI J., 1971. Przewrót w poglądach na tektonikę wysadów solnych w Regionie Kujawskim. Materiały z kolokwium. *Prace Inst. Min. i Złóż Sur. Min. AGH w Krakowie*.
- POBORSKI J., 1975. Studium geologiczno-górnictwa krajowych złóż soli. Kraków.
- RICHARDS L., KING R.C., COLLINS A.S., SAYAB M., KHAN M.A., HANEEF M., MORLEY C.K., WARREN J., 2015. Macrostructures vs Microstructures in Evaporite Detachments: An Example from the Salt Range, Pakistan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 113: 922-934.
- SAMEENI S.J., 2009. The Salt Range: Pakistan's unique field museum of geology and paleontology.- In: Lipps J.H. & Granier B.R.C. (eds.), *PaleoParks - The protection and conservation of fossil sites worldwide*.- Carnets de Géologie / Notebooks on Geology, Brest, Book 2009/03, Chapter 6.
- SHAH S.M.I., 1977. Stratigraphy of Pakistan.- Geological Survey of Pakistan. *Memoirs*, Quetta, 12, 138 p.
- SIEPAK M., 2005. Arsen, antymon i selen w wodach podziemnych doliny rzeki Warty pomiędzy Poznaniem a Śremem. Wydawnictwo Naukowe Bogucki, *Geologos 7, Monographiae 1*, ISBN 83-89290-97-9, Poznań, 172 p.
- ŚLIZOWSKI K., SAŁUGA P., 1996. Surowce mineralne Polski. Surowce chemiczne, sól kamienna. Wydaw. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków, 179 p.
- SZYBIST A., 2003. Struktury solne regionu kujawskiego [w]: Bujakowski W. (red.), *Termiczna charakterystyka górotworu w rejonie wysadów solnych*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 15–37.
- SZYBIST A., 2008. Geologiczna charakterystyka wybranych struktur solnych na Niżu Polski [w]: Kortas G. (red.), *Ruch górotworu w rejonie wysadów solnych*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 13–65.
- SZYBIST A., GARLICKI A., 2003. Geologiczna charakterystyka regionu kujawskiego [w]: Bujakowski W. (red.), *Termiczna charakterystyka górotworu w rejonie wysadów solnych*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 7–14.
- TARKA R., 1992. Tektonika wybranych złóż soli w Polsce na podstawie badań mezostrukturalnych. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 147: 1–47.
- TITLER R.V., CURRY P., 2011. Chemical analysis of major constituents and trace contaminants of rock salt. Pennsylvania Department of Environmental Protection.
- WARREN J.K. 2010. Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. *Earth-Science Reviews*, 98: 217–268.
- WHITMORE F.C., WILLIAMS M.E., 1982. Resources for the twenty-first century. Washington D.C: U.S. Geological Survey, 175 p.
- WHO: Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. 2003, Report of a Joint FAO/WHO expert consultation., WHO, Geneva.
- YALÇIN S., MUTLU I.H., 2012. Structural Characterization of Some Table Salt Samples by XRD, ICP, FTIR and XRF Techniques. *Acta Physica Polonica*, 121: 50-52.
- raport PIG-PIB, 2018. Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31.12.2017. http://geoportal.pgi.gov.pl/css/surowce/images/2017/pdf/bilans_2017.pdf
- <http://webmineral.com/data/Halite.shtml>
- https://nadcisnienietetnicze.pl/ptnt/wytyczne_ptnt
- Zasady postępowania w nadciśnieniu tętniczym — 2015 rok. Wytyczne Polskiego Towarzystwa Nadciśnienia Tętniczego <http://www.pmdc.gov.pk>
- <http://www.sol-klodawa.com.pl/certyfikaty>
- <http://www.tervisekool.ee/tervisekool/failid/File/lugemist/tervislk%20toitumine/Certificate%20of%20the%20Analysis%20of%20the%20Original%20Himalayan%20Crystal%20Salt.pdf>