



# Skład chemiczny soli spożywczych – sole kłodawskie na tle tak zwanych soli morskich

## Chemical composition of commercial table salts – rock salt from Kłodawa in comparison with so-called sea salts

Joanna JAWORSKA<sup>1</sup>, Przemysław NIEDZIELSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instytut Geologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. B. Krygowskiego 12, 61-680 Poznań; e-mail: veronika@amu.edu.pl

<sup>2</sup> Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8, 61-614 Poznań; e-mail: przemyslaw.niedzielski@amu.edu.pl

<sup>1</sup> Institute of Geology, Adam Mickiewicz University, B. Krygowskiego 12, 61-680 Poznań; e-mail: :veronika@amu.edu.pl

<sup>2</sup> Faculty of Chemistry, Adam Mickiewicz University, Uniwersytetu Poznańskiego 8, 61-614 Poznań; e-mail: przemyslaw.niedzielski@amu.edu.pl

### STRESZCZENIE

Przebadano skład chemiczny 6 soli spożywczych: (1) jednej soli pochodzenia kopalnego, reprezentowanej przez białą sól kamienną z Kłodawy oraz (2) pięciu soli pozyskiwanych współcześnie (tzw. soli morskich), reprezentowanych przez sole morskie z Francji, Portugalii, Włoch i Izraela oraz jedną sól nie-morską z Peru. W badaniach soli porównano zawartość 15 pierwiastków chemicznych — 4 makroelementów: Ca, Mg, K, S oraz 11 mikroelementów: Si, P, Zn, Cd, Pb, Ni, Fe, Cr, Cu, Al, Mn.

**Słowa kluczowe:** sól spożywcza, sól morska, sól kamienna, analiza chemiczna, makro- i mikroelementy

### 1. WSTĘP

Sól kuchenna jest minerałem i jednocześnie pospolitym, powszechnie wykorzystywanym produktem spożywczym, głównie jako przyprawa lub naturalny konserwant. Do dyspozycji konsumentów pozostają ich dwa główne rodzaje: sole kopalne oraz sole współczesne. Oba typy soli powstały/powstają tak samo, tzn. w wyniku strącenia osadu NaCl (soli kuchennej/halitu) z przesyconego roztworu jakim jest solanka. Sole współczesne produkowane są w systemach płytkich zbiorników — salin, parowników, panwi solnych (naturalnych lub sztucznych), w warunkach klimatu ciepłego, czy też gorącego i suchego. Zbiorniki te mogą być: (1) częścią odciętej zatoki morskiej lub oceanicznej — wówczas powsta-

### ABSTRACT

The chemical composition of 6 brands of commercial table salt was examined: (1) ancient salt, represented by white rock salt from Kłodawa, and (2) modern salt, represented by so-called sea salts from France, Portugal, Italy, and Israel, as well as one non-sea salt from Peru. When testing the salts, a comparison was made of the content of 15 chemical elements: 4 macroelements (Ca, Mg, K, and S) and 11 microelements (Si, P, Zn, Cd, Pb, Ni, Fe, Cr, Cu, Al, and Mn).

**Key words:** commercial table salt, sea salt, rock salt, chemical analysis, macro- and microelements

### 1. INTRODUCTION

Table salt is a mineral and also a common product that is widely used, mainly as a seasoning or natural preservative. There are two main types of table salt available to consumers: ancient salt and modern salt. Both types of salts were/are formed in the same way, i.e. by precipitation of sodium chloride (NaCl) (also known as table salt/halite) from a (super) saturated solution such as brine. Modern salts are produced in systems of shallow reservoirs, referred to as salinas or saline pans (natural or artificial), in warm, or hot and dry climates. These reservoirs can be: (1) a part of a cut-off sea or ocean bay, in which case so called sea salt is formed, or (2) a part of a salt lake or pond located inland and fed by salty springs,

je w nich sól morską lub (2) słonym jeziorem albo stawem znajdującym się w głębi łądu i zasilanym słonymi źródłami — wówczas tworzy się w nich sól nie-morska. Sól zbierana jest jako luźne, nieduże kryształki halitu z dna wysychającego zbiornika. Natomiast sole kopalne to skały — sole kamienne, reprezentujące osady tyle, że dawnych mórz, czy też większych zbiorników ewaporatowych (faktycznie to też sole morskie, ale kopalne). Od współczesnych soli różni je wiek formowania oraz wielkość i forma złoża. Wiek złóż soli kopalnych ma szeroki zakres — od prekambriu po neogen (Zharikov, 1981, 1984; Warren, 2006). Również forma tych złóż jest zróżnicowana — od prostych lub sfałdowanych pokładów, po wysady solne. Sole kopalne eksploatowane są metodami górnictwami: (1) tradycyjną, „mechaniczną” metodą podziemną, przy użyciu środków strzałowych lub urabiania ręcznego lub (2) metodą „na mokro” poprzez rozpuszczanie złoża soli kamiennej, produkcję solanki i wtórne strącanie kryształków soli (tzw. „sól warzona”). Tylko w kilku wypadkach złoża soli kamiennej eksploatowane są metodą powierzchniową.

Celem niniejszej pracy było porównanie składu chemicznego 6 soli spożywczych, w tym 1 pochodzenia kopalnego oraz 5 pozyskiwanych współcześnie (tzw. soli morskich). W badaniach soli uwzględniono i porównano zawartość 15 pierwiastków chemicznych: Ca, Mg, K, S, Si, P, Zn, Cd, Pb, Ni, Fe, Cr, Cu, Al, Mn.

## 2. MATERIAŁ BADAWCZY

Obecnie na rynku konsumenckim dostępne są oba typy soli spożywczych, zarówno sole kamienne, jak i sole współczesne (tzw. sole morskie). Pochodzą one z kilku krajów i tym samym reprezentują różne zbiorniki, w których te sole powstały. W niniejszej pracy prezentowane są wyniki analiz chemicznych popularnych soli spożywczych, które można zakupić w większym supermarkecie; są one również dostępne w sklepach internetowych.

Celowo w badaniach pominięto sole warzone. Łącznie przebadano 6 gatunków soli spożywczych, średnio- i drobno-kryształicznych, białych (zob. ryc. 1):

(1) 4 sole morskie: w tym 2 atlantyckie z Francji (SM-Fr) i Portugalii (SM-Po), 1 z Izraela (z Morza Martwego; SM-Iz) i 1 z Włoch (SM-W). W przypadku soli z Włoch nie podano informacji z którego morza ta sól pochodzi;

(2) 1 sól współczesną, nie-morską, pochodzącą z Peru (SNM-Pe); reprezentującą sole zbiornika śródładowego (jest to sól jodowana) oraz

(3) 1 sól kopalną, kłodawską (Polska) (SK-Pl-K), reprezentującą białe sole kamienne wieku późnopermskiego (cechsztyn) (jest to sól niejodowana).

Określenia sól morską atlantycką, czy też sól z Morza Martwego itp. pochodzą z opisów znajdujących się na opakowaniach i deklaracji producentów oraz dystrybutorów tych soli.

in which case non-sea salt is formed. The salt is harvested as small loose halite crystals from the bottom of the drying pond. On the other hand, ancient salts are rock salts, representing sodium chloride (NaCl) sediments from ancient seas or larger evaporating reservoirs – salt giants (actually, they are also sea salts, but ancient). They differ from modern salts in their age of formation and the size and form of the deposit. The ancient salt deposits range in age from Precambrian to Neogene (Zharikov, 1981, 1984; Warren, 2006). The form of these deposits also varies, from horizontal bed or folded bed to salt diapirs. Ancient salts are mined using the following methods: (1) the traditional, “mechanical” underground method, using shooting materials, or by manual winning, or (2) the “wet” method that involves dissolving the deposit of rock salt, brine production, and secondary precipitation of salt crystals. Only in a few cases are the rock salt deposits mined by the surface method.

The paper compares the chemical composition of 6 brands of table salts, including 1 ancient salt and 5 produced today (sea salts). The tests performed on the salts included and compared the content of 15 chemical elements: Ca, Mg, K, S, Si, P, Zn, Cd, Pb, Ni, Fe, Cr, Cu, Al, and Mn.

## 2. RESEARCH MATERIAL

Nowadays, both types of table salts are available on the consumer market: rock salts and modern salts, which are often sea salts. They come from several countries and thus represent the different reservoirs in which these salts originated. This paper presents the results of chemical analyses of common table salts that can be purchased at major supermarkets; they are also available in online stores. Refined salts were intentionally not included in the study.

A total of 6 grades of table salt were tested (Fig. 1):

(1) 4 sea salts: including 2 Atlantic salts from France (SS-Fr) and Portugal (SS-Po), 1 from Israel (from the Dead Sea; SS-Is), and 1 from Italy (SS-It). In the case of the salt from Italy, no information was provided about which sea the salt came from;

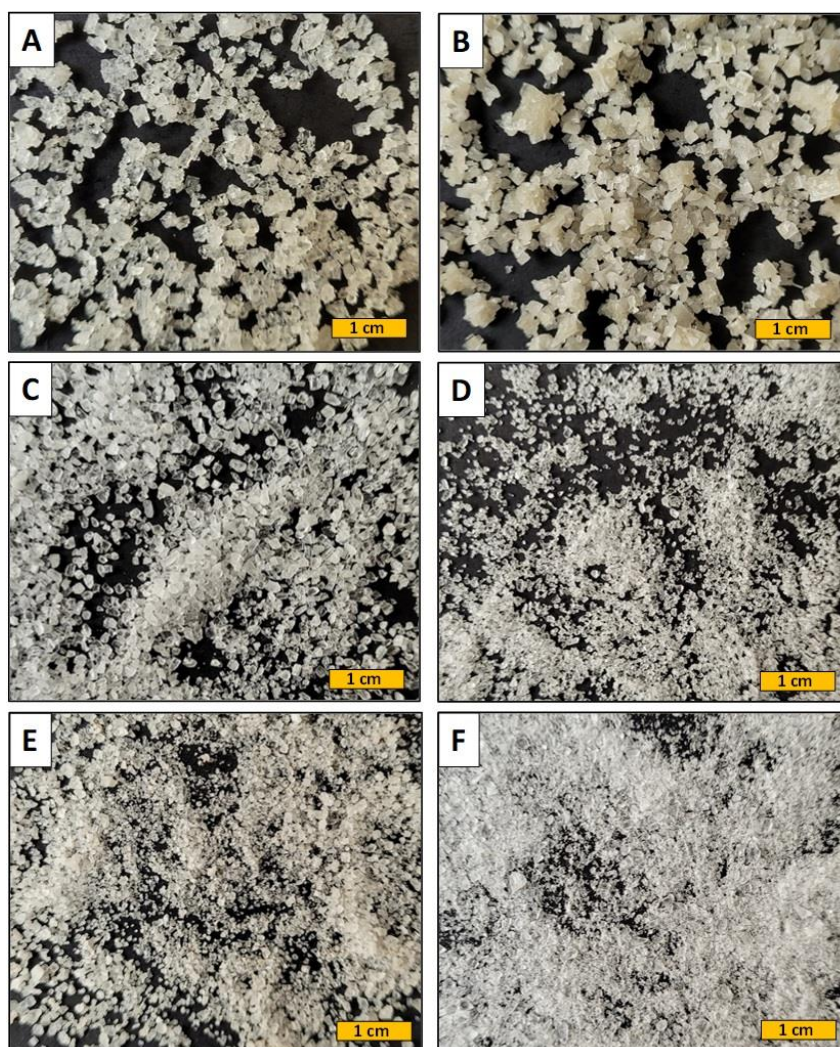
(2) 1 modern, non-sea salt from Peru (NSS-Pe), which is a continental salt; this is an iodized salt; and

(3) 1 ancient salt from Kłodawa (Poland) (RS-Pl-K), representing white rock salts of Late Permian (Zechstein) age; this is a non-iodized salt.

The terms Atlantic sea salt, Dead Sea salt, etc., are derived from descriptions found on the packaging and declarations of the manufacturers and distributors of these salts.

## 3. METHODOLOGY

The salt samples were dissolved in high purity water obtained in a Milli-Q device (Millipore, Merck, Germany). The aqueous solutions were analyzed using high-resolution opti-



**Ryc. 1.** Próbkki soli spożywczych: A – sól morską z Portugalii, B – sól morską z Francji, C – sól morską z Włoch, D – sól morską z Izraela, E – sól nie-morską z Peru, F – sól kamienna z Polski (Kłodawa).

**Fig. 1.** Commercial table salt samples: A - sea salt from Portugal, B - sea salt from France, C - sea salt from Italy, D - sea salt from Israel, E - non-sea salt from Peru, F - rock salt from Poland (Kłodawa).

### 3. METODYKA BADAŃ

Próbkki soli rozpuszczono w wodzie wysokiej czystości uzyskanej w urządzeniu Milli-Q (Millipore, Merck, Niemcy). Uzyskane wodne roztwory analizowane były z użyciem wysokorozdzielczej optycznej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP hrOES). W oznaczeniach wskazanych powyżej pierwiastków zastosowano procedurę dopasowania matrycy wzorców do matrycy próbek i wzorec wewnętrzny (itr), a w kontroli jakości zastosowano metodę dodatku wzorca.

### 4. WYNIKI BADAŃ

W tabeli poniżej przedstawiono wyniki badań chemicznych 6 rodzajów soli spożywczych. W analizach wzięto pod uwagę obecność 15 pierwiastków chemicznych — 4 makroelementów: Ca, Mg, K, S oraz 11 mikroelementów: Si, P, Zn, Cd, Pb, Ni, Fe, Cr, Cu, Al, Mn. Wartości wyrażono w mg/kg.

cal emission spectrometry with inductively coupled plasma excitation (ICP hrOES). In the determination of the elements indicated above, the procedure of matching the matrix of standards to the matrix of samples and the internal standard (yttrium) were used, and the standard addition method was used in quality control.

### 4. RESULTS

The table below shows the results of chemical tests of the 6 brands of table salts. The analyses considered the presence of 15 chemical elements - 4 macroelements (Ca, Mg, K, and S) and 11 microelements (Si, P, Zn, Cd, Pb, Ni, Fe, Cr, Cu, Al, and Mn). The values are expressed in mg/kg.

### 5. DISCUSSION

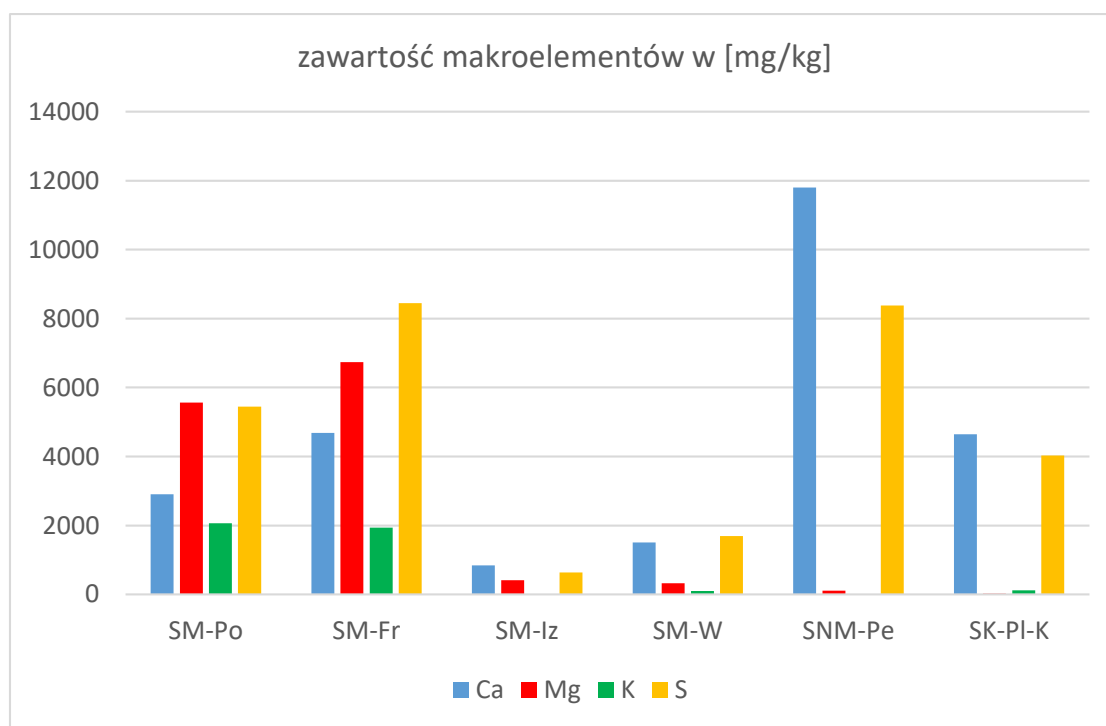
Salt is an essential component of the human diet, and both its excess and deficiency can be harmful to health. The recom-



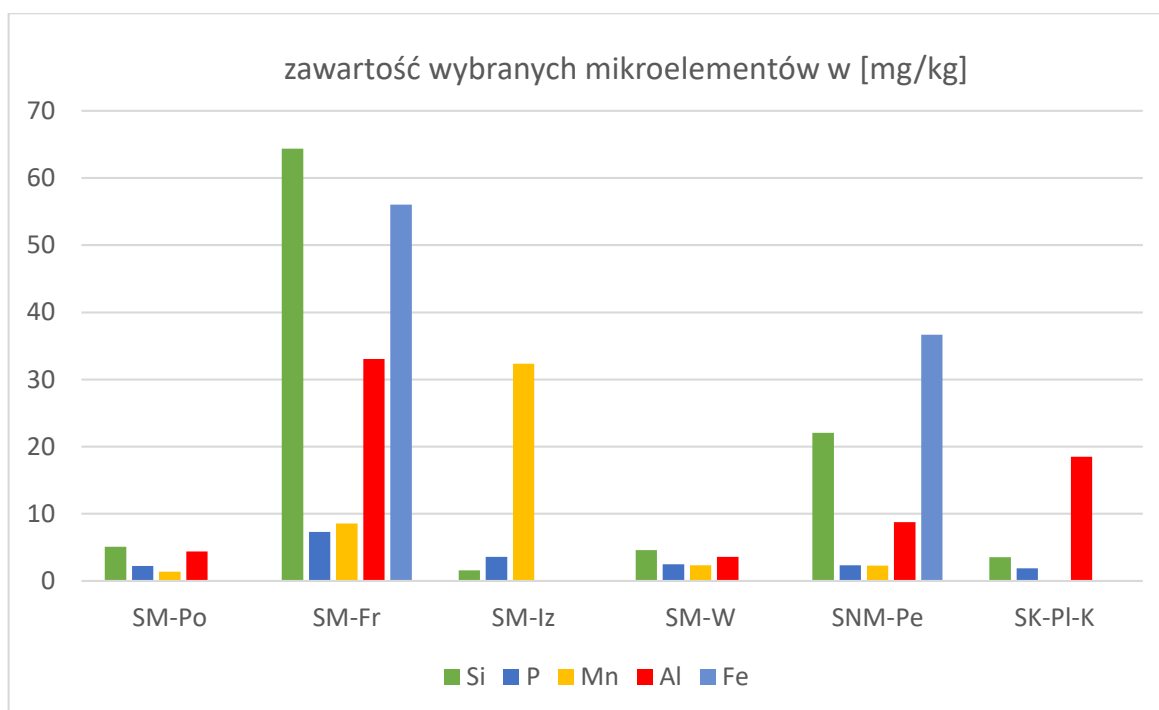
**Tabela 1.** Skład chemiczny badanych 6 soli spożywczych.  
**Table 1.** The chemical composition of the 6 commercial table salts.

rodzaj soli miejsce produkcji kraj pochodzenia salt types production location country	oznaczenie (symbol) sample ID	wyniki w [mg/kg] results [mg/kg]														
		makroelementy macroelements						mikroelementy microelements								
		Ca	Mg	K	S	Si	P	Mn	Al	Zn	Pb	Ni	Fe	Cr	Cu	Cd
sól morską – atlantycka Portugalia sea salt – Atlantic Oc. Portugal	SM-Po	2900	5560	2060	5450	5.1	2.2	1.4	4.4	<DL	<DL	<DL	<DL	0.18	<DL	<DL
sól morską – atlantycka Francja sea salt – Atlantic Oc. France	SM-Fr	4680	6740	1940	8450	64.4	7.3	8.5	33.0	0.11	<DL	56.0	0.28	<DL	<DL	<DL
sól morską – Morze Martwe Izrael sea salt – Dead Sea Israel	SM-Iz	839	413	<DL	636	1.6	3.6	32.3	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL
sól morską Włochy sea salt Italy	SM-W	1510	325	95	1690	4.6	2.5	2.3	3.6	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL
sól nie-morską Peru non-sea salt Peru	SNM-Pe	11800	109	<DL	8380	22.0	2.3	2.3	8.75	3.73	1.7	37.0	<DL	<DL	<DL	<DL
sól kamienna (cechsztyń) Kłodawa, Polska rock salt (Zechsteinian) Kłodawa, Poland	SK-Pl-K RS-Pl-K	4640	20.3	115	4030	3.5	1.9	<DL	18.5	0.05	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL
granica wykrywalności detection limit	DL DL	48	1.1	6.3	4.0	0.47	0.81	0.86	0.5	0.015	0.29	7.9	0.15	0.12	0.075	0.075

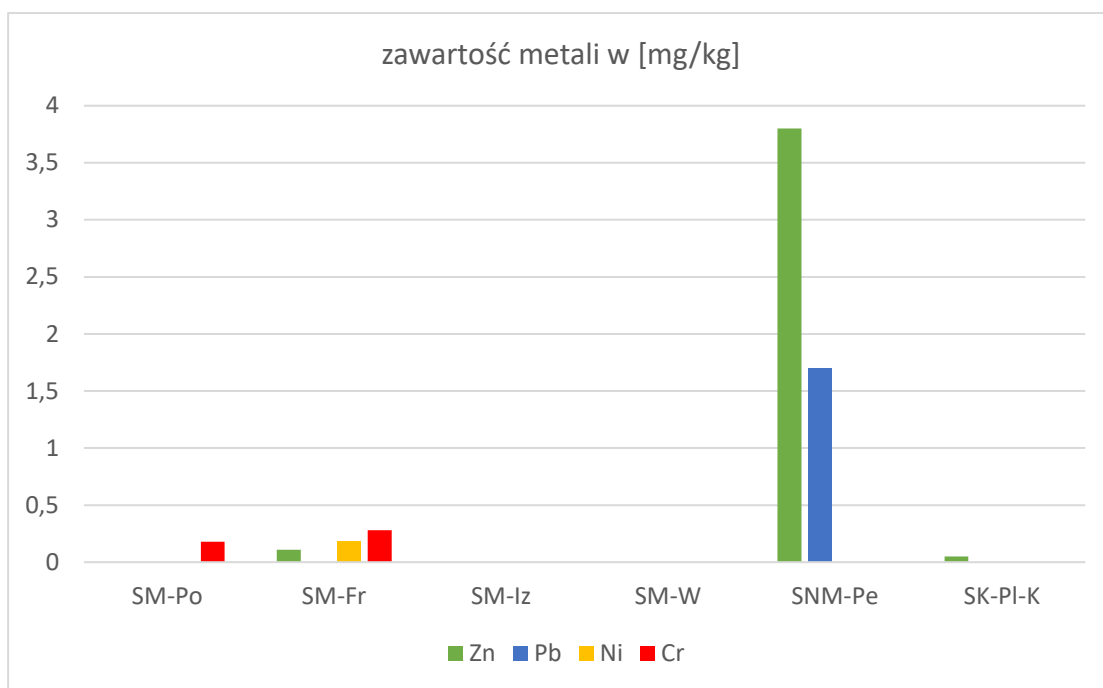
<DL – poniżej granicy wykrywalności  
 <DL – below the detection limit



**Ryc. 2.** Porównanie zawartości makroelementów w badanych solach spożywczych.  
**Fig. 2.** Comparison of the content of macroelements in in studied table salts.



**Ryc. 3.** Porównanie zawartości wybranych mikroelementów w badanych solach spożywczych.  
**Fig. 3.** Comparison of the content of chosen microelements in studied table salts.



Ryc. 4. Porównanie zawartości wybranych metali w badanych solach spożywczych.

Fig. 4. Comparison of the content of metals in chosen table salts.

## 5. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Sól jest niezbędnym elementem diety człowieka, a jej nadmiar, jak i niedobór, jest szkodliwy dla zdrowia. Zaleca się spożycie soli w ilościach około 5–6 g na dzień (WHO, 2003 i 2012; Mancina i in., 2007, 2013; [https://nadcisnienietetnicze.pl/ptnt/wytyczne\\_ptnt](https://nadcisnienietetnicze.pl/ptnt/wytyczne_ptnt)).

Głównymi składnikami soli spożywczych są jony Cl (60,66%) oraz Na (około 39,34%; zob. np. Patnaik, 2002; <http://webmineral.com/data/Halite.shtml>). Oba jony spełniają istotne funkcje w organizmach; przede wszystkim odpowiadają za utrzymanie równowagi wodno-elektrolitowej i kwasowo-zasadowej oraz prawidłowe funkcjonowanie mięśni i układu nerwowego (Stryer i in., 2007; Ross i in., 2014). Pozostałe jony występują w znacząco mniejszych ilościach. Należą do nich makroelementy, takie jak: potas, wapń, magnez, siarka (prezentowana często jako jon siarczanowy) oraz liczna grupa mikroelementów: żelazo, mangan, glin, nikiel, chrom, ołów, kadm, cynk, miedź, i wiele innych (Titler i Curry, 2011; Yalçin i Mutlu, 2012; Nafees i in., 2013).

Wszystkie makroelementy (Ca, Mg, K) są składnikami pożądanymi w diecie człowieka, podobnie jak niemal wszystkie mikroelementy (np. żelazo, mangan, miedź, chrom, cynk) z zaznaczeniem, że ich dawka nie może przekraczać ustalonych norm (np. Jaroszak i in., 2020; Lindhu, 2012; Nordberg i Cherian, 2012, Otten i in., 2006; Zoroddu i in., 2019). Przykładowe zalecane dzienne normy spożycia (RDA – Recommended Dietary Allowances) poszczególnych pierwiastków dla dorosłego człowieka (w zależności od płci i wieku) wynoszą: K – 3500 mg/dobę, Ca – 1000-1200 mg/dobę, Mg – 310-

6 g per day (WHO, 2003 and 2012; Mancina et al., 2007, 2013).

The main components of table salts are Cl ions (60.66%) and Na ions (about 39.34%; see, for example, Patnaik, 2002; <http://webmineral.com/data/Halite.shtml>). Other ions are present in significantly smaller amounts. The latter include macroelements such as potassium, calcium, magnesium, and sulfur (often in the form of sulfate ion), and a large group of microelements: iron, manganese, aluminum, nickel, chromium, lead, cadmium, zinc, copper, and many others (Titler & Curry, 2011; Yalçin & Mutlu, 2012; Nafees et al., 2013). Salt is an essential part of the human diet. It is responsible for the water and acid-base balance of organisms (Stryer et al., 2007), and its excess, as well as deficiency, is harmful to health. A salt intake of about 5-6 g per day is recommended (WHO, 2003; Mancina et al., 2007, 2013).

All macroelements (Ca, Mg, K) are desirable components in the human diet, much like almost all microelements (e.g., iron, manganese, copper, chromium, zinc), with the caveat that their intake must not exceed established norms (e.g., Jaroszak et al., 2020; Lindhu, 2012; Nordberg and Cherian, 2012, Otten et al., 2006; Zoroddu et al., 2019). Sample recommended daily allowances (RDAs) for individual elements for an adult human (depending on gender and age) are as follows: K – 3500 mg/day, Ca – 1000-1200 mg/day, Mg – 310-420 mg/day, Fe – 10-18 mg/day, Mn – 1.8-2.3 mg/day, Cu – 0.9 mg/day, Zn – 8-11 mg/day, P – 700 mg/day (e.g., Jaroszak et al., 2020; Institute of Medicine, Food and Nutrition Board, 2001). The upper safe levels (ULs) for intake are, for instance, 25 mg/day for Zn and 5 mg/day for Cu (EFSA, 2018).

420 mg/dobę, Fe – 10-18 mg/dobę, Mn – 1,8-2,3 mg/dobę, Cu – 0,9 mg/dobę, Zn – 8-11 mg/dobę, P – 700 mg/dobę (np. Jaroszak i in., 2020; Institute of Medicine, Food and Nutrition Board, 2001). Przy czym przykładowy górny bezpieczny poziom spożycia (UL – Upper Safe Level) dla Zn wynosi 25 mg/dobę a dla Cu – 5 mg/dobę (EFSA, 2018).

Niektóre mikroelementy, takie jak: ołów, kadm czy rtęć, są wysoce niepożądane w produktach spożywczych, ze względu na ich toksyczność, silne oddziaływanie mutagenne czy kancerogenne (np. Fowler i in., 2015; Nielsen, 2013, Nordberg i Cherian, 2012). Należy podkreślić, że wymienione pierwiastki są naturalnymi składnikami przyrody (powietrza, wody, gleby) i występują również w ciele człowieka. Dla organizmów niebezpieczna jest akumulacja tych metali ciężkich. Zależy ona od m.in. przyjętej dawki, stąd wyznaczono maksymalne dopuszczalne zawartości tych pierwiastków w produktach spożywczych, w tym również w soli: Cd – 0,5 mg/kg, Pb – 1 mg/kg, Hg – 0,1 mg/kg (General standard for contaminants and toxins in food and feed, revised in 2019; Contaminants Reference Table, 2022).

Wyniki analiz chemicznych wybranych 6 soli spożywczych przedstawia tabela 1; zilustrowano je dodatkowymi rycinami 2-4. Wartości wyrażono w mg/kg, co oznacza, że w tabeli zaprezentowano dawki makro- i mikroelementów, które konsument przyjąłby w ciągu 200 dni (zakładając, że nie przekracza zalecanej dawki 5 g soli dziennie). To znaczy, że w celu określenia dziennej dawki danego pierwiastka, które jest przyjmowana wraz ze spożyciem 5 g soli, uzyskane wartości należy podzielić przez 200.

Zestawienie wyników analiz chemicznych 6 wybranych próbek soli spożywczych wskazuje, że:

(1) w odniesieniu do makroelementów (Ca, Mg, K i S; zob. Tab. 1, Ryc. 2).

**Wapń (Ca):** sól nie-morską, peruwiańską wyróżnia wyjątkowo wysoki udział Ca na poziomie 11800 mg/kg (11,8 g/kg). Zawartość Ca w atlantyckiej soli morskiej pochodzącej z Francji i kłódawskiej soli kamienniej jest porównywalna i wynosi odpowiednio 4680 oraz 4640 mg/kg; sól morska portugalska — zawiera 2900 mg/kg, a sól morska włoska — 1510 mg/kg tego jonu. Najniższy udział Ca odnotowano w soli z Morza Martwego — zaledwie 839 mg/kg.

Zalecana dzienna dawka spożycia Ca wynosi 1000-1200 mg. Zawartość Ca w 5 g soli z Peru wynosi 59 mg, w soli atlantyckiej z Francji — 23,4 mg, a w soli kłódawskiej — 23,2 mg. W pozostałych solach udział Ca jest jeszcze mniejszy.

**Magnez (Mg):** najwięcej jonów Mg znajduje się w atlantyckich solach morskich pochodzących z Francji i Portugalii — odpowiednio 6740 i 5560 mg/kg, znacząco niższe wartości oznaczono w solach morskich z Morza Martwego i z Włoch — odpowiednio 413 i 325 mg/kg, w dalszej kolejności w solach nie-morskich z Peru — zaledwie 109 mg/kg, a najniższa w solach kamiennych z Kłódawy — 20,3 mg/kg.

Some microelements, such as lead, cadmium, or mercury, are highly undesirable in food products due to their toxicity and strong mutagenic or carcinogenic effects (e.g., Fowler et al., 2015; Nielsen, 2013, Nordberg and Cherian, 2012). It should be emphasized that these mentioned elements are natural components of the environment (air, water, soil) and also occur in the human body. The accumulation of these heavy metals is dangerous for organisms. It depends, among other factors, on the ingested dose, which is why maximum permissible contents of these elements have been established in food products, including salt: Cd – 0.5 mg/kg, Pb – 1 mg/kg, Hg – 0.1 mg/kg (General standard for contaminants and toxins in food and feed, revised in 2019; Contaminants Reference Table, 2022).

The results of the chemical analyses of selected 6 table salts are shown in Table 1; they are illustrated in additional Figures 1-3. The values are expressed in mg/kg, which means that the table presents the doses of macro- and microelements that a consumer would take in 200 days (assuming that he or she does not exceed the recommended dose of 5 g of salt per day). To determine the daily intake of a given element with the consumption of 5 grams of salt, the values given in the table should be divided by 200.

A compilation of the results of the chemical analyses of the 6 selected samples of table salts indicates that:

(1) Regarding macroelements (Ca, Mg, K, and S ions; see Tab. 1, Fig. 2):

**Calcium (Ca):** the Peruvian non-sea salt is distinguished by its exceptionally high proportion of Ca ions at the level of 11,800 mg/kg (11.8 g/kg). The contents of the Ca ion in the Atlantic sea salt from France and the Kłodawa rock salt are comparable, at the level of 4,680 and 4,640 mg/kg, respectively; the Portuguese sea salt contains 2,900 mg/kg and the Italian sea salt - 1,510 mg/kg of that ion. The lowest content of Ca ions was found in the Dead Sea salt - just 839 mg/kg.

The recommended daily intake of Ca is 1000-1200 mg. The content of Ca in 5 g of salt from Peru is 59 mg, in Atlantic salt from France, it's 23.4 mg, and in Kłodawa salt, it's 23.2 mg. In other salts, the presence of Ca is even lower.

**Magnesium (Mg):** the highest content of Mg ions was found in the Atlantic sea salts from France and Portugal - 6,740 and 5,560 mg/kg, respectively; significantly lower values were determined in sea salts from the Dead Sea and from Italy - 413 and 325 mg/kg, respectively, followed by non-sea salts from Peru - only 109 mg/kg; the lowest content was determined in the rock salt from Kłodawa - 20.3 mg/kg.

The recommended daily intake of Mg is 310-420 mg. The content of Mg in 5 g of Atlantic salt from France is 33.7 mg, and from Portugal, it's 27.8 mg. In other salts, the presence of Mg is significantly lower.

**Potassium (K):** as with Mg ions, the highest values for the content of K ions were recorded in the Atlantic sea salts from

Zalecana dzienna dawka spożycia Mg wynosi 310-420 mg. Zawartość Mg w 5 g soli atlantyckiej z Francji wynosi 33,7 mg, a z Portugalii — 27,8 mg. W pozostałych solach udział Mg jest znacząco mniejszy.

**Potas (K):** podobnie jak w przypadku Mg największe wartości udziału K odnotowano w atlantyckich solach morskich pochodzących z Francji i Portugalii — odpowiednio 1940 i 2060 mg/kg. W soli kamiennej kłodawskiej oznaczono 115 mg/kg tego jonu, a w solach morskich z Włoch blisko 95,0 mg/kg. W solach morskich z Morza Martwego, jak i solach nie-morskich z Peru, zawartość K była poniżej granicy wykrywalności (tzn. poniżej 6,3 mg/kg).

Zalecana dzienna dawka spożycia K wynosi 3500 mg. Zawartość K w 5 g soli atlantyckich wynosi około 10 mg. W pozostałych solach udział K jest znacząco mniejszy.

**Siarka (S):** najwięcej S znajduje się w atlantyckich solach morskich pochodzących z Francji oraz solach nie-morskich z Peru — odpowiednio 8450 i 8380 mg/kg, następnie w atlantyckich solach morskich pochodzących z Portugalii — 5450 mg/kg oraz w soli kamiennej kłodawskiej — 4030 mg/kg. Najmniej S zawierają sole morskie z Włoch — 1690 mg/kg oraz z Morza Martwego — 636 mg/kg. Siarka w solach powiązana jest głównie z jodem siarczanowym ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

(2) W odniesieniu do mikroelementów (Si, P, Mn, Fe i Al; zob. Tab. 1, Ryc. 3).

**Krzem (Si):** najwięcej Si znajduje się w atlantyckich solach morskich pochodzących z Francji oraz solach nie-morskich z Peru — odpowiednio 64,4 i 22,0 mg/kg. W pozostałych solach udział jonów Si jest porównywalny, przy czym najmniejsze ilości odnotowano w solach morskich z Morza Martwego — około 1,6 mg/kg.

**Fosfor (P):** występuje we wszystkich badanych solach na bardzo zbliżonym poziomie od 7,3 mg/kg w przypadku soli morskich z Francji do 1,9 mg/kg w solach kamiennych kłodawskich.

Zalecana dzienna dawka spożycia P wynosi 700 mg. Zawartość P w 5 g wszystkich typów badanych soli spożywczych wynosi poniżej 0,04 mg.

**Mangan (Mn):** największy udział Mn odnotowano w solach morskich z Morza Martwego, na poziomie 32,3 mg/kg. W solach morskich atlantyckich z Francji zawartość Mn wyniosła około 8,5 mg/kg, podczas gdy w solach z Portugalii — blisko 1,4 mg/kg. W pozostałych solach — soli morskiej z Włoch i soli nie-morskiej z Peru na podobnym poziomie około 2,3 mg/kg. W solach kamiennych kłodawskich zawartość Mn była poniżej granicy wykrywalności (tzn. poniżej 0,86 mg/kg).

Zalecana dzienna dawka spożycia Mn wynosi 1,8-2,3 mg. Zawartość Mn w 5 g soli z Morza Martwego wynosi około 0,16 mg. W pozostałych solach udział Mn jest dużo mniejszy.

**Glin (Al):** największy udział Al odnotowano w solach morskich atlantyckich z Francji — 33,0 mg/kg, następnie w solach kamiennych kłodawskich — 18,5 mg/kg, solach nie-morskich

France and Portugal - 1,940 and 2,060 mg/kg, respectively. In the rock salt from Kłodawa, 115 mg/kg of that ion was determined, and in the sea salts from Italy it was nearly 95.0 mg/kg. In the Dead Sea salts, as well as the non-sea salts from Peru, the content of K ions was below the detection limit.

The recommended daily intake of K is 3500 mg. The content of K in 5 g of Atlantic salts is about 10 mg. In other salts, the presence of K is significantly lower.

**Sulfur (S):** the highest content of S ions was found in the Atlantic sea salts from France and the non-sea salts from Peru - 8,450 and 8,380 mg/kg, respectively, followed by the Atlantic sea salts from Portugal - 5,450 mg/kg and the rock salt from Kłodawa - 4,030 mg/kg. The sea salts from Italy (1,690 mg/kg) and from the Dead Sea (636 mg/kg) contain the lowest amounts of S ions. The sulfur contained in the salts is mainly in the form of the sulfate ion ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

(2) Regarding microelements (Si, P, Mn, Fe, and Al ions; see Tab. 1, Fig. 3):

**Silicon (Si):** the highest content of Si ions was found in the Atlantic sea salts from France and the non-sea salts from Peru - 64.4 and 22.0 mg/kg, respectively. In the other salts, the content of Si ions is comparable, with the smallest amounts recorded in the Dead Sea salts - about 1.6 mg/kg.

**Phosphorus (P):** P ions are found in all the salts tested at very similar levels, ranging from 7.3 mg/kg in the sea salts from France to 1.9 mg/kg in the rock salts from Kłodawa.

The recommended daily intake of P is 700 mg. The content of P in 5 g of all the types of examined edible salts is below 0.04 mg.

**Manganese (Mn):** the highest content of Mn ions was recorded in the Dead Sea salts, at 32.3 mg/kg. The Atlantic sea salts from France had a Mn ion content of about 8.5 mg/kg, while those from Portugal had a Mn ion content of nearly 1.4 mg/kg. In the other salts - the sea salts from Italy and the non-sea salts from Peru, it was at similar levels of about 2.3 mg/kg. The Mn content in the Kłodawa rock salts was below the detection limit.

The recommended daily intake of Mn is 1.8-2.3 mg. The content of Mn in 5 g of Dead Sea salt is approximately 0.16 mg. In other salts, the presence of Mn is much lower.

**Aluminum (Al):** the highest content of Al ions was found in the Atlantic sea salts from France - 33.0 mg/kg, followed by the Kłodawa rock salts - 18.5 mg/kg, the non-sea salts from Peru - 8.75 mg/kg, the Atlantic sea salts from Portugal - 4.4 mg/kg, and the sea salts from Italy - 3.6 mg/kg. In the Dead Sea salts, the content of Al ions was below the detection limit.

**Iron (Fe):** the content of Fe ions was determined in the Atlantic sea salts from France - at 56.0 mg/kg - and in the non-sea salts from Peru - 37.0 mg/kg. In the remaining salts, the content of Fe ions was below the detection limit.



z Peru — 8,75 mg/kg, w solach morskich atlantyckich z Portugalii — 4,4 mg/kg i solach morskich z Włoch — 3,6 mg/kg. W solach morskich z Morza Martwego zawartość Al była poniżej granicy wykrywalności (tzn. poniżej 0,5 mg/kg).

**Żelazo (Fe):** zawartość Fe oznaczono w solach morskich atlantyckich z Francji — na poziomie 56,0 mg/kg oraz w solach nie-morskich z Peru — 37,0 mg/kg. W pozostałych solach udział Fe był poniżej granicy wykrywalności (tzn. poniżej 7,9 mg/kg).

Zalecana dzienna dawka spożycia Fe wynosi 10-18 mg. Zawartość Fe w 5 g soli atlantyckiej z Francji wynosi 0,28 mg, a w soli z Peru — 0,19 mg.

W odniesieniu do pozostałych metali (Zn, Pb, Ni i Cr; zob. Tab. 1, Ryc. 4).

Zn oznaczono w solach nie-morskich z Peru — 3,73 mg/kg, w solach morskich atlantyckich z Francji — na poziomie około 0,11 mg/kg oraz w solach kamiennych kłodawskich — 0,05 mg/kg. W pozostałych solach udział Zn był poniżej granicy wykrywalności (tzn. poniżej 0,015 mg/kg).

Zalecana dzienna dawka spożycia Zn wynosi 8-11 mg, przy czym nie powinna przekraczać 25 mg. Zawartość Zn w 5 g soli z Peru wynosi nie więcej niż 0,02 mg. W pozostałych solach udział Zn jest znacząco mniejszy.

Ni oznaczono tylko w solach morskich atlantyckich z Francji — na poziomie około 0,18 mg/kg. Cr oznaczono jedynie w atlantyckich solach morskich pochodzących z Francji i Portugalii — odpowiednio 0,28 i 0,18 mg/kg.

Pb oznaczono tylko w solach nie-morskich z Peru — na poziomie 1,70 mg/kg; wartość ta przekracza ustalony limit dla tego pierwiastka wyznaczony na poziomie 1 mg/kg dla soli (General standard for contaminants and toxins in food and feed, revised in 2019; Contaminants Reference Table, 2022).

Udział Cu i Cd we wszystkich solach był poniżej granicy wykrywalności — odpowiednio poniżej 0,12 i 0,075 mg/kg, co oznacza, że w przypadku Cd w żadnej soli nie została przekroczona maksymalna zawartość tego pierwiastka wyznaczona na poziomie 0,5 mg/kg.

## 6. PODSUMOWANIE

Przebadane sole spożywcze cechują się różnorodnymi wartościami oznaczonych pierwiastków. Wysoki lub najwyższy udział pierwiastków Mg, K, S, Si, Fe, Al, Cr odnotowano w morskich solach z Francji, pozyskiwanych z wód Atlantyku. Ustępują im pod tym względem morskie sole z Portugalii, również pozyskiwane z Atlantyku, które notują wysoki udział pierwiastków Mg, K, Cr. Wyróżniają się także sole nie-morskie z Peru, które charakteryzuje wyjątkowo wysoki udział pierwiastków Ca, Zn oraz Pb i wysoki udział pierwiastków S, Si, Fe. Sole kamiennie kłodawskie na tym tle plasują się pośrodku pod względem zawartości makroelementów i wykazują zazwyczaj niskie zawartości metali lub ich zawartość jest poniżej granicy wykrywal-

He recommended daily intake of Fe is 10-18 mg. The content of Fe in 5 g of Atlantic salt from France is 0.28 mg, and in salt from Peru, it's 0.19 mg.

Regarding other metals (Zn, Pb, Ni, and Cr ions; see Tab. 1, Fig. 4):

Zn ions were determined in the non-sea salts from Peru - 3.73 mg/kg, in the Atlantic sea salts from France - at the level of about 0.11 mg/kg, and in the Kłodawa rock salts - 0.05 mg/kg. In the remaining salts, the content of Zn ions was below the detection limit.

The recommended daily intake of Zn is 8-11 mg, with an upper limit of 25 mg. The content of Zn in 5 g of salt from Peru is no more than 0.02 mg. In other salts, the presence of Zn is significantly lower.

Ni ions were determined only in the Atlantic sea salts from France, at about 0.18 mg/kg. Cr ions were determined only in the Atlantic sea salts from France and Portugal - 0.28 and about 0.18 mg/kg, respectively. Pb ions were determined only in the non-sea salts from Peru, at 1.70 mg/kg, this value exceeds the established limit for this element set at 1 mg/kg for salt (General standard for contaminants and toxins in food and feed, revised in 2019; Contaminants Reference Table, 2022).

The presence of Cu and Cd in all salts was below the detection limit, respectively below 0.12 and 0.075 mg/kg, which means that for Cd, the maximum content level of 0.5 mg/kg was not exceeded in any of the salts.

## 6. SUMMARY

The tested table salts are characterized by various contents of the ions determined. A high or the highest content of Mg, K, S, Si, Fe, Al, and Cr ions was recorded in the sea salts from France, which are produced from the water of the Atlantic Ocean. Inferior to them in this regard are the sea salts from Portugal, also produced from the water of the Atlantic ocean, which show a high content of Mg, K, and Cr ions. The non-sea salts from Peru also stand out, with an exceptionally high content of Ca, Zn, and Pb ions, and a high content of S, Si, and Fe ions. In comparison, the Kłodawa rock salts rank in the middle in terms of the content of macroelements and tend to have a low content of metal ions, or their metal content is below the detection limit. The biggest surprise is the very low (or below the detection limit) content of the tested ions in the Dead Sea salts, with the exception of the Mn ion.

In general, table salts (whether sea or rock salts) are primarily a fundamental source of sodium and chloride ions necessary for the proper functioning of the human body. The other macro- and microelements they contain, considering the daily salt intake level of about 5 g, do not constitute a key source of individual elements in the human diet. Table salts can only be considered as products that, in a few cases, slightly supplement the daily body requirements for certain

ności. Największym zaskoczeniem jest bardzo niski (lub poniżej granicy wykrywalności) udział badanych pierwiastków w badanych solach z Morza Martwego; wyjątkiem jest Mn.

Generalnie sole spożywcze (morskie, czy też kamienne) są przede wszystkim podstawowym źródłem jonów sodu i chloru niezbędnych dla prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka. Pozostałe zawarte w nich makro- i mikroelementy, uwzględniając dzienną dawkę spożycia soli na poziomie 5 g, nie stanowią kluczowego źródła poszczególnych pierwiastków w diecie ludzi. Sole spożywcze tylko w kilku przypadkach można uznać, za produkt, który w niewielkim stopniu uzupełni codzienne zapotrzebowanie organizmu na wybrane pierwiastki. Wśród badanych 6 typów soli spożywczych, wyróżniają się sole morskie pochodzenia atlantyckiego. Dzienna dawka soli morskich z Francji może dostarczyć około 10 % codziennego zapotrzebowania na Mg i około 2% — na Fe. Sole morskie z Morza Martwego mogą dostarczyć niespełna 10% codziennego zapotrzebowania na Mn. Natomiast sole z Peru uzupełnią codzienne zapotrzebowanie Ca na poziomie około 6%. Przy czym jednocześnie sole te jako jedyne wykazują wysoki udział Pb, znacznie przekraczając wyznaczony górny limit zawartości tego metalu w solach (aż o 70%).

elements. Among the 6 types of examined table salts, sea salts of Atlantic origin stand out. The daily intake of sea salt from France can provide about 10% of the daily magnesium requirement and about 2% of the iron requirement. Dead Sea salts can provide just under 10% of the daily manganese requirement. Meanwhile, salts from Peru can supplement the daily calcium requirement by approximately 6%. However, these salts also exhibit a high content of lead (Pb), significantly exceeding the established upper limit for the presence of this metal in salts (by as much as 70%).

## LITERATURA/REFERENCES

- FOWLER B.A., ALEXANDER J., OSKARSSON A., 2015. Toxic Metals in Food. Handbook on the toxicology of metals, vol. 1: 123-140. Elsevier, Amsterdam.
- JAROSZ M., RYCHLIK E., STOŚ K., CHARZEWSKA J. (red.), 2020. Normy żywienia dla populacji Polski i ich zastosowanie. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny.
- LINDH U., 2012. Biological functions of the elements. *Essentials of Medical Geology*, 129-177. Springer.
- MANCIA G. i in., 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. <https://academic.oup.com/eurheartj/article/28/12/1462/2844990#56889485>
- MANCIA G. 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.
- NIELSEN F.N., 2013. Ultratrace elements. *Encyclopedia of human nutrition*, vol. 4: 299-311. Elsevier.
- NORDBERG M., CHERIAN G.M., 2012. Biological Responses of Elements. *Essentials of Medical Geology*, 195-216. Springer.
- OTTEN J.J., HELLWING J.P., MEYERS L.D. (ed.), 2006. Dietary Reference Intakes. The essential guide to nutrients requirements. Institute of Medicine of National Academies. The National Academies Press, Washington, D.C.
- PATNAIK P., 2002. Handbook of Inorganic Chemicals. New York, NY: McGraw-Hill Professional.
- ROSS C., COUSINS R.J., CABALLERO B. (red.), 2014. Modern Nutrition in Health and Disease. Wolters Kluwer Health, Lippincott Williams & Wilkins.
- STRYER L., TYMOCZKO J.L., BERG J.M., 2007. Biochemia. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- TITLER R.V., CURRY P., 2011. Chemical analysis of major constituents and trace contaminants of rock salt. Pennsylvania Department of Environmental Protection.
- WARREN J., 2006. Evaporites: Sediments, resources, and hydrocarbons. Springer, Berlin.
- 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.
- ZHARKOV M.A., 1981. History of Paleozoic salt accumulation. Springer, Berlin.
- ZHARKOV M.A., 1984. Paleozoic salt bearing formations of the world. Springer, Berlin.
- ZORODDU M.A., AASETH J., CRISPONI G., MEDICI S., PEANA M., NURCHI V.M., 2019. The essential metals for humans: a brief overview. *Journal of Inorganic Biochemistry* 195: 120–129.
- Contaminants Reference Table, 2022. Codex maximum permitted limit (Codex ML) for Contaminants in Food and Feed. <https://www.unicef.org/supply/media/16436/file/Contaminants-List.pdf>

- General standard for contaminants and toxins in food and feed CXS 193-1995; revised in 2019) [https://www.fao.org/fao-who-codex-alimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS\\_193e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codex-alimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS_193e.pdf)
- Institute of Medicine, Food and Nutrition Board, 2001. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington, DC: National Academies Press. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25057538/>
- EFSA, 2018. Summary of Tolerable Upper Intake Levels, version 4, European Food Safety Authority. [https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/assets/UL\\_Summary\\_tables.pdf](https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/assets/UL_Summary_tables.pdf)
- WHO, 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a Joint FAO/WHO expert consultation. Geneva, World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42665>
- WHO, 2012. Guideline. Sodium intake for adults and children. WHO, Geneva, World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241504836>
- <http://webmineral.com/data/Halite.shtml>
- [https://nadcisnienietetnicze.pl/ptnt/wytyczne\\_ptnt](https://nadcisnienietetnicze.pl/ptnt/wytyczne_ptnt)