

Spadek zasolenia Morza Bałtyckiego jako naturalne zjawisko

Tomasz Borowski, Tadeusz Hryniewicz
Politechnika Koszalińska

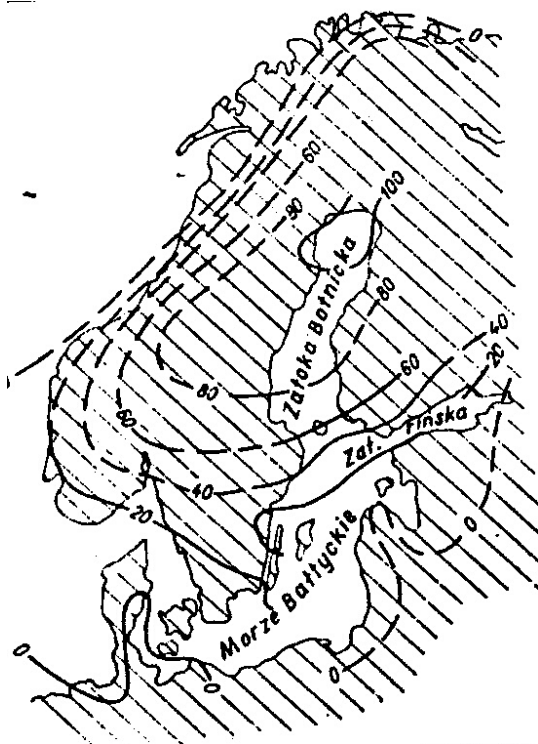
1. Wstęp

Aby udowodnić, że obecne Morze Bałtyckie stopniowo obniża swoje zasolenie, trzeba się trochę cofnąć w historię geologiczną ziemi, w tym w szczególności płyty skandynawskiej. Występujące w naturze pionowe ruchy górotwórcze płaszcza skandynawskiego są główną przyczyną spadku zasolenia Morze Bałtyckiego.

Już w XVIII wieku A. Celsius (1743) zaobserwował podnoszenie się północnego wybrzeża bałtyckiego i wyliczył że w okresie 100 lat wypiętrzanie się wynosi 1 metr. Największe wypiętrzanie zostało zaobserwowane na zachodnim wybrzeżu Zatoki Botnickiej (około 1 cm na rok). To zjawisko trwa od tysięcy lat. Miejscowości położone niegdyś nad wybrzeżem Zatoki Botnickiej, dzisiaj są oddalone od morza, a także są położone znacznie wyżej ponad poziomem morza.

2. Pionowe ruchy górotwórcze

Na pozór wydaje się, że ruchy lądowórcze, takie jak ruchy pionowe i poziome są mało istotne, w porównaniu z ruchami lądowórczymi charakteryzującymi się trzęsieniami ziemi lub wybuchami wulkanów, gdzie można zaobserwować tworzenie się lądu w bardzo krótkim czasie. Dobrym przykładem ruchów pionowych czyli *epeirogeniczných* jest zaobserwowane wypiętrzanie się Skandynawii. Obszar wypiętrzania Skandynawii pokrywa się z czaszą lodową ostatniego zlodowacenia. Ocenia się, że maksymalne wypiętrzanie Skandynawii mieści się w granicach od 200 do 300 metrów [1] w czasie ostatnich 10000 lat. Ten stan wypiętrzania trwa nadal. Rysunek 1 pokazuje obecny stan wypiętrzania się Skandynawii.



Rys. 1. Współczesne podnoszenie się Fennoskandynawii w centymetrach na stulecie, wg Sauramo, za [4]

Fig. 1. Contemporary lifting of Fennoscandinavia in cm per century, acc. to Sauramo, after [4]

Szacuje się, że obecnie wypiętrzanie Skandynawii wynosi od ponad 10 cm do 1 cm na rok (rysunek 1). Ruch taki jest dowodem, że w czasie zlodowacenia została naruszona równowaga w skorupie ziemskiej.

Ostatnie zlodowacenie, które pokrywało Skandynawię o skorupie lodu grubości ponad 1000 metrów spowodowało przemieszczenie lądu w głąb półwyspu, który teraz powoli powraca do stanu sprzed zlodowacenia. W miejscach, gdzie była najgrubsza pokrywa lodowa powstało największe wypiętrzanie (Zatoka Botnicka) [2,3].

Takie wypiętrzanie obserwowane jest nie tylko w Skandynawii. Podobne zjawiska występują także w Ameryce Północnej, w okolicy Zatoki Hudsona (2 m na stulecie) [4]. Czołowy polski polarnik Krzysztof Birkenmajer w czasie pobytu na Spitsbergenie obliczył, że w okolicy fiordu Hornsund ląd wypiętrzył się o 2,3 metra w ostatnim stuleciu [1].

W wyniku szczegółowych pomiarów wypiętrzania się Skandynawii stwierdzono, że maksymalne wypiętrzenie miało miejsce zaraz po stopieniu lodolodu, co przedstawia poniższa tabela 1.

Tabela 1. Ruch wypiętrzający Fennoskandynawii [4]

Table 1. Lifting movement in Fennoscandinavia [4]

6800 lat p.n.e.	13,0 cm/rok
6000 lat p.n.e.	6,7 cm/rok
5000 lat p.n.e.	3,9 cm/rok
4000 lat p.n.e.	2,7 cm/rok
3000 lat p.n.e.	2,2 cm/rok
2000 lat p.n.e.	1,8 cm/rok
1000 lat n.e.	1,1 cm/rok

Jeżeli przyjąć, że wypiętrzanie będzie nadal trwało, lecz z tendencją malejącą (tabela 1), to można policzyć, że za 10000 lat Fennoskandynawia podniesie się jeszcze o około 200 metrów. Skutkiem takich ruchów Zatoka Botnicka może przekształcić się w jezioro.

3. Zmiany poziomu południowego Morza Bałtyckiego

Różne czynniki wpływają na głębokość morza. Ocieplenie klimatu i topnienie lodowców oraz wypiętrzanie Skandynawii są głównymi przyczynami zmian poziomu morza. Północna część Morza Bałtyckiego w wyniku wypiętrzania staje się coraz płytsza, natomiast w części południowej tego morza następuje obniżanie się lądu. W wyniku takiego przechyłu lądu w obrębie basenu morskiego, wody południowego Morza Bałtyckiego powodują zalanie i zatopienie coraz większych terenów. Jednym z niezaprzeczalnych dowodów są ruiny w Trzęsaczu. Przed wiekami w Trzęsaczu zbudowano kościół, który był oddalony od brzegu o około 1800 metrów a obecnie jego ostatni fragment znajduje się na skarpie bezpośrednio nad morzem. W ostatnim ćwierćwieczu został odnotowany stały przyrost wód przybrzeżnych polskiego wybrzeża. W latach 1960-1983 poziom wód podniósł się w Świnoujściu o 2,5 cm, w Kołobrzegu o 2,5 cm, w Gdańsku o 5 cm (tabela 2).

Tabela 2. Zmiany poziomu Morza Bałtyckiego w latach 1881÷1985 [5]**Table 2.** Changes in the Baltic Sea level during 1881÷1995 [5]

Okres obserwacji [lata]	Świnoujście		Kołobrzeg	
	H [cm]	ΔH [cm]	H [cm]	ΔH [cm]
1881÷1890	448,0	- 4,0	487,0	- 8,0
1900÷1910	491,0	- 1,0	493,0	- 2,0
1960÷1980	497,5	+ 5,5	498,5	+ 3,5
1970÷1980	497,0	+ 5,0	498,5	+ 3,5
1980÷1985	500,0	+ 8,0	501,0	+ 6,0
1881÷1985	492,0	+ 12	495,0	+ 14,0

Okres obserwacji [lata]	Ustka		Gdańsk	
	H [cm]	ΔH [cm]	H [cm]	ΔH [cm]
1881÷1890	–	–	491,5	- 8,9
1900÷1910	494,5	- 3,5	497,0	- 3,4
1960÷1980	499,0	+ 1,0	503,0	+ 2,6
1970÷1980	500,0	+ 2,0	506,0	+ 5,6
1980÷1985	–	–	508,0	+ 7,6
1881÷1985	498,0*	+ 5,5*	500,4	+ 16,5

* – Okres lat 1900÷1980.

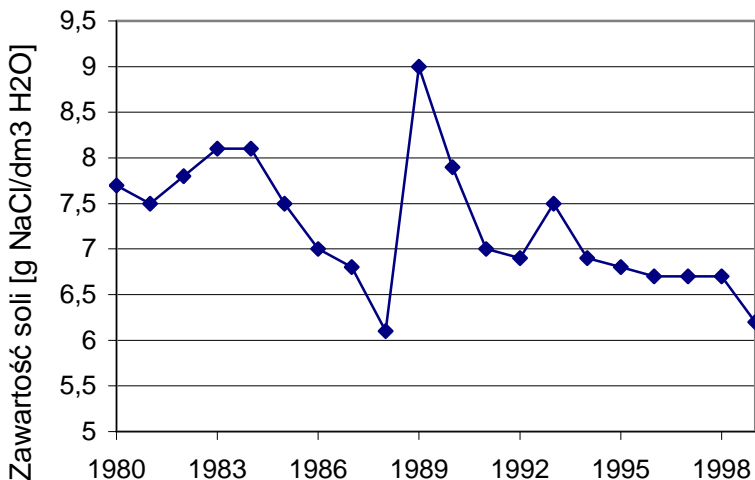
- (minus) – poziom poniżej średniej z okresu 1881÷1985

+ (plus) – poziom powyżej średniej z okresu 1881÷1985

4. Stan zasolenia południowego Morza Bałtyckiego

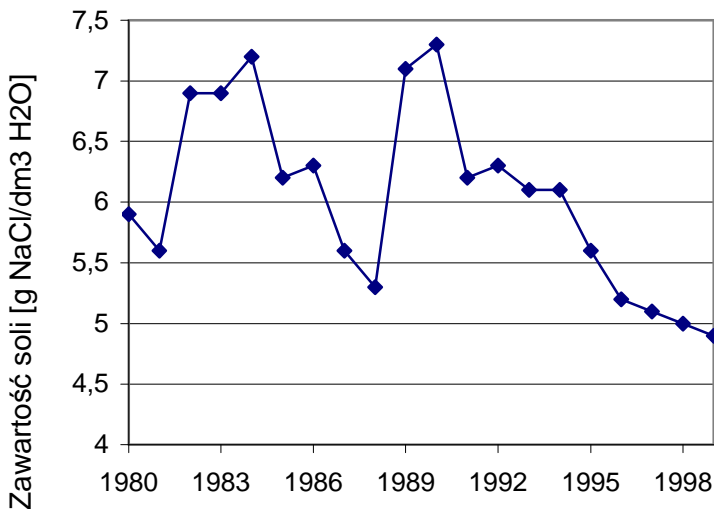
Zasolenie Morza Bałtyckiego w okresie ostatnich dwudziestu lat systematycznie spada. Wypiętrzanie się płaszcza skandynawskiego powoduje, że Cieśniny Duńskie są coraz płytsze. Skutkiem tego wypiętrzania jest powolne, ale systematyczne zmniejszanie się zasilania Morza Bałtyckiego przez wody Morza Północnego o znacznie wyższej zawartości soli.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiona jest charakterystyka zasolenia Zatoki Pomorskiej w latach 1980÷1999 [6].



Rys. 2. Zasolenie Zatoki Pomorskiej w okresie 1980÷1999; wartości średnie roczne w warstwie dennej [6]

Fig. 2. Salinity of Pomerania Bay during 1980÷1999; mean annual values in the bottom layer [6]



Rys. 3. Zasolenie Zatoki Pomorskiej w okresie 1980÷1999; wartości średnie roczne w warstwie powierzchniowej [6]

Fig. 3. Salinity of Pomerania Bay during 1980÷1999; mean annual values in the top layer [6]

5. Badania własne

5.1. Oznaczanie zawartości metali w wodzie morskiej

Oznaczanie metali w wodzie morskiej wykonano techniką absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS). Do tego celu stosowano spektrometr marki Philips 9100X. Próby zakwaszono do pH=2, stosując stężony kwas azotowy (V). Następnie próby zateżano ośmiokrotnie poprzez odparowanie. Materiał wprowadzono bezpośrednio do aparatu. W celu obniżenia granicy oznaczalności kadmu i ołowiu zastosowano tzw. pułapkę atomów, która pozwoliła na około 3-krotne obniżenie tej granicy.

Metale alkaliczne oznaczono bez wcześniejszego zateżania. W celu wyeliminowania efektów jonizacji, roztwory tych metali buforowano:

- roztworem lantanu – związki wapnia i magnezu,
- roztworem sodu – związki potasu,
- roztworem potasu – związki sodu.

W tabeli 3 zestawiono wyniki badań metali ciężkich i alkalicznych w wodzie morskiej pobranej z plaży w Mielnie koło Koszalina w okresach: listopad 2002, styczeń 2003, oraz marzec 2003.

Granica oznaczalności dla sodu wynosi 0,013 mg/dm³.

Tabela 3. Zawartość metali w wodzie morskiej w Bałtyku

Table 3. Contents of metals in the sea water of Baltic

Metal	Zawartość w listopadzie 2002, [mg/dm ³]	Zawartość w styczniu 2003, [mg/dm ³]	Zawartość w marcu 2003, [mg/dm ³]
Miedź	0,014	0,012	0,016
Kadm	n.w.	n.w.	n.w.
Chrom	n.w.	n.w.	n.w.
Nikiel	n.w.	0,059	0,053
Ołów	0,031	0,034	0,025
Cynk	0,048	0,007	0,012
Mangan	0,014	0,014	0,021
Żelazo	n.w.	0,109	0,156
Wapń	88,87	87,30	66,30
Potas	74,45	72,96	79,15
Sód	1765,00	1489,70	2040,00
Magnez	216,00	129,89	189,00

n.w. oznacza „nie stwierdzono”

5.2. Oznaczanie anionów w wodzie morskiej

Wyniki oznaczania anionów w wodzie morskiej zostały wykonane dla następujących soli:

- (a) chlorki – oznaczono metodą Mohra,
- (b) siarczany – oznaczono metodą wagową w postaci BaSO_4 ; metoda ta polega na strąceniu jonów siarczanowych chlorkiem baru w środowisku rozcieńczonego kwasu solnego.

W tabeli 4 zostały przedstawione wyniki oznaczania anionów w wodzie morskiej pobranej z plaży w Mielnie koło Koszalina, w okresie: listopad 2002, styczeń 2003, oraz marzec 2003.

Tabela 4. Zawartość anionów w wodzie morskiej w Bałtyku

Table 4. Contents of anions in the sea water of Baltic

Składnik	Listopad 2002	Styczeń 2003	Marzec 2003
Siarczany, $[\text{SO}_4^{2-}]$, mg/dm^3	527,4	570	530
Chlorki, $[\text{Cl}^-]$, mg/dm^3	3540	3580	3800

Dopuszczalny błąd względny analizy wynosi 5%.

Porównując wyżej wymienione wyniki podane w tabelach 3 i 4 ze średnim standardowym składem wody morskiej (tabela 5) [7,8], można ocenić średnią zawartości chlorku sodu w wodzie morskiej (Południowy Bałtyk).

Tabela 5. Standardowy skład wody morskiej [7,8]

Table 5. Standard composition of sea water [7,8]

Związek chemiczny	Zawartość w 1000 ml wody, $[\text{g}/\text{dm}^3]$
NaCl	24,53
MgCl_2	5,20
Na_2SO_4	4,09
CaCl_2	1,16
KCl	0,695
NaHCO_3	0,201
KBr	0,101
H_3BO_4	0,027
SrCl_2	0,025
NaF	0,003

W obliczeniach zasolenia wód południowego Bałtyku z okolic Mielna posłużono się zaleceniami podanymi w literaturze [9]: w 1 molu NaCl znajduje się $23 \text{ g} [\text{Na}^+] + 35 \text{ g} (\text{Cl}^-) = 58 \text{ g} [\text{NaCl}]$.

Zatem jeśli w wodzie morskiej z Bałtyku w listopadzie 2002 roku zawartość jonów sodu wynosiła $1,7650 \text{ g/dm}^3 [\text{Na}^+]$, to z proporcji:

$$\begin{array}{rcl} 23 \text{ g} [\text{Na}^+] & - & 58 \text{ g} [\text{NaCl}] \\ 1,7650 \text{ g} [\text{Na}^+] & - & x \end{array}$$

$$x = 4,45 \text{ g/dm}^3 [\text{NaCl}].$$

Pozostała ilość jonów chlorkowych pochodzi od innych związków.

Podobnie, jeśli w wodzie morskiej z Bałtyku w styczniu 2003 roku zawartość jonów sodu wynosiła $1,49 \text{ g/dm}^3 [\text{Na}^+]$, to z proporcji:

$$\begin{array}{rcl} 23 \text{ g} [\text{Na}^+] & - & 58 \text{ g} [\text{NaCl}] \\ 1,49 \text{ g} [\text{Na}^+] & - & x \end{array}$$

$$x = 3,76 \text{ g/dm}^3 [\text{NaCl}].$$

Pozostała ilość jonów chlorkowych pochodzi od innych związków.

Jeżeli w wodzie morskiej z Bałtyku w marcu 2003 roku zawartość jonów sodu wynosiła $1,49 \text{ g/dm}^3 [\text{Na}^+]$, to z proporcji:

$$\begin{array}{rcl} 23 \text{ g} [\text{Na}^+] & - & 58 \text{ g} [\text{NaCl}] \\ 2,04 \text{ g} [\text{Na}^+] & - & x \end{array}$$

$$x = 5,14 \text{ g/dm}^3 [\text{NaCl}].$$

Pozostała ilość jonów chlorkowych pochodzi od innych związków.

Można z pewnym prawdopodobieństwem przyjąć, że średnie zasolenie wody morskiej w wodach przybrzeżnych w miejscowości Mielno jest następujące:

- w okresie listopada 2002 zasolenie wody morskiej $[\text{NaCl}]$ wynosiło około $4,4 \text{ g/dm}^3$,
- w okresie stycznia 2003 zasolenie wody morskiej $[\text{NaCl}]$ wynosiło około $3,8 \text{ g/dm}^3$,
- w okresie marca 2003 zasolenie wody morskiej $[\text{NaCl}]$ wynosiło około $5,1 \text{ g/dm}^3$.

Zmniejszone zasolenie wody morskiej w styczniu może być wynikiem pobrania próbek wraz z cząstkami lodu powstałymi w strefie przybrzeżnej na skutek stosunkowo niskiej temperatury wody w badanym okresie. Zbadane wartości zawartości soli NaCl, wynoszące w badanym okresie na przełomie roku 2002/2003 średnio $4,4 \text{ g/dm}^3$ są o około 10% niższe niż te oznaczone przy powierzchni lustra wody w Zatoce Pomorskiej [6] przed czterema laty.

6. Wnioski

1. Jest faktem, że zasolenie wody morskiej w Bałtyku systematycznie spada. Przyjmując, że średni standardowy skład wód oceanicznych pod względem zasolenia [NaCl] wynosi $24,53 \text{ g/dm}^3$ [7,8], można wnioskować, że Morze Bałtyckie w coraz większym stopniu staje się morzem słodkowodnym.
2. Porównując wyniki z okresu lat 1980÷1999 [6] oraz z przełomu lat 2002/2003 można stwierdzić, że zasolenie Południowego Bałtyku w okolicach Mielna, jest znacznie mniejsze niż zasolenie Zatoki Pomorskiej. Powodem tego może być większe oddalenie Mielna od cieśnin duńskich niż Zatoki Pomorskiej.
3. Wypiętrzanie się Skandynawii powoduje spływanie morza w rejonie cieśnin duńskich oraz mniejszy dopływ wód oceanicznych, co skutkuje zmniejszaniem się zasolenia wód Bałtyku. Płyta Skandynawii przechyla się co powoduje podnoszenie się poziomu morza na południu Bałtyku, a obniżenie poziomu morza na północy (Zatoka Botnicka). W wyniku tego zjawiska geologicznego polskie wybrzeże pochłaniane jest przez wody Bałtyku (ruiny kościoła w Trzęsaczu).
4. Naturalne zjawiska geologiczne, na które człowiek nie ma wpływu, wskazują na konieczność dostosowania się ludności zamieszkałej w rejonach przybrzeżnych polskiej części Morza Bałtyckiego do zmian środowiskowych, bez możliwości istotnego wpływania na te zmiany.

Literatura

1. **Maślankiewicz K.**, *Ziemia*, P.W. „Wiedza Powszechna”, Warszawa 1970, 54÷59
2. **Szczepanik T.**, *Geologia Dynamiczna*, Wyd. Geologiczne, Warszawa 1977, 337÷341
3. Praca Zbiorowa, *Zarys Nauk Geologicznych*, Wyd. Geologiczne, Warszawa 1968, 326÷328
4. **Książkiewicz M.**, *Geologia Dynamiczna*, Wyd. Geologiczne, Warszawa 1968, 490÷495
5. **Zawadzka-Kahlau E.**, *Tendencje rozwojowe polskich brzegów Bałtyku południowego*, Wyd. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk 1999, 19÷22
6. **Praca Zbiorowa**, *Raport o stanie środowiska w województwie zachodniopomorskim w roku 1999*, Wyd. Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2000, 55÷57
7. **Hryniewicz T.**, *Elektrochemia powierzchni*, Politechnika Koszalińska, Koszalin 1998 (praca niepublikowana)
8. **Sato N.**, *Toward a More Fundamental Understanding of Corrosion Processes*, Corrosion – The Journal of Science and Engineering, 1989, 45(5), 354÷368
9. **Pazdro Z., Kozerski B.**, *Hydro-geologia ogólna*, WG Warszawa 1990, 151

Decrease of Salinity of the Baltic Sea as Natural Phenomenon

Abstract

One of the main reasons of glaciation as well as lifting of land massifs is the varying distance from the earth to the sun equaling on average about 149 675 000 km. The earth rotates on the trajectory very close to the ellipse. Earth orbit changes with the eccentricity reaching its maximum value of 21 million km. This way the amount of heat coming from the sun is varying although some other factors also affect the formation of glaciers. The inclination of the earth's rotation axis to the orbit is also important and it changes from 22°6' to 24°50' during 40400 years. At present this inclination is 23°27'. Precession movement and higher mentioned phenomena are the main factors affecting the changes in climate on the earth.

The earth shell undergoes continuous deformations. This phenomenon was first observed by Pratt and Airy. They claimed that equilibrium state in the earth shell may be unsettled. Lifting of lands of Scandinavia, Hudson Bay, Greenland, Antarctic, Alaska, Alps, etc. results in depressions in other sites of the earth, like Netherlands, north-west coast of Germany, Bavaria, England, Normandy, Brittany, North Sea, etc.

In order to prove that the salinity in the Baltic Sea is decreasing one should move back in the history of earth geology, concerning specifically the Scandinavia sheath. The vertical/upright tectonic movements of the Scandinavia sheath are the main reason of the decrease in salinity of the Baltic Sea. In the 18th century A. Celsius (1743) observed the lifting of the Baltic coast and he calculated that its magnitude was about 1 meter per 100 years. The highest lifting has been observed on the west coast of Bothnia Bay (about 1 centimeter per year). This phenomenon has lasted for thousands years now. Centuries ago the localities lying on the Scandinavia coast are now away from the sea side, situated also quite high over the sea level.

The lifting of Scandinavia causes shallowing of the Baltic Sea in the region of the Danish Straits as well as lower inflow of oceanic waters, which results in lowering of salinity of the Baltic Sea. The Scandinavia sheath inclines, which causes elevation of sea level in the southern part of the Baltic Sea, abatement of the sea level in the north (Bothnia Bay). As a result of this geological phenomenon Polish coast is engulfed by the water of the Baltic Sea (ruins of Trzęsacz church).

It is fact that salinity of the Baltic Sea water is systematically decreasing. Assuming, that mean standard composition of oceanic waters, taking into account salinity [NaCl] is 24,53 g/dm³ [7,8], conclusion is, that the Baltic Sea becomes freshwater sea in higher and higher degree.

The authors' studies of the salinity of the Baltic Sea water sampled on the beach of Mielno on the edge of 2002/2003 and in March 2003 indicate that its value is much less than that reported during last two decades of the 20th century for the Pomerania Bay. Taking into account a greater distance from the Danish Straits to Mielno it is still a very low value proving of the continuous desalination of the Baltic Sea.