

Warunki hydrogeologiczne i analiza charakteru drenażu wód podziemnych piętra czwartorzędowego na wybrzeżu morskim województwa pomorskiego

Dr hab. Małgorzata Pruszkowska-Caceres

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

W granicach województwa pomorskiego długość linii brzegowej wynosi 316 km, co stanowi 42% brzegu morskiego kraju. Zgodnie z podziałem Kondrackiego (2002) [3] obszar ten obejmuje mezoregiony Wybrzeża Słowińskiego, Pobrzeża Kaszubskiego, Mierzeję Helską i Mierzeję Wiślaną, zróżnicowane geomorfologicznie, o charakterze wybrzeża klifowym, wydmyowym, płaskim i mierzejowym.

Pod względem hydrogeologicznym rejony nadmorskie są bardzo ciekawym obszarem badawczym ze względu na występowanie strefy kontaktu dwóch rodzajów wód - słodkich wód podziemnych i słonych wód morskich. Oba środowiska wodne oddziałują na siebie i występują w stanie naturalnej równowagi hydrodynamicznej i hydrogeochemicznej.

Wody podziemne spływają w kierunku morza, które jest główną bazą drenażu wszystkich poziomów i pięter wodonośnych występujących na wybrzeżu. Strefa drenażu może znajdować się bezpośrednio w zbiorniku morskim lub w dennych osadach morskich.

Według Pietrucienia (1983) [10] warunki dopływu podziemnego do morza są uzależnione od zmiany stanów wód morskich, które wpływają na hydrodynamikę wód podziemnych, szczególnie występujących płytko. Wyraźnie zaznacza się to podczas wezbrań morza, które zmniejszają spadek zwierciadła wód gruntowych, i w konsekwencji ograniczają odpływ podziemny. Badania autorki prowadzone od 1994 roku wykazały, że położenie i charakter strefy drenażu są uzależnione od jeszcze jednego ważnego czynnika. Analiza warunków występowania i krążenia wód podziemnych na polskim wybrzeżu Bałtyku wskazuje bowiem na dominujące znaczenie ukształtowania terenu i budowy geologicznej (Kozerski B., Pruszkowska M., 1996 [4], Jaworska-Szulc B. i współautorzy 2007 [1], 2011 [2], Pruszkowska-Caceres M., 2009 [12], 2011 [13], 2012 a [14], b [15]).

Celem prac prowadzonych na wybrzeżu, których wyniki zaprezentowano w niniejszym artykule, było określenie charakteru drenażu wód podziemnych na odcinku wybrzeża morskiego położonego w granicach województwa pomorskiego. Rodzaj drenażu wpływa na warunki hydrogeologiczne panujące w rejonie nadmorskim i ma decydujące znaczenie ze względu na możliwość eksploatacji wód podziemnych. Na obszarach tych w okresie letnim, przy wzmożonym ruchu turystycznym, wzrasta zapotrzebowanie na wodę, co może przynieść na wybrzeżu niekorzystne skutki w gospodarce wodami podziemnymi, powodując ich zasolenie. Jest to ważny problem nie tylko badawczy, ale przede wszystkim praktyczny, obniżenie jakości wody może bowiem prowadzić do zmniejszenia jej zasobów i konieczności ograniczenia eksploatacji.

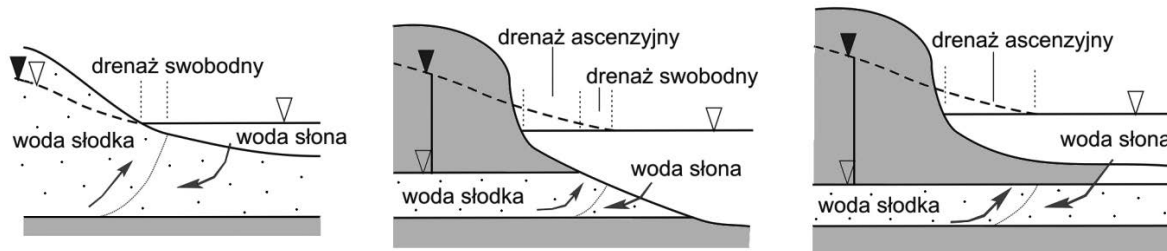
Przeprowadzone prace są wstępnym etapem do opracowania koncepcyjnego i numerycznego modelu określającego warunki dopływu wód podziemnych do Morza Bałtyckiego.

RODZAJE DRENAŻU WÓD PODZIEMNYCH W STREFIE NADMORSKIEJ

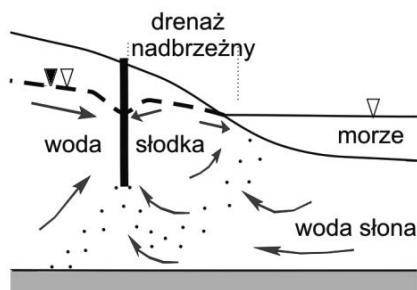
Badacze zajmujący się problematyką warunków hydrogeologicznych na obszarach nadmorskich wyróżnili dwa rodzaje drenażu: podmorski i nadbrzeżny (Kozerski B., Sadurski A., 1983 [5], Piekarek-Jankowska H., 1996 a [8]).

W drenażu podmorskim ciśnienie wód podziemnych jest wyższe niż ciśnienie wody morskiej, a granica pomiędzy wodami słodkimi i słonymi jest położona pod dnem morza. Drenaż ten może mieć charakter swobodny lub ascensyjny (rys. 1).

Drenaż podmorski swobodny występuje w warunkach, gdy dno morza rozcina warstwę wodonośną. Ma tu miejsce bezpo-



Rys. 1. Schemat drenażu podmorskiego (Pruszkowska-Caceres M., 2012 a [14])



Rys. 2. Schemat drenażu nadbrzeżnego (Pruszkowska-Caceres M., 2012 a [14])

średni kontakt wód słodkich i słonych wzdłuż linii brzegowej, jeśli drenowane są wody gruntowe lub na podmorskiej wychodni warstwy wodonośnej, jeśli drenowane są wody wgłębne (rys. 1). Drenaż ten występuje najczęściej na wybrzeżach niskich i płaskich oraz niekiedy na wysokich klifowych.

Drenaż podmorski ascenzyjny odbywa się poprzez przesączania się wód podziemnych z wgłębnych warstw wodonośnych przez dno zbiornika morskiego i ma miejsce wyłącznie na wysokich wybrzeżach klifowych (rys. 1).

Drenaż nadbrzeżny ma charakter antropogeniczny i jest związany z nadmierną eksploatacją wód podziemnych w rejonie nadmorskim. Na skutek obniżenia zwierciadła wody w warstwie wodonośnej strefa kontaktu wód podziemnych i morskich przesuwa się w głąb lądu, powodując zasolenie wód podziemnych. Zjawisko to określa się mianem intruzji wód morskich do warstw wodonośnych (rys. 2).

WARUNKI GEOMORFOLOGICZNE I HYDROGEOLOGICZNE OBSZARU BADAŃ

Wybrzeże morskie południowego Bałtyku jest niezwykle różnorodne pod względem rzeźby terenu, budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych. W granicach województwa pomorskiego występują wybrzeża wysokie klifowe oraz niskie i wyrównane.

Wybrzeża klifowe są zbudowane z naprzemianległych piaszczysto – gliniastych lub ilastych osadów plejstoceniowych i tworzą kępy wysoczyzn morenowych. W granicach województwa pomorskiego występują one na obszarze pomiędzy Ustką a Dębnią, w rejonie Osetnika i Lubiatowa, na Kępie Swarzewskiej, Puckiej, Redłowskiej i Orłowskiej, a ich łączna długość wynosi około 102 km.

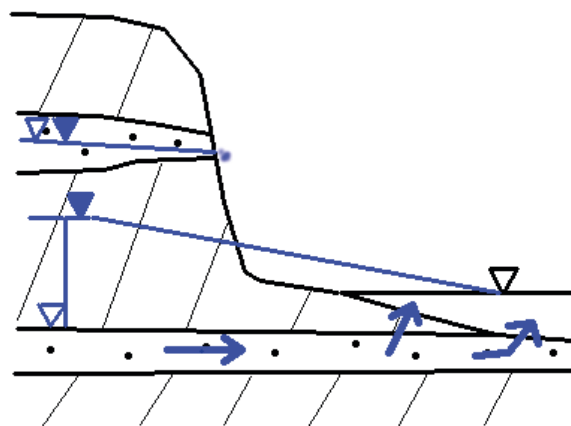
Czwartorzędowe warstwy wodonośne na wybrzeżach klifowych są wykształcone jako piaski akumulacji fluwiogłacjalnej tworzące przewarstwienia w kompleksie glin zwałowych. Dolna

warstwa wodonośna występuje lokalnie na głębokościach powyżej 50 m p.p.t. i jest zbudowana z piasków drobnych lub średnioziarnistych zlodowacenia południowopolskiego i środkowopolskiego. W linii brzegowej morza zwierciadło napięte wód podziemnych układa się na 2 m n.p.m., a współczynnik filtracji mieści się w granicach $0,1 \div 0,7$ m/h. Warstwa ta kontaktuje się miejscami z wodonośnymi utworami mioceńskimi, tworząc wspólny poziom o znacznym rozprzestrzenieniu, dużych miąższościach i wydajnościach.

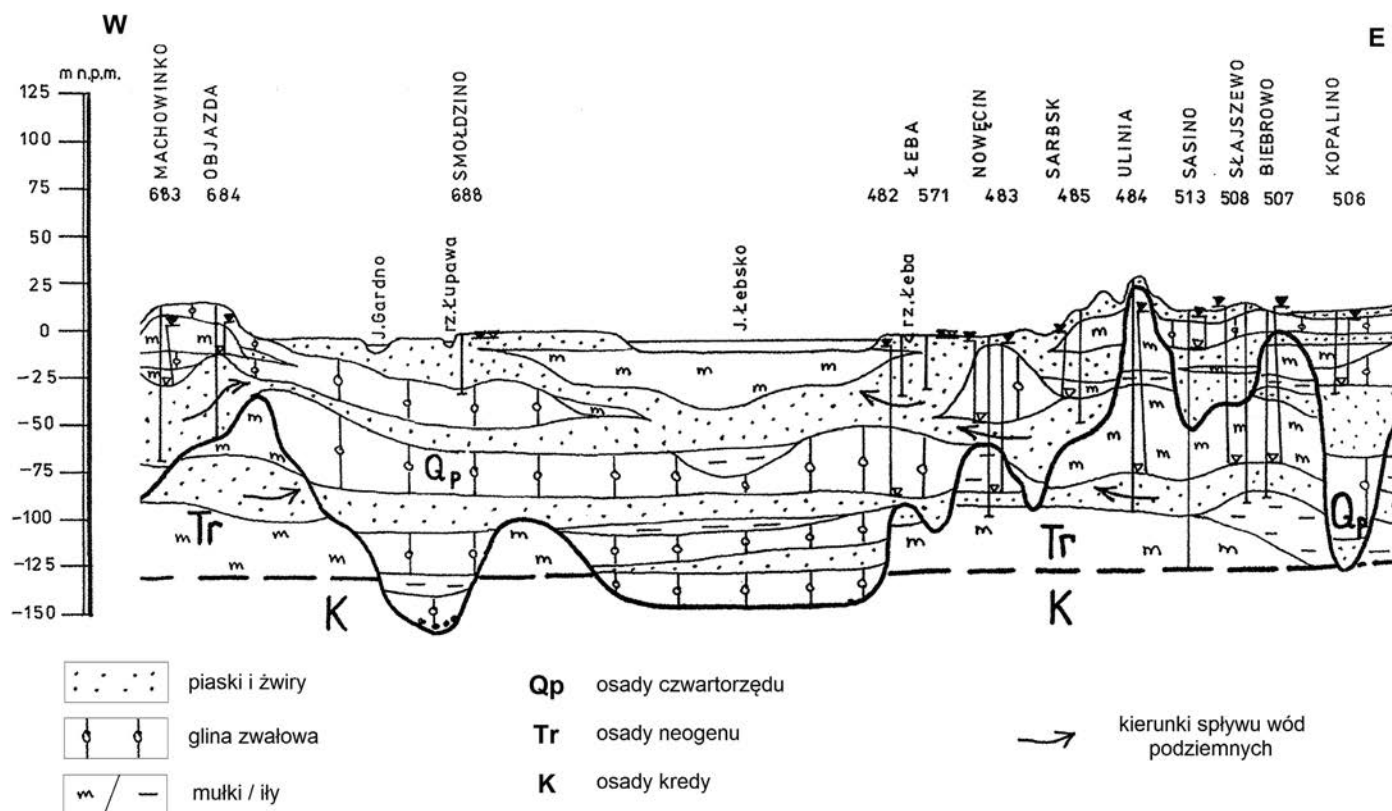
Górna, a jednocześnie główna plejstoceniowa warstwa wodonośna, jest ciągła na znacznym obszarze wybrzeża i na kępach wysoczyznowych występuje na głębokościach $30 \div 50$ m p.p.t. Warstwa jest zbudowana z piasków wodolodowcowych o różnej granulacji zlodowacenia Wisły, zwierciadło wody stabilizuje na rzędnych około 2 m n.p.m., a współczynnik filtracji waha się w granicach od $0,08 \div 1,4$ m/h (Kozerski B., Pruszkowska M., 1996 [4]; Kryza J. i współautorzy, 2005 [6], Pruszkowska-Caceres M., 2009 [12], 2011 [13], 2012 a [14], b [15]). Schemat warunków hydrogeologicznych przedstawiono na rys. 3.

Charakterystyczną cechą klifów jest lokalne występowanie zawadzionych, piaszczystych przewarstwień w osadach zlodowacenia Wisły powyżej górnej warstwy wodonośnej. Ujawniają się one na zboczu w postaci wysięków i źródeł. Formy te są badane aktualnie w rejonie Władysławowa i Rozewia (Potrykus D., 2015 [11]).

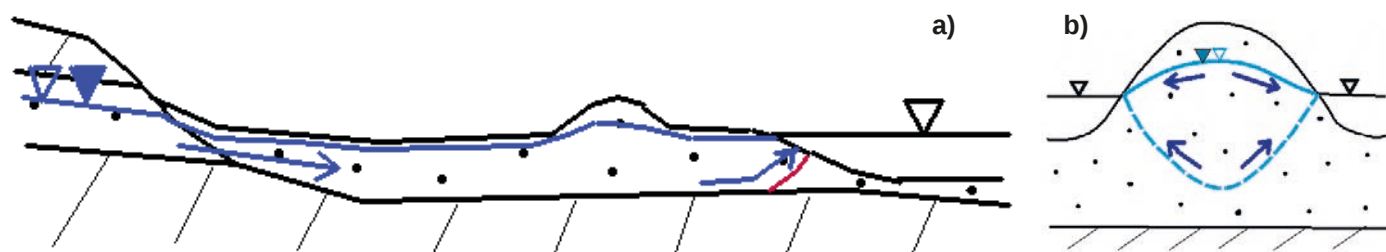
Wybrzeża płaskie są związane z ujściowymi odcinkami dawnych rynien i pradolin, z mierzejami oraz z równinami akumulacyjnymi. Wyróżniamy tu dwa rodzaje hydrogeologiczne wybrzeży: mierzejowy (mierzeje jezior Gardno i Łebsko, Półwysep Helski, Mierzeja Wiśłana) i nizin nadmorskich (rejon Ustki, Łeby, Karwieńskie Błota, Mostowe Błota, Taras Nadmorski w Trójmieście, Żuławy). Rejon te charakteryzują się niskim



Rys. 3. Schemat warunków hydrogeologicznych na wybrzeżach klifowych



Rys. 4. Przekrój hydrogeologiczny przez fragment wybrzeża płaskiego



Rys. 5. Schemat warunków hydrogeologicznych wybrzeża płaskiego: a) niziny nadmorskie, b) mierzeje

zaplecem i są zbudowane z osadów piaszczystych oraz lokalnie torfów i namulów. W wielu miejscach rozwinęły się także wały wydymowe dochodzące nawet do około 40 metrów wysokości.

W czwartorzędowym piętrze wodonośnym na obszarze wybrzeży płaskich wydzielono dwa poziomy: plejstoceni, na który składają się dwie warstwy, oraz holoceni. Dolna warstwa poziomu plejstoceni występuje powszechnie, z wyjątkiem Mierzei Wiślanej, na głębokościach 30 ÷ 50 m p.p.t. Jest zbudowana z piasków drobnych i średnioziarnistych zlodowacenia południowopolskiego i środkowopolskiego. Zwierciadło wody ma charakter napięty, i w linii brzegowej stabilizuje się na rzędnych około 1 m n.p.m., a współczynnik filtracji mieści się w granicach 0,3 ÷ 0,72 m/h. Podobnie jak na wybrzeżach klifowych, lokalnie występuje kontakt tej warstwy z wodonośnymi utworami mioceni, co stwierdzono w rejonie Ustki, Orzechowa, Dębiny, Rowów, Smołdzina, Łęby, Kopalina, Białogóry, Dąbek i Trójmiasta (Kryza J. i współautorzy, 2005 [6], Pruszkowska-Caceres M., 2012 a [14]).

Górna plejstoceni warstwa wodonośna jest ciągła na całym obszarze wybrzeża i występuje na głębokości 10 ÷ 40 m p.p.t. Zbudowana jest z piasków wodolodowcowych o różnej granulacji zlodowacenia Wisły o współczynniku filtracji w granicach od 0,04 do 8,3 m/h. Zwierciadło wody jest swobodne lub lekko napięte i uклада się na rzędnych od 1 m n.p.m. do 0 m n.p.m. w linii brzegowej. Ze względu na niską przepuszczalność środowiska wodonośnego i małe gradienty hydrauliczne wody podziemne na nizinach charakteryzują się bardzo powolnym przepływem.

Warunki hydrogeologiczne typowe dla wybrzeża płaskiego pokazano na przekroju hydrogeologicznym (rys. 4), a schemat warunków przepływu wód podziemnych na rys. 5a.

Lokalnie górna warstwa plejstoceni kontaktuje się z warstwą dolną, co stwierdzono w rejonie Wytowna, Smołdzina i Dąbek. Łączy się również z wodonośnymi piaskami holocenu pochodzenia eolicznego, morskiego lub jeziorno-lagunowego, tworząc wspólny plejstoceni-holoceni poziom wodonośny.

Miejscami wody poziomu holoceniowego są oddzielone od wodonośnych utworów plejstoceniowych warstwą namulów i torfów, a głębokość ich występowania nie przekracza 1 m p.p.t. (Kozerski B., Pruszkowska M., 1996 [4], Kryza J. i współautorzy, 2005 [6]).

Szczególne warunki występowania wód w utworach plejstocenu i holocenu panują na mierzejach, gdzie na wodach słonych zalega soczewka wody słodkiej (rys. 5B). Najbardziej korzystne warunki spotykamy w miejscach, gdzie mierzeje są szerokie, a wydmy osiągają wysokość kilkunastu lub kilkudziesięciu metrów. Wody podziemne mają tu zwierciadło swobodne, które układa się na rzędnych $0,5 \div 5$ m n.p.m., a współczynnik filtracji wynosi $0,3 \div 1,1$ m/h. Warunki takie stwierdzono na Mierzei Helskiej, Wiślanej i Łebskiej (Kozerski B., Pruszkowska M., 1996 [4], Kryza J. i współautorzy, 2005 [6]).

CHARAKTER DRENAŻU WÓD PODZIEMNYCH PIĘTRA CZWARTORZĘDOWEGO NA WYBRZEŻU

Warstwy wodonośne występujące na wybrzeżach wysokich, klifowych najczęściej kontynuują się w morzu, i zależnie od głębokości oraz obecności izolujących osadów nieprzepuszczalnych ma miejsce podmorski rodzaj drenażu. Strefa mieszania się wód słodkich i słonych jest tu przesunięta w głąb morza i występuje w lub pod dnem zbiornika morskiego. Odległość tej strefy od brzegu jest uzależniona od wysokości ciśnień w warstwie wodonośnej, natężenia przepływu wód podziemnych i przepuszczalności warstw izolujących. Badania Piekarek-Jankowskiej wskazują, że wypływy wód z osadów czwartorzędowych w rejonie wybrzeża wysokiego Kępy Swarzewskiej znajdują się w odległości od 1,5 m do około 1 km od brzegu morza (Piekarek-Jankowska H. i współautorzy, 1994 [7], Piekarek-Jankowska H., 1996 a [8], b [9]).

Nawet w warunkach intensywnej eksploatacji rejonu te są uważane za najmniej narażone na ingresję wód morskich do warstw wodonośnych. Badania autorki wykazują jednak, że w sprzyjających warunkach budowy geologicznej, przy niedostatecznej izolacji warstwy wodonośnej, może dojść do odmorskiego zasolenia wód podziemnych, tak jak to miało miejsce we Władysławowie (Pruszkowska-Caceres M., 2012 a [14], b [15]).

W specyficznym przypadku, gdy klif przetnie warstwę wodonośną, może wystąpić drenaż brzegowy. W województwie pomorskim nie zaobserwowano jednak takich warunków (Kryza J. i współautorzy, 2005 [6]).

Drenaż o charakterze podmorskim występuje na fragmencie wybrzeża pomiędzy Ustką i Rowami, na wschód od Jeziora Sarbsko po rejon Białogóry, na Kępie Swarzewskiej, Puckiej, Redłowskiej i Orłowskiej. Na całym pozostałym obszarze wybrzeża w województwie pomorskim stwierdza się drenaż o charakterze brzegowym, a w niektórych miejscach także nadbrzeżny.

Na wybrzeżach płaskich wody serii mierzejowych oraz nizin nadmorskich pozostają w bezpośrednim kontakcie z wodami morskimi, przez które są drenowane. Drenaż ten odbywa się wzdłuż linii brzegowej (drenaż brzegowy), a warstwy wodonośne rozciągają się w głąb morza, stanowiąc jego dno. Wzdłuż linii brzegowej ma miejsce kontakt wód słodkich ze słonymi,

a zasięg strefy kontaktu jest uzależniony od warunków dopływu wód i tworzy strefę o szerokości od kilkudziesięciu do 300 metrów (Sadurski A., Krawiec A., 1998 [16]).

Na wybrzeżach płaskich (rodzaj mierzejowy i nizin nadmorskich), ze względu na bezpośredni kontakt wód słodkich i słonych oraz wyrównane ciśnienia wód podziemnych i słupa wody morskiej, łatwo może ulec zachwianiu w wyniku eksploatacji naturalna równowaga między tymi wodami. Takie sztuczne obniżenie zwierciadła wód podziemnych powoduje ingresję wód morskich w głąb warstw wodonośnych, którą określa się jako drenaż nadbrzeżny, i jednocześnie przesunięcie strefy przejściowej wód słodkich i słonych na obszar lądowy. Głębokość tego przesunięcia zależy od wielkości eksploatacji, przepuszczalności warstwy wodonośnej i wielkości zasilania wód podziemnych (Pruszkowska-Caceres M., 2012 a [14]). Zagrożenie intruzjami wód morskich jest największe na wybrzeżach płaskich rodzaju mierzejowego, takich jak mierzeje jezior Gardno, Łebsko i Sarbsko, Mierzeja Helska i Wiśłana. Obszary nizin i równin nadmorskich, ze względu na lateralne zasilanie, są narażone w mniejszym stopniu na wnikanie wód morskich do warstw wodonośnych. Może to jednak nastąpić w wyniku prowadzenia zbyt intensywnej eksploatacji wód podziemnych. Warunki takie występują na Równinie Łebskiej, Bielawskich i Karwieńskich Błotach, Tarasie Nadmorskim w Trójmieście i na Żuławach.

Problemy z zasoleniem wód podziemnych stwierdzano w licznych miejscach na wybrzeżu morskim. Nie wszystkie z nich wiążą się jednak z intruzjami wód morskich. Problem ten na polskim wybrzeżu Bałtyku jest bardziej skomplikowany, gdyż wiąże się z rozwojem linii brzegowej i lokalną obecnością pozostałości zatok morza litynowego, których zasolone wody są przyczyną zasolenia „młodo relikтового”. W województwie pomorskim taką sytuację stwierdzono w rejonie Łeby (Kryza J. i współautorzy, 2005 [6]). Inną przyczyną, może być ascensyjne wnikanie słonych wód reliktowych z głębszego podłoża, które ma miejsce w rejonie Łeby, Machowina czy Żuław (Kryza J. i współautorzy, 2005 [6]). Faktyczne intruzje wód morskich do warstw wodonośnych obserwowano w rejonie Ustki, Władysławowa i Gdańska (Jaworska-Szulc B. i współautorzy, 2007 [1], 2011 [2], Kryza J. i współautorzy, 2005 [6], Pruszkowska-Caceres M. 2009 [12], 2011 [13], 2012 a [14], b [15]). Obecnie, na skutek ograniczenia eksploatacji lub przesunięcia nadmorskich ujęć w głąb lądu, zjawisko to znacznie uległo ograniczeniu.

Problemy z zasoleniem wód podziemnych mogą wystąpić także w ujściowych odcinkach rzek uchodzących do morza, takich jak Słupia, Łupawa, Łeba, Reda, czy Wisła. Tu najwyraźniej zaznacza się wpływ spiętrzonych stanów morza w czasie sztormów prowadzących do powstania tzw. cofki, czyli wkroczenia wód morskich w ujściowy fragment rzeki. Konsekwencją tego zjawiska jest zasolenie płytkich wód podziemnych, najczęściej o czasowym charakterze (Pruszkowska-Caceres M., 2012 a [14]).

PODSUMOWANIE

Problematyka warunków hydrogeologicznych i wzajemnych relacji wód podziemnych i powierzchniowych na obszarach nadmorskich stanowi ważny naukowy i praktyczny problem badań hydrogeologicznych. Ich efektem powinno być opraco-

wanie zasad gospodarowania wodami podziemnymi w strefie brzegowej morza, tak aby nie naruszyć naturalnej równowagi pomiędzy słodkimi wodami podziemnymi oraz słonymi wodami morskimi i w konsekwencji nie doprowadzić do ingresji wód morskich do warstw wodonośnych.

Wybrany fragment wybrzeża Bałtyku w granicach województwa pomorskiego można uznać za reprezentatywny ze względu na zróżnicowanie budowy geologicznej i ukształtowania terenu oraz występowanie wszystkich rodzajów hydrogeologicznych wybrzeży.

W artykule wykazano, że na warunki dopływu wód podziemnych do morza wpływa budowa geologiczna i ukształtowanie brzegu morskiego wraz z przybrzeżnym pasem lądu. Nie są to jednak jedyne uwarunkowania. Niezwykle ważne znaczenie mają również stany wód morskich. Każda zmiana poziomu morza ma wpływ na ilość wód podziemnych, szczególnie tych płytko występujących, które dopływają do zbiornika morskiego. Na przykład wezbrania morza powodują zmniejszenie spadku zwierciadła wód gruntowych i w konsekwencji ograniczenie odpływu podziemnego lub zagrożenie ingresją.

Zagadnienie ingresji wód morskich do warstw wodonośnych na wybrzeżu będzie nabierać znaczenia w nadchodzących latach w związku ze zmianami klimatycznymi i groźbą podniesienia się poziomu mórz i oceanów. Stąd, prowadzone badania hydrogeologiczne na wybrzeżu powinny zmierzać do ustalenia stałej i bezpiecznej eksploatacji ujęć wód podziemnych, czyli wyznaczenia bezpiecznego wydatku ujęć, przy którym w przyszłości nie zajdą procesy degradacji zasobów wód słodkich. Konieczne jest ustalenie warunków granicznych i zasad, które umożliwią optymalną eksploatację i ochronę wód strefy bezpośredniego spływu do Bałtyku, bez zagrożenia uszczuplenia ich zasobów, uaktywnienia frontów zasolenia i dopływu do ujęć innych zanieczyszczeń.

LITERATURA

1. Jaworska-Szulc B., Kozerski B., Pruszkowska M., Przewłocka M.: The changes of groundwater quality of the „Czarny Dwór” intake as a result of the aquifer vulnerability. W: Groundwater vulnerability assessment and mapping. / ed. Witkowski A. J., Kowalczyk A./ International Association of Hydrogeologists. London: Taylor and Francis. (Series IAH-Selected Papers / Nick S. Robins), vol. 11, 2007, 115-123.
2. Jaworska-Szulc B., Pruszkowska-Caceres M., Przewłocka M.: Groundwater quality in the Gdansk Aquifer System. W: Ecohydrological methods in

water management. /Red. Sawicki J., Szpakowski W., Gdańsk: Wyd. Politechniki Gdańskiej, 2011, 31-48.

3. Kondracki J.: Geografia regionalna Polski. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 2002.
4. Kozerski B., Pruszkowska M.: O pochodzeniu zasolenia wód podziemnych wybrzeża Bałtyku. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 1, 1996, 46-48.
5. Kozerski B., Sadurski A.: Klasyfikacja hydrogeologiczna strefy brzegowej południowego Bałtyku. Peribalticum III, Ossolineum, Gdańsk, 1983, 27-36.
6. Kryza J., Kryza H., Pruszkowska M., Szczepiński J., Szlufik A., Tomaszewski B.: Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki bezpośredniego odpływu podziemnego do akwenu bałtyckiego z analizą możliwości zagospodarowania i ochrony wód podziemnych. IMS, 2005, (nie publikowane).
7. Piekarek-Jankowska H., Matciak M., Nowacki J.: Salinity variations as an effect of groundwater seepage. Oceanologia, 36(1), 1994, 33-46.
8. Piekarek-Jankowska H.: Rodzaje drenażu wód podziemnych na wybrzeżu Zatoki Gdańskiej. Przegląd Geofizyczny, nr 3, 1996 a, 177-191.
9. Piekarek-Jankowska H.: Hydrochemical effects of submarine groundwater discharge to the puck bay (southern Baltic sea, Poland). Geographia Polonica, 67, 1996 b, 103-119.
10. Pietrucień Cz.: Regionalne zróżnicowanie warunków dynamicznych i hydrochemicznych wód podziemnych w strefie brzegowej południowego i wschodniego Bałtyku. Wyd. UMK, Toruń, 1983.
11. Potrykus D.: Warunki występowania naturalnych wypływów wód podziemnych w rejonie Przylądka Rozewie. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 2, Gdańsk, 2015, 93-105.
12. Pruszkowska-Caceres M.: Hydrogeochemia strefy kontaktu wód słono-słodkich na wybrzeżu Bałtyku na przykładzie rejonu Ustki. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 6, Gdańsk, 2009, 430-435.
13. Pruszkowska-Caceres M.: Wpływ wezbrań sztormowych morza na skład chemiczny płytkich wód podziemnych w rejonach nadmorskich na przykładzie Ustki. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa, nr 2, 2011, 505-512.
14. Pruszkowska-Caceres M.: Analiza zmienności fizyczno-chemicznej słodkich wód podziemnych w strefie kontaktu z wodami słonymi, na przykładzie rejonów nadmorskich i niecek endoreicznych. Monografie Politechniki Gdańskiej nr 124, Gdańsk, 2012 a.
15. Pruszkowska-Caceres M.: Model hydrochemiczny ingresji wód morskich do czwartorzędowej warstwy wodonośnej we Władysławowie. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 6/2012 b, 659-662.
16. Sadurski A., Krawiec A.: Zagrożenie zasobów wód podziemnych w nadmorskich obszarach zurbanizowanych Bałtyku Południowego. W: Hydrogeologia obszarów zurbanizowanych i uprzemysłowionych. Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, 1998, 176-184.