

WPŁYW WEZBRAŃ SZTORMOWYCH MORZA NA SKŁAD CHEMICZNY PŁYTKICH WÓD PODZIEMNYCH W REJONACH NADMORSKICH NA PRZYKŁADZIE USTKI

EFFECT OF STORM SURGES OF THE SEA ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF SHALLOW GROUNDWATER IN THE COASTAL REGIONS ON THE EXAMPLE OF USTKA

MAŁGORZATA PRUSZKOWSKA-CACERES¹

Abstrakt. Intruzja wód morskich do ujściowych odcinków rzek Przymorza jest uzależniona od stanów wód rzecznych i morskich. Zjawisko to może mieć miejsce w wyniku podpiętrzenia wód rzecznych przez morze w okresach sztormowych. Obserwuje się wówczas zmiany warunków przepływu wód i ich składu chemicznego. W artykule przedstawiono wyniki badań nad jednym z takich zjawisk oraz jego wpływem na jakość wód podziemnych.

Słowa kluczowe: zasolenie wód podziemnych, wybrzeże morskie, Ustka.

Abstract. Sea water intrusions into the Przymorze costal rivers of the Baltic Sea depend on the relationship between the water levels in the river and in the sea. It can occur in the periods of storms, when a change in the direction of water flow and the chemical composition of water is observed. This paper presents a results of a study conducted to describe one of these phenomena and its influence on groundwater chemical composition.

Key words: groundwater salinity, sea shore, Ustka.

WSTĘP

Problemy intruzji wód morskich do przybrzeżnych warstw wodonośnych stanowią ważne zagadnienie badawcze oraz praktyczne. Zazwyczaj zasolenie wód podziemnych wiąże się tu z intensywną eksploatacją warstw wodonośnych. Jednak w strefie brzegowej morza intruzja wód morskich może mieć również naturalny charakter związany z oscylacjami stanów morza. Wzdłuż polskiego wybrzeża Bałtyku wahania poziomu wód morskich zależą głównie od ciśnienia atmosferycznego, siły i kierunku wiatrów powodujących napędzanie wód z jednego akwenu do drugiego oraz spiętrzanie lub obniżanie poziomu morza nawet do ponad 1 m (Pietrucień, 1983). Jak wykazuje Girjatowicz (2009) wiatry spię-

trzające wodę (dolądowe) wieją z kierunków zachodniego i północnego, zaś z kierunków odlądowych (wschodni i południowy) odpychają wodę od brzegu Bałtyku. Zmiany te wykazują charakterystyczny roczny cykl. Stwierdza się podział na dwa okresy. W miesiącach wiosennych (marzec–czerwiec) notowane są najniższe stany wód morskich, które na limnigrafie w porcie w Ustce wahają się w granicach 490–496 cm. Są to średnie miesięczne stany według danych z lat 1951–2000. Najwyższy poziom wód morskich obserwowany jest natomiast w okresie jesiennym (lipiec–grudzień). Dla Ustki jest to średnio miesięcznie 505–509 cm (Girjatowicz, 2009). Amplituda tych stanów decyduje o wahaniami wód podziemnych

¹ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

pozostających w kontakcie z wodami morskimi. Każda zmiana poziomu morza wpływa bowiem na wody podziemne, szczególnie płytko występujące wody gruntowe. Przy niskich stanach akwen morski jest bazą drenażu dla wód podziemnych i powierzchniowych. Wezbrania morza powodują natomiast zmniejszenie spadku zwierciadła wód i w konsekwencji ograniczenie odpływu. Ponadto, spiętrzenie wód morskich wywołane jesienno–zimowymi sztormami może dodatkowo doprowadzić do wlewania się wód morskich w ujściowe odcinki rzek spływających do morza i następnie przenikania ich do wód gruntowych, powodując zasolenie, tak jak obserwujemy w Ustce.

Badania przedstawione w niniejszej pracy zmierzały do oceny przyczyn i charakteru zmienności składu chemicznego wód podziemnych występujących w czwartorzędowej warstwie wodonośnej, która w Ustce ma bezpośredni kontakt z wodami kanału ujściowego odcinka rzeki Słupia. Analiza bogatego materiału archiwalnego oraz badań własnych pozwoliła na przedstawienie wyraźnej zależności chemizmu wód podziemnych od położenia studni względem kanału. Wykazano również, iż w czasie wezbrań sztormowych zasolone wody z kanału przenikają do warstwy wodonośnej.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Ustka jest położona na wybrzeżu środkowym, u ujścia rzeki Słupia, w obrębie jednostki geomorfologicznej Pobrzeże Słowińskie. Jest to nizinny i płaski teren, o charakterze równin akumulacji rzecznej i morskiej, którego powierzchnia nieznacznie tylko przekracza poziom morza (2–7 m n.p.m.). Średnie temperatury w miesiącach letnich wahają się w granicach 11–21°C, zaś zimą obniżają się od –4 do 3°C. Opad roczny średni wynosi 520–600 mm/rok, a parowanie tereno- we nie przekracza 480 mm/rok (Fuszara, 1998). Sztormy no-

towane są na Bałtyku od października do marca, jednak ich nasilenie następuje w miesiącach listopad–styczeń. Średnie miesięczne stany wód morskich z wielolecia (1951–2000), obserwowane w porcie w Ustce, wahają się w tym okresie w przedziale 505–509 cm, a w czasie sztormów poziom wody wzrasta do 550 cm (Trzeciak, 2001; Girjatowicz, 2009).

Położenie Ustki wraz z lokalizacją wytypowanych do badań otworów i wykonanych przekrojów hydrogeologicznych przedstawiono na figurze 1.

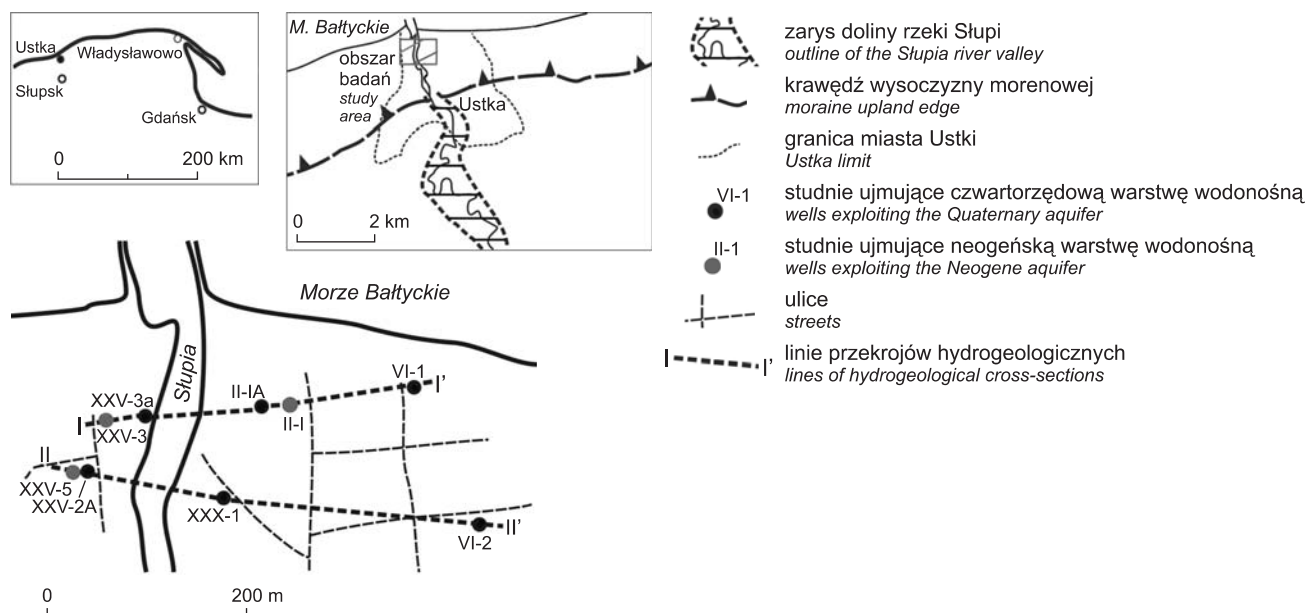


Fig. 1. Lokalizacja obszaru badań, wybranych otworów i przekrojów hydrogeologicznych

Location of the research area, selected wells and lines of hydrogeological cross-sections

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W analizowanym rejonie Ustki wody podziemne o charakterze użytkowym występują w utworach czwartorzędowej i neogenu. Warstwa czwartorzędowa jest związana z plejstoceńskimi osadami piaszczysto-żwirowymi ostatniego zlodowacenia, łączącymi się z piaskami rzecznyymi i morskimi holocenu. Zwierciadło wód podziemnych ma charakter swobodny i występuje na głębokości 2–5 m, tj. na rzędnej –0,1 do –1,8 m n.p.m. Maksymalna miąższości utworów wodonośnych wynosi 18 m (fig. 2). Współczynnik filtracji mieści się w granicach 0,05–0,8 m/h.

Warstwa neogeńska, o miąższości dochodzącej do 30 m, występuje na głębokości 37–57 m, czyli na rzędnych –38 do –53 m n.p.m. w piaskach drobno- i średnioziarnistych, miejscami mułkowatych miocenu. Współczynnik filtracji wynosi 0,5–5,1 m/h. Zwierciadło wód podziemnych ma charakter subartezyjski i stabilizuje się na głębokości na 2,5–8 m, tj. na

rzędnej –1,2 do –4,8 m n.p.m. (fig. 2). Lokalnie zwierciadła wód podziemnych warstwy czwartorzędowej i neogeńskiej występują na podobnym poziomie, wskazując na możliwą łączność hydrauliczną obu warstw wodonośnych.

Jak wykazała Pruszkowska (1996), zasilanie obu warstw wodonośnych odbywa się poza obszarem objętym badaniami drogą dalekiego krążenia, poprzez dopływ lateralny z wysoczyzn morenowych położonych na południe od Ustki, w odległości przekraczającej 1 km od obszaru badań. Bazą drenażu jest Morze Bałtyckie. Warstwa występująca w utworach plejstoceńsko-holocenów kontaktuje się z morzem i rzeką Słupią, zaś warstwa w osadach miocenu ma swe wychodnie na dnie morza. Stwierdzono także, iż kanał rzeki Słupii nie wykazuje charakteru drenującego względem żadnej z obu warstw wodonośnych (Pruszkowska-Caceres, 2009).

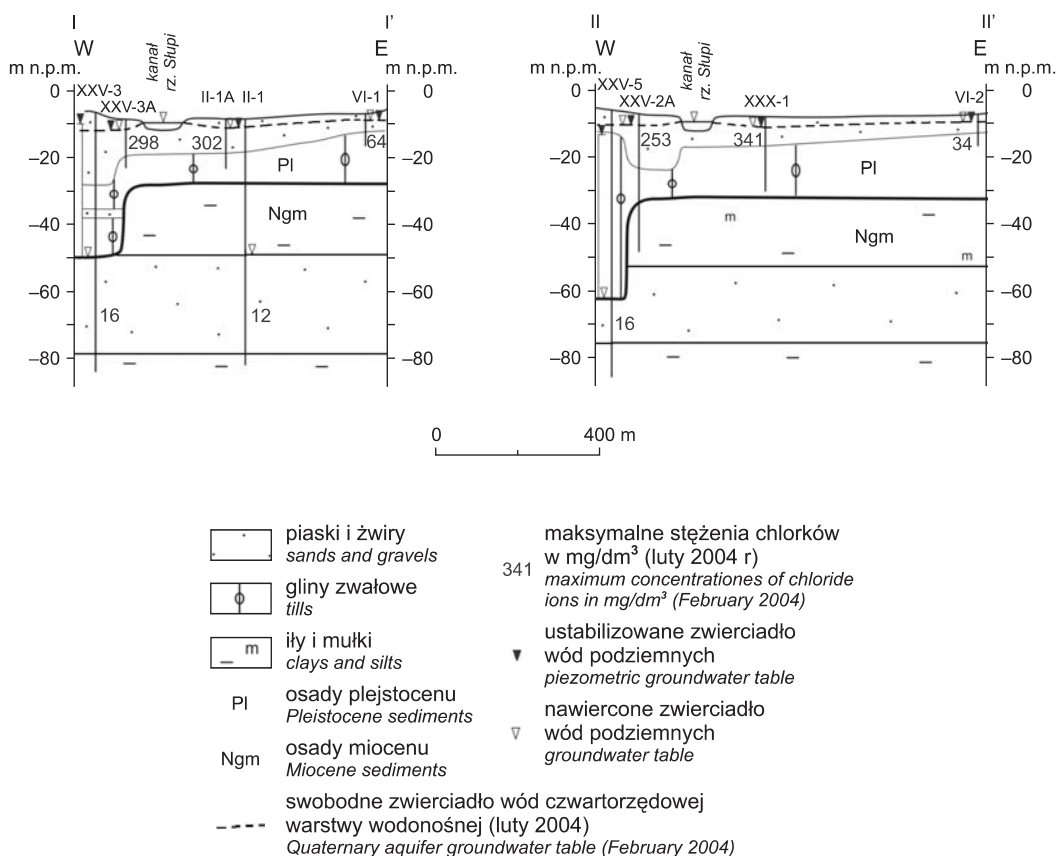


Fig. 2. Przekroje hydrogeologiczne (Pruszkowska-Caceres, 2009)

Hydrogeological cross-sections

OCENA ZASOLENIA WÓD PODZIEMNYCH

Obserwacjami objęto studnie wiercone ujmujące warstwy wodonośne – czwartorzędową (6 studni) i neogeńską (3 studnie), położone po obu stronach kanału rzeki Słupi, a należące do ujęcia miejskiego oraz dwóch z ujęć przemysłowych (fig. 1). Przeanalizowano skład chemiczny wód podziemnych z lat 1961–2005. Do ustalenia chemizmu wód wykorzystywano archiwalne analizy fizyczno-chemiczne oraz badania własne. Próbkę wód do badań własnych były pobierane z kranu w obudowie studni jako wody surowe, tak samo jak próbki analiz archiwalnych. Prezentowane dane nie odzwierciedlają zatem głębokościowej zmienności składu chemicznego wód, lecz generalną tendencję panującą w badanej warstwie wodonośnej.

W pracy wykorzystano archiwalne analizy fizyczno-chemiczne wód z lat 1961–1990 pochodzące z comiesięcznego opróbowania studni. Niestety po roku 1990 większość analizowanych studzien została wyłączona z eksploatacji i w sposób ciągły nie badano w nich składu chemicznego wód. Uniemożliwiło to śledzenie sezonowych zmian ich składu chemicznego w późniejszym okresie. Badania własne przeprowadzono w dwóch okresach w latach 1994–1995 oraz 2004–2005. Próbkę wód podziemnych pobierano wówczas w miesiącach lutego i sierpnia.

Stwierdzono, iż wody podziemne występujące w osadach plejstoceno-holoceno oraz mioceno charakteryzują się dobrą jakością i zbliżonym składem chemicznym. Stąd tło hydrogeochemiczne ustalono wspólnie dla wód obu warstw wodonośnych. Wykorzystano 9 studni

i prawie 2700 wyników analiz fizyczno-chemicznych z lat 1961–2005 (tab. 1).

Lokalnie, w studniach numer XXV-3A, XXV-2A, XXX-1, II-1A ujmujących czwartorzędową warstwę wodonośną, wody wykazywały wyraźnie podwyższone stężenia jonu chlorkowego dochodzące do 341 mgCl/dm^3 , w porównaniu z pozostałymi studniami, gdzie chlorki utrzymywały się na niskim poziomie, nie przekraczającym 50 mgCl/dm^3 . Ponadto, w wodach z wymienionych studni obserwowano także zwiększone ilości jonu sodowego (do 195 mgNa/dm^3), potasowego (do 15 mgK/dm^3), strontu (do $1,25 \text{ mgSr/dm}^3$) i bromu (do $0,91 \text{ mgBr/dm}^3$) oraz wysoką mineralizację ogólną dochodzącą do 962 mg/dm^3 . Niskie były natomiast stężenia azotanów (do $0,3 \text{ mgNO}_3/\text{dm}^3$) i jonów amonowych (do $0,39 \text{ mgNH}_4/\text{dm}^3$), świadcząc o braku wpływu czynnika antropogenicznego na skład chemiczny wód podziemnych (tab. 1).

Analiza składu chemicznego wód podziemnych występujących w zasolonej strefie czwartorzędowej warstwy wodonośnej wykazała wyraźną zmienność czasową i przestrzenną. W celu ustalenia momentu największego zasolenia, przeanalizowano dane archiwalne z lat 1987–1990 z dwóch czynnych studni numer XXV-3A i XXX-1, położonych w odległości odpowiednio 35 i 90 m od kanału rzeki Słupi (fig. 1 i 3).

Stwierdzono, iż maksymalne stężenia chlorków w wodach podziemnych notowane były w miesiącach styczeń–marzec. Analizy fizyczno-chemiczne pobranych próbek wód z kanału rzeki Słupi, w odległości 400 m od brzegu morza w lutym i sierpniu 1994 i 2004 r, wykazały wyższe stężenia chlorków,

Tabela 1

Skład chemiczny wód w rejonie Ustki (z lat 1961–2004)

Groundwater chemical composition in the area of Ustka (from years 1961 to 2004)

	Miocenna warstwa wodonośna (1961–2004)	Czwartorzędowa warstwa wodonośna (1961–2004)	Tło hydrochemiczne wód miocenońskiej i czwartorzędowej warstwy wodonośnej	Rzeka Słupia około 3,5 km od brzegu morza		Kanał rzeki Słupi 400 m od brzegu morza		Morze Bałtyckie w rejonie Ustki (lutego 2004 r.)
				lutego 1994 i 2004 r	sierpnia 1994 i 2004 r	lutego 1994 i 2004 r.	sierpnia 1994 i 2004 r.	
[mg/dm ³]								
Mineralizacja ogólna	170,7–578,1	277,4–962,0	300–500	374,2–397,0	365,1–420,5	2399,6–2454,0	408,3–785,0	7860,0
Cl ⁻	2,9–28,5	9,4–341,0	10–30	20,1–23,3	17,3–22,9	890,7–998,0	50,6–90,2	4130,0
SO ₄ ²⁻	1,2–25,7	7,9–70,4	10–25	5,2–6,1	4,2–7,9	206,3–210,2	21,7–54,9	588,0
HCO ₃ ⁻	122,1–348,5	101,2–110,6	zbyt mało danych	190,0–193,5	190,0–195,3	126,8–140,4	156,0–190,5	109,6
Ca ²⁺	51,4–97,2	57,3–88,0	60–90	38,1–40,8	32,0–45,2	50,2–54,0	30,2–49,3	99,3
Mg ²⁺	0,1–73,0	43,8–79,3	10–50	18,9–22,4	17,2–25,8	86,0–91,1	20,0–55,2	302,0
Na ⁺	3,1–15,0	8,5–195,0	10–20	14,3–15,7	10,0–18,5	602,8–618,6	21,4–34,8	2300,0
K ⁺	0,1–3,7	5,4–15,0	0–8	2,9–3,4	1,7–4,0	30,6–37,3	2,5–15,0	56,9
Sr ²⁺	0,01–0,5	0,85–1,25	zbyt mało danych	0,3–0,4	0,2–0,4	1,2–1,4	0,3–0,6	3,1
Br ⁻	0,01–0,15	0,11–0,31	zbyt mało danych	0,02–0,07	0,01–0,06	3,02–3,13	0,04–0,2	13,9
NO ₃ ⁻	0,001–0,32	0,001–0,3	0–0,2	–	–	–	–	–
NH ₄ ⁺	0,015–0,45	0,001–0,49	0–0,11	–	–	–	–	–

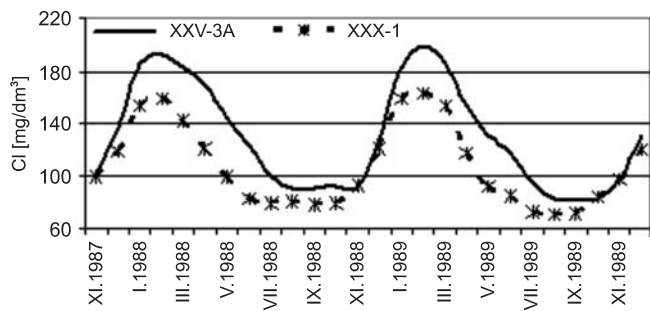


Fig. 3. Średnie miesięczne stężenia chlorków w studniach XXV-3A i XXX-1

Mean monthly chloride ions concentration in wells number XXV-3A and XXX-1

sodu, magnezu, bromu, strontu i mineralizacji ogólnej w miesiącu lutym niż w sierpniu. Były one również wyższe w porównaniu z analizami wód z rzeki, pobranymi w odległości około 3,5 km od brzegu morza (tab. 1).

Na podstawie danych archiwalnych oraz analiz własnych z lat 1994 i 2004, z lutego wybranego roku kalendarzowego, oceniono charakter zmian składu chemicznego wód w poszczególnych badanych studniach w czasie (fig. 4). Badania własne z lutego 1994 i 2004 r posłużyły także do ustalenia przestrzennej zmienności składu chemicznego wód podziemnych w analizowanej części warstwy wodonośnej. Zmienność tę przedstawiono na wykresach składu chemicznego wód ze studni położonych wzdłuż przekrojów hydro-

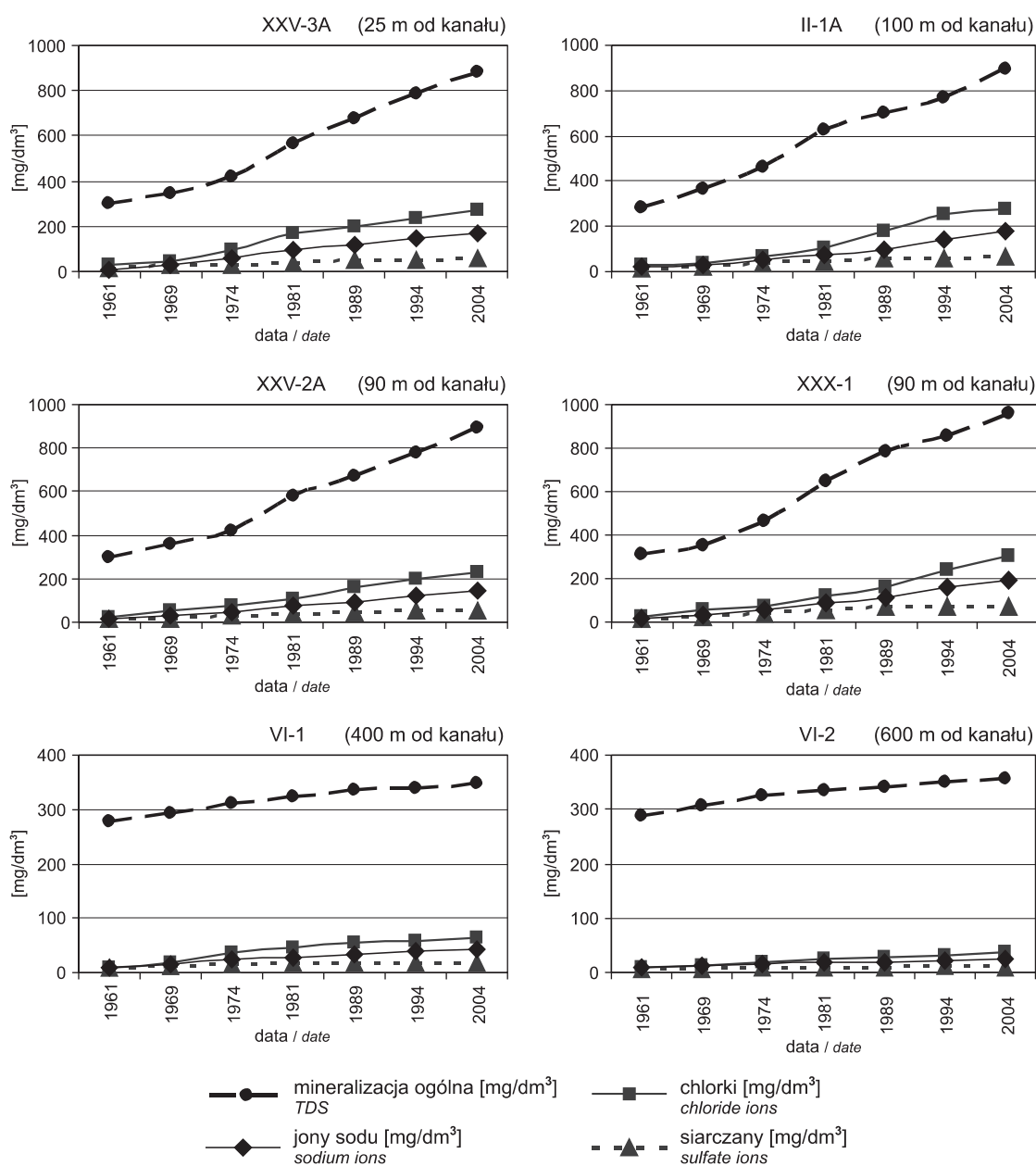


Fig. 4. Zmienność składu chemicznego wód podziemnych z utworów czwartorzędowych

Changes of Quaternary groundwater chemical composition

geologicznych I-I (fig. 1 i fig. 5) i II-II (fig. 1 i fig. 6) oraz z kanału rzeki Słupi.

Zaobserwowano czasową zmienność składu chemicznego wód postępującą od lat 70., która przejawiała się stopniowym wzrostem stężeń chlorków, siarczanów i sodu oraz mineralizacji ogólnej (M). Stwierdzono, iż zmiany te wiążą się najprawdopodobniej z rozpoczęciem intensywnej eksploatacji wód podziemnych w Ustce od końca lat 60. XX w., średnio z około 60 m³/h do ponad 100 m³/h, we wszystkich ujmowanych warstwach wodonośnych (Pruszkowska, 1996). Sprawdzone, że wyłączenie studni lub ograniczenie poboru wody po 1990 r. nie wpłynęło w znaczący sposób na polepszenie składu chemicznego wód podziemnych.

Ustalono, że wzrost stężeń nie był równomierny i zależał od położenia studni. Największe zmiany zanotowano w stud-

niach usytuowanych w najbliższym sąsiedztwie kanału rzeki Słupi, w odległości od 25 do 100 m (studnie XXV-3A, II-1A, XXV-2A i XXX-1). Zaobserwowano równomierne i postępujące w czasie przemiany chemizmu wód podziemnych. Natomiast w dwóch studniach bardziej oddalonych od kanału o 400–600 m (numer VI-1 i VI-2), wody charakteryzowały się większą stabilnością składu chemicznego i tylko nieznacznym wzrostem stężeń jonów Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺ oraz mineralizacji ogólnej (M) (fig. 4). Analizując wykresy przedstawione na figurach 5 i 6, można zauważyć, że zaznacza się wyraźna zmienność przestrzenna składu chemicznego wód podziemnych w warstwie czwartorzędowej. W studniach położonych blisko kanału rzeki Słupi (numer XXV-3A, II-1A, XXV-2A i XXX-1) mineralizacja ogólna, jony chlorkowe, sodu i siarczany osiągają znacznie wyższe stężenia, niż

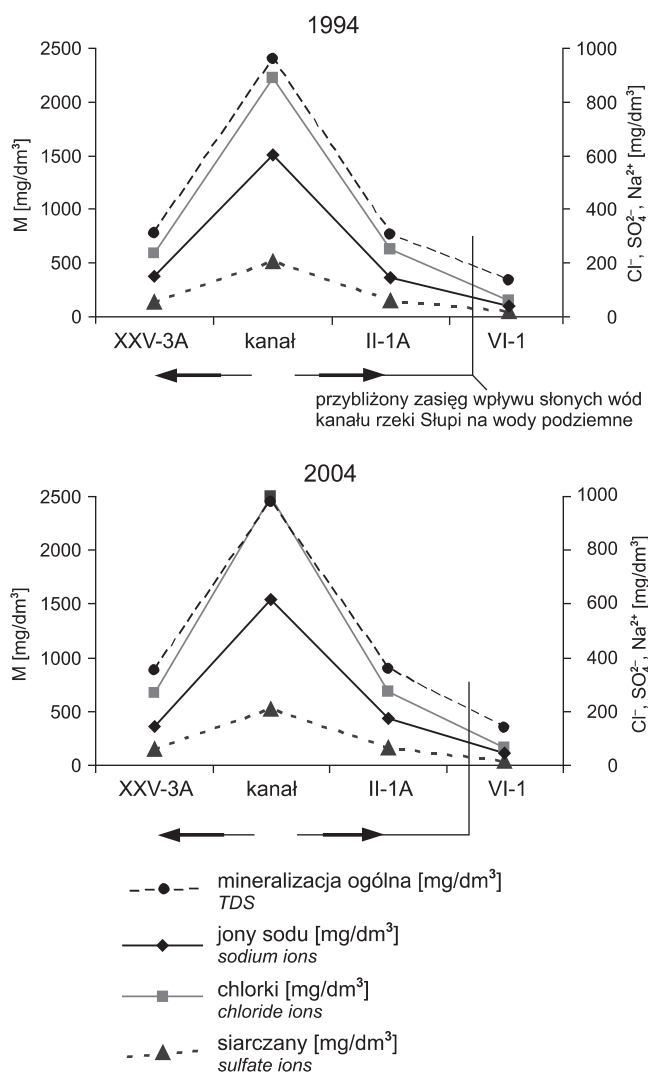


Fig. 5. Zmienność składu chemicznego wód podziemnych z utworów czwartorzędowych w studniach wzdłuż przekroju hydrogeologicznego I-I

Changes of Quaternary groundwater chemical composition along the wells of hydrogeological cross-section I-I

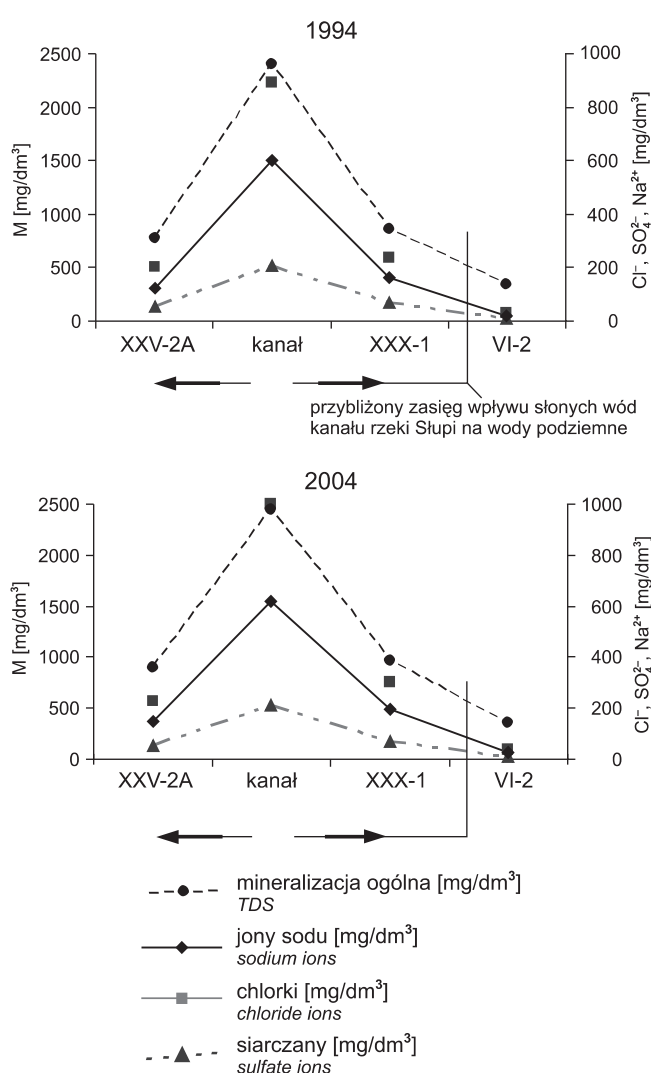


Fig. 6. Zmienność składu chemicznego wód podziemnych z utworów czwartorzędowych w studniach wzdłuż przekroju hydrogeologicznego II-II

Changes of Quaternary groundwater chemical composition along the wells of hydrogeological cross-section II-II

Tabela 2

Wartości wskaźników hydrochemicznych
Values of hydrochemical indices

Wskaźnik	Nr studni						Kanał rzeki Słupia	Morze Bałtyckie	Rzeka Słupia
	XXV-3A	II-1A	VI-1	XXV-2A	XXX-1	VI-2			
rNa/rCl	0,98	0,99	1,02	1,0	0,99	1,01	0,96	0,86	1,01
rSO ₄ /rCl	0,17	0,18	0,19	0,18	0,17	0,19	0,16	0,11	0,19
rSO ₄ *100/rCl	16,74	17,51	19,31	17,64	17,05	19,42	15,53	10,53	19,26
rMg/rCa	1,83	1,71	0,96	1,6	1,65	0,85	2,78	5,03	0,88
Cl/Br	332,1	334,1	342,1	337,3	332,9	345,4	318,8	297,1	328,6
Mg/Sr	63,2	63,7	53,68	62,61	62,61	50,59	65	100,7	55
Ca/Sr	56,8	61,29	92,63	64,35	62,61	97,65	38,57	33	102,5

w studniach oddalonych od kanału (numer VI-1 i VI-2). Wiadąc zatem, że zasolenie warstwy ma ograniczony zasięg przestrzenny, gdyż w studniach numer VI-1 (fig. 5) i VI-2 (fig. 6), oddalonych od kanału rzeki Słupia o 400–600 m, wody podziemne wykazują naturalny, niezmienny skład chemiczny. Przypuszczalny maksymalny zasięg wpływu zasolonych wód z kanału na wody podziemne podczas jesienno-zimowych wezbrań sztormowych zaznaczono na figurach 5 i 6.

Do oceny warunków panujących w warstwie wodonośnej i ustalenia relacji pomiędzy zasolonymi wodami kanału rzeki Słupia i wodami podziemnymi wykorzystano wskaźniki hydrochemiczne takie jak: rNa/rCl, rSO₄*100/rCl, rSO₄/rCl i rMg/rCa, gdzie r oznacza, że stężenia podawane są w mval/dm³ oraz Cl/Br, Ca/Sr i Mg/Sr, w których jednostką koncentracji jonów są w mg/dm³. Wskaźniki obliczono na podstawie analiz z lutego 2004 r. (tab. 2). Przedstawione relacje jonowe pozwoliły na porównanie specyficznych składników powszechnie występujących w wodach morskich, a które tylko w niewielkich ilościach spotyka się w słodkich wodach podziemnych, jak na przykład stront czy brom. Powoduje to, iż wskaźniki przyjmują charakterystyczne wartości dla różnych genetycznie rodzajów wód. Interpretację dokonano zgodnie z Macioszczyk (1987).

Wskaźniki hydrochemiczne obliczone dla wód Morza Bałtyckiego zgodnie są z wyznaczonymi przez Nguyen-Manh-

-Ha (1976) dla wód morskich w rejonie Łeby. Analiza porównawcza wartości wskaźników wód podziemnych ze studzien numer XXV-3A, II-1A, XXV-2A i XXX-1 i kanału rzeki Słupia wykazuje różnice ze wskaźnikami obliczonymi dla wód Bałtyku, lecz wyraźnie wskazuje na mieszanie się wód morskich i kanału oraz dalej – wód kanału i podziemnych. Zaobserwować można, iż w kanale rzeki Słupia wartości wskaźników rNa/rCl, rSO₄/rCl, rSO₄*100/rCl, Cl/Br, Ca/Sr obniżają się wyraźnie w porównaniu z rzeką Słupią, a jednocześnie są one zbliżone do wyznaczonych dla Morza Bałtyckiego (tab. 2). Natomiast, wody ze studzien numer VI-1 i VI-2 wykazujące inny skład jonowy w porównaniu z pozostałymi studniami oraz z wodami kanału, charakteryzują się odmiennymi wartościami wskaźników hydrochemicznych, które zbliżone są do uzyskanych dla wód rzeki Słupia.

Analiza wskaźników hydrochemicznych, a także obecność w wodach kanału rzeki Słupia i w wodach podziemnych ze studzien numer XXV-3A, II-1A, XXV-2A i XXX-1 podwyższonych stężeń jonów chlorkowych, siarczanów, sodu, strontu, bromu oraz mineralizacji ogólnej świadczy o przeważającym udziale wód morskich w składzie chemicznym wód z kanału i o znaczącym dopływie zasolonych wód kanału rzeki Słupia do czwartorzędowej warstwy wodonośnej. Potwierdza się również ograniczony zasięg intruzji wód słonych.

WNIOSKI

W Ustce w warstwie wodonośnej z osadów czwartorzędowych stwierdzono występowanie podwyższonych stężeń: chlorków, sodu, potasu, strontu, bromu oraz wysoką mineralizację ogólną przy jednoczesnym braku typowych wskaźników zanieczyszczenia antropogenicznego, jakimi są azotany i jony amonowe. Ilości jonów chlorkowych maksymalnie wzrosły do 341 mgCl/dm³ przy mineralizacji 962 mg/dm³.

Obserwowane zasolenie było nierównomierne i wyraźnie zależało od położenia studni względem kanału rzeki Słupia. Najwyższe stężenia notowane były w wodach ze studni położonych w odległości do 100 m od kanału (studnie numer XXV-3A, II-1A, XXV-2A i XXX-1).

Stwierdzono, że cechą charakterystyczną obserwowanego zasolenia wód podziemnych były zmiany sezonowe.

Maksymalne stężenia chlorków notowano w miesiącach styczeń–marzec. Ponadto zaobserwowano, iż strefa kontaktu wód słonych ze słodkimi wodami podziemnymi o niezmiennym składzie chemicznym położona jest w rejonie studni VI-1 i VI-2, co może świadczyć, iż wody zasolone wnikają w głąb warstwy wodonośnej na odległość maksymalnie do 400 m od kanału rzeki Słupia.

Ustalono, że typ zasolenia obserwowanego w czwartorzędowej warstwie wodonośnej w Ustce wiąże się z wlewami wód morskich do ujściowego odcinka rzeki w okresie pod-

piętrzenia wód rzecznych przez morze, podczas jesienno-zimowych wezbrań sztormowych i następnie przenikaniem ich do płytkich wód gruntowych występujących w osadach plejstoceńsko-holocenijskich. Przeprowadzone badania potwierdziły tezę prezentowaną przez Kozerskiego i Pruszkowską (1996), którzy jednocześnie wykluczyli możliwość zasolenia ascenzyjnego lub „młodoreliktoowego” czwartorzędowej warstwy wodonośnej w tym rejonie.

LITERATURA

- FUSZARA P., 1998 — Szczegółowa Mapa Hydrogeologiczna Polski 1:50 000 ark. Ustka. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- GIRJATOWICZ J., 2009 — Miesięczne i sezonowe charakterystyki poziomów wody u polskiego wybrzeża Bałtyku. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, **6**: 445–451.
- KOZERSKI B., PRUSZKOWSKA M., 1996 — O pochodzeniu zasolenia wód podziemnych polskiego wybrzeża Bałtyku. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, **1**: 46–48.
- MACIOSZCZYK A., 1987 — Hydrogeochemia. Wyd. Geol., Warszawa.
- NGUYEN-MANH-HA, 1976 — Wpływ wód morskich na zasolenie wód podziemnych w strefie przybrzeżnej na odcinku Łeby. Rozprawa doktorska (1976), (nie publikowane) AGH, Kraków.
- PIETRUCIEŃ C., 1983 — Regionalne zróżnicowanie warunków dynamicznych i hydrochemicznych wód podziemnych w strefie brzegowej południowego i wschodniego Bałtyku. Wyd. UMK, Toruń.
- PRUSZKOWSKA M., 1996 — Występowanie i wykorzystanie wód podziemnych w rejonie Ustka–Rowy. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, **6**: 390–394.
- PRUSZKOWSKA-CACERES M., 2009 — Hydrogeochemia strefy kontaktu wód słono-słodkich na wybrzeżu Bałtyku na przykładzie rejonu Ustki. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, **6**: 430–435.
- TRZECIAK S., 2001 — Wiatry sztormowe na polskim wybrzeżu Bałtyku. Monografia, WSM, **36**. Seria Studia.

SUMMARY

This study was conducted in Ustka, located in the Northern Poland in the Baltic sea shore. Locally, in the aquifer of the Quaternary sediments there were found high concentrations of chloride, sodium, potassium, strontium and bromine ions, as well as high values of TDS. Chlorines reached the concentration: 341 mg/dm³ and total dissolved solids: 962 mg/dm³.

It was found that groundwater salinity depends on the location of the wells, especially on a distance of the Słupia River channel. The highest concentrations were observed in groundwater from wells located closer than 100 m from the channel (number of wells XXV-3A, II-1A, 2A and XXV-XXX-1). It was stated, that the characteristic feature of the groundwater salinity was its seasonal changes. The maximum

concentration of chloride ions was observed between January and March. Besides, it was observed that the contact zone between salt water and natural groundwater is located in the vicinity of wells VI-1 and VI-2, which can prove, that the salt water intrusion into the aquifer reaches the distance of 400 m from the channel of the Słupia River.

It was stated that the most possible source of chloride, sodium, potassium, strontium and bromine ions in the Quaternary aquifer in Ustka have to be considered with autumn and winter storms and sea water intrusions into the Słupia River. Finally, the saline water of the river flow into the groundwater, causing the observed changes in their chemical composition.