

Warunki występowania naturalnych wypływów wód podziemnych w rejonie Przylądka Rozewie

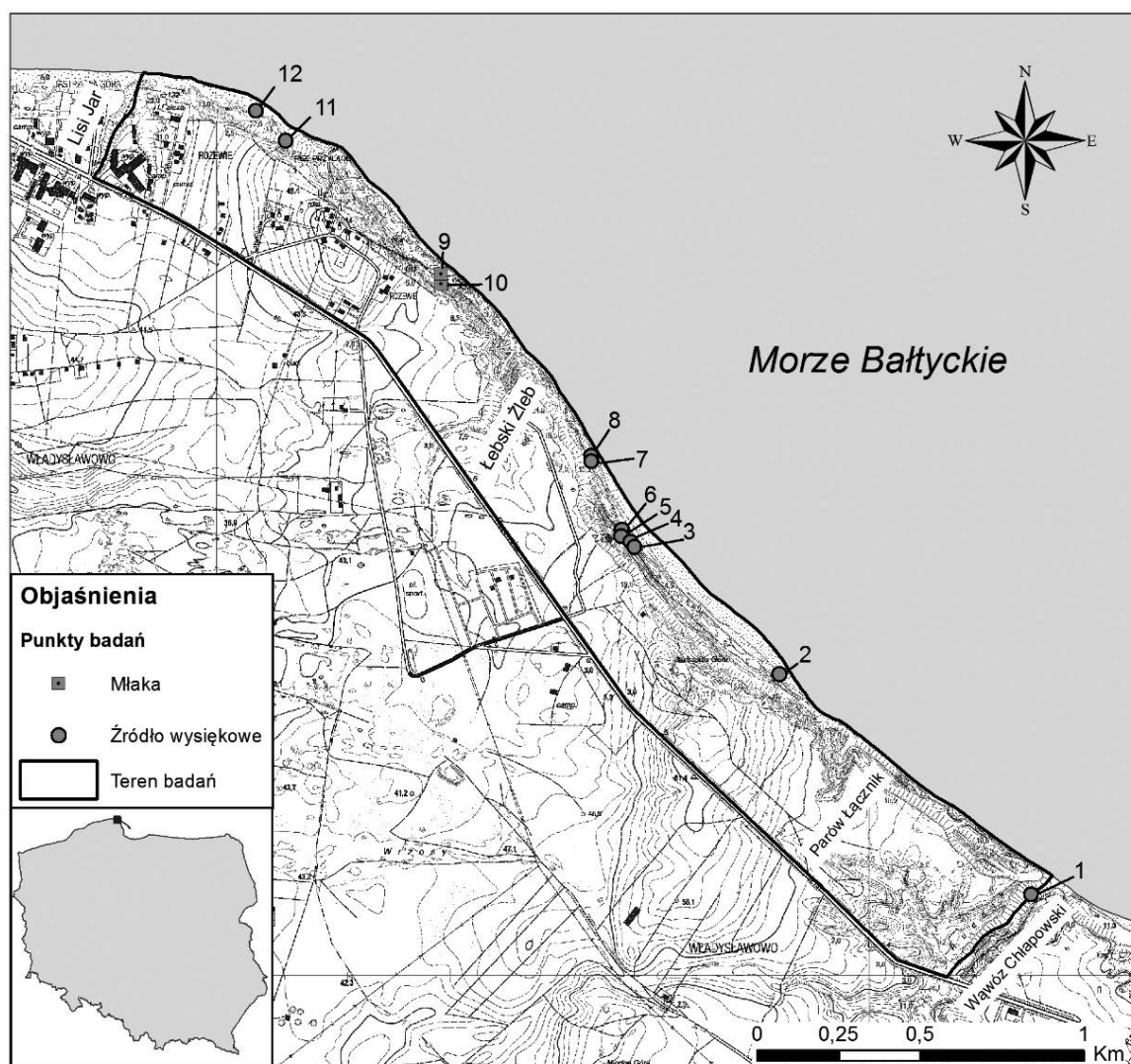
Mgr Dawid Potrykus

Zakład Usług Hydrogeologicznych Jarosław Florczyk

Rejon Przylądka Rozewie ze względu na specyficzną budowę geologiczną jest do dnia dzisiejszego przedmiotem zainteresowania wielu geologów. W ostatnich kilkudziesięciu latach region ten stanowił obiekt multidyscyplinarnych badań geologicznych, czego efektem było powstanie wielu opracowań poświęconych głównie budowie geologicznej utworów kenozoicznych oraz tematyce procesów geodynamicznych zaznaczających się w strefie klifowej. Niestety, występujące w strefie brzegowej wypływy wody podziemnej nie budziły jak dotąd szczególnego zainteresowania badaczy, przez co z trudem można doszukać się jakichkolwiek opracowań opisujących te zjawiska. Dzięki dokładnej analizie materiałów archiwalnych oraz wykonaniu własnych badań autora było możliwe scharakteryzowanie pod względem hydrogeologicznym warunków występowania naturalnych wypływów wód podziemnych na analizowanym obszarze.

Podczas szeregu wizji terenowych z użyciem odbiornika GPS (GARMIN 60CSx) oraz map topograficznych, geodynamicznych i turystycznych wykonano inwentaryzację źródeł wypływających ze zbocza na Przylądku Rozewie. Na badanym terenie zlokalizowano 12 niewielkich wypływów wody podziemnej. Dokonano selekcji wypływów na podstawie licznych, możliwych do zastosowania kryteriów klasyfikacyjnych, a także podjęto próbę określenia dynamiki wydatku czterech wybranych wypływów wody podziemnej.

Powstanie specyficznych warunków krenologicznych na przedmiotowym terenie było zainicjowane poprzez szereg procesów geologicznych, na które w największym stopniu składa się abrazja morska odpowiedzialna za przerwanie ciągłości występującej tu warstwy wodonośnej, a także będące jej następstwem procesy stokowe formujące miejsce wypływu. Równie ważna była odpowiednia budowa geologiczna i morfologia



Rys. 1. Lokalizacja terenu badań

opracowywanego obszaru, a także dogodnie możliwości zasilania drenowanej przez badane wypływy warstwy wodonośnej.

Niniejszy artykuł jest efektem dwuletnich badań autora prowadzonych w ramach pracy magisterskiej pt.: „Reżim źródeł występujących w pasie nadmorskim w rejonie Jastrzębiej Góry”, która powstała na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego w 2014 roku [9]. Pominięto problematykę właściwości fizykochemicznych oraz jakości wód podziemnych, skupiając się na uwarunkowaniach występowania i dynamiki badanych wypływów.

CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ

Teren badań pod względem administracyjnym znajduje się w województwie pomorskim, powiecie puckim, gminie Władysławowo. Obszar ma kształt wydłużonego pasa o łącznej powierzchni terenu wynoszącej 1,5 km². Granice terenu badań poprowadzono w sposób wykorzystujący naturalne lineamenty, przy czym pokrywają się one z przebiegiem szlaków turystycznych. Północno-wschodnia granica jest wyznaczona zgodnie z kształtem linii brzegowej morza, zaś równoległa do niej granica południowo-zachodnia zgodnie z przebiegiem granicy Nadmorskiego Parku Krajobrazowego, a także drogą wojewódzką nr 215. Granicę południowo-wschodnią wyznacza okresowo płynący potok Rudnik w obrębie Wąwozu Chłapowskiego, natomiast granica północno-zachodnia pokrywa się z płynącym wewnątrz Lisiego Jaru okresowym ciekim powierzchniowym (rys. 1).

Obszar badań jest położony w nadmorskiej strefie północnej Polski, jednostce geomorfologicznej Pobrzeże Kaszubskie. Obejmuje on morfologicznie urozmaiconą północną część Kępy Swarzewskiej, której cały odcinek wybrzeża od Jastrzębiej Góry do Władysławowa ma charakter klifowy. Kępa Swarzevska jest to niewielkie wyniesienie morenowe, regularnie podcinane przez fale morskie od strony morza i izolowane pradoliną od wysoczyzn morenowych, rozciągających się wewnątrz ładu [8]. Współczesna rzeźba terenu kształtowała się pod wpływem działania szeregu procesów geologicznych, które doprowadziły do powstania na tym obszarze wielu form o zróżnicowanej genezie. Wyróżniono tu formy pochodzenia lodowcowego, wodnolodowcowego, rzeczno, morskiego, deluwialnego oraz eolicznego [11]. Najwyżej położony punkt znajduje się w środkowej części terenu, a jego rzędna wynosi 69 m n.p.m. Najniższe położone miejsce wyznacza linia brzegowa, która plasuje się na poziomie morza. Deniwelacje w obrębie wysoczyzny wynoszą średnio 10 m, w strefie klifowej od 30 do 60 m, a w wąwozach i jarach do 45 m. Największe spadki terenu, sięgające nieco ponad 50 stopni, stwierdzono w rejonie klifów i jarów (rys. 1).

Klimat na opracowywanym obszarze kształtuje się bezpośrednio pod wpływem oddziaływania Morza Bałtyckiego, które jest odpowiedzialne za notowane tu w ciągu roku temperatury powietrza, wielkość opadów, wilgotność powietrza, wielkość zachmurzenia, a także rozwój lokalnej cyrkulacji bryzowej [14]. Średnia roczna temperatura powietrza na opracowywanym obszarze wynosi 7,4°C, a wysokość opadów atmosferycznych w skali roku mieści się w granicach 550 ÷ 700 mm. Cechą charakterystyczną klimatu jest najmniejsza w Polsce amplituda temperatur rocznych oraz duża zmienność stanów pogodowych [2].

BUDOWA GEOLOGICZNA I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Ważną rolę w kształtowaniu się warunków występowania opracowywanych wypływów mają utwory czwartorzędowe oraz mioceneskie, które odsłaniają się wzdłuż badanego wybrzeża klifowego. Osady miocenu są wykształcone w postaci piasków oraz zwięzłych mułów z wkładkami węgla brunatnego [12]. Zależnie od ukształtowania ich powierzchni występują różne osady czwartorzędowe, pośród których widoczna jest wyraźna granica w budowie geologicznej znajdująca się w okolicy Łebskiego Żlebu [6, 10]. W zachodniej części odcinka od Lisiego Jaru do Łebskiego Żlebu wyróżnia się dwa poziomy gliny zwałowej. Dolna glina zwałowa szara leży bezpośrednio na utworach mioceneskich i tworzy spąg czwartorzędowej warstwy wodonośnej, która wykształcona jest w postaci piasków wodnolodowcowych ze żwirem. Wyżej w profilu znajduje się seria zastoiskowa wykształcona w postaci piasków drobnoziarnistych, mułków oraz ilów. Powyżej znajduje się górna glina zwałowa brunatna, która w centralnej oraz wschodniej części wysoczyzny przykryta jest piaskami sandrowymi. Natomiast, w pobliżu Łebskiego Żlebu występuje dodatkowa warstwa gliny zwałowej brunatnej. Miąższość dolnej gliny zwałowej szarej znacznie maleje w kierunku wschodnim, aż w pobliżu Łebskiego Żlebu warstwa ta zanika. Zauważalny jest natomiast wzrost miąższości piaszczysto-żwirowych utworów wodnolodowcowych, których było niewiele w pobliżu Lisiego Jaru [12].

Na obszarze rozciągającym się od Łebskiego Żlebu do Wąwozu Chłapowskiego, stwierdzono nieco odmienną budowę geologiczną w porównaniu z powyższym opisem. Spąg czwartorzędowej warstwy wodonośnej tworzy odsłaniająca się w ścianie klifu mioceneska warstwa mułków, na której leży bruk morenowy złożony w zdecydowanej większości ze skał krystalicznych. Dodatkowo, w okolicy Wąwozu Chłapowskiego, bruk morenowy podścielają mioceneskie piaski mułkowe. Powyżej znajdują się skośnie warstwowane piaski różnoziarniste i żwir serii międzymorenowej, które drenują badane wypływy. Przykryte są one gliną zwałową brunatną, a następnie piaskami postglacjalnymi. Wśród piaszczysto-żwirowych osadów serii międzymorenowej mogą występować iły warwowe, które stwierdzono w kilku miejscach klifu chłapowskiego [10].

W obrębie terenu badań stwierdzono występowanie ośmiu osuwisk na powstanie, których największy wpływ miały: abrazja morska, budowa geologiczna wybrzeża klifowego oraz wypływy wody podziemnej. Opracowywany teren charakteryzuje się odcinkami klifów, na których występują żywe zjawiska osuwiskowe (klif aktywny) oraz takimi, na których zjawiska te już ustały (klif martwy). Zaznaczające się kolejno procesy stokowe miały wpływ na uformowanie się miejsc wypływu wody podziemnej.

W rejonie opracowywanego obszaru występują dwa poziomy wodonośne: neogeński (mioceneski) i czwartorzędowy. Głównym poziomem użytkowym jest poziom neogeński (mioceneski), który budują piaski o zróżnicowanej granulometrii. Znajduje się on na głębokości około 20 m p.p.m., przy czym zwierciadło wody ma charakter napięty i stabilizuje na poziomie zbliżonym do poziomu morza.

Badane wypływy drenują czwartorzędowy poziom wodonośny, którego zwierciadło wody ma charakter swobodny

i plasuje się na wysokości kilku metrów ponad poziom morza. Zbudowany jest on z piasków wodnolodowcowych ze żwirem i otoczkami, a zasilanie tego poziomu odbywa się wskutek infiltracji opadów atmosferycznych. Obszary charakteryzujące się najkorzystniejszymi warunkami infiltracji wody opadowej znajdują się na płaskich, niezalesionych obszarach powyżej krawędzi klifu oraz na wychodniach piasków wodnolodowcowych, szczególnie w pobliżu parowów. Infiltracji nie sprzyja natomiast pokrywająca znaczny obszar dwumetrowa warstwa gliny zwalowej, która stanowi barierę do bezpośredniego zasilania tego wodonośca. Spływ wód podziemnych odbywa się generalnie w stronę Morza Bałtyckiego. Poziom czwartorzędowy nie jest ujęty pobliskimi otworami, gdyż nie spełnia on kryterium poziomu użytkowego. Niestety wiąże się to z brakiem szczegółowych informacji na temat obecnego położenia zwierciadła wody oraz jej chemizmu. W pobliżu ujęcia we Władysławowie oba poziomy znajdują się ze sobą w więzi hydraulicznej [2].

WYNIKI OBSERWACJI I BADAŃ

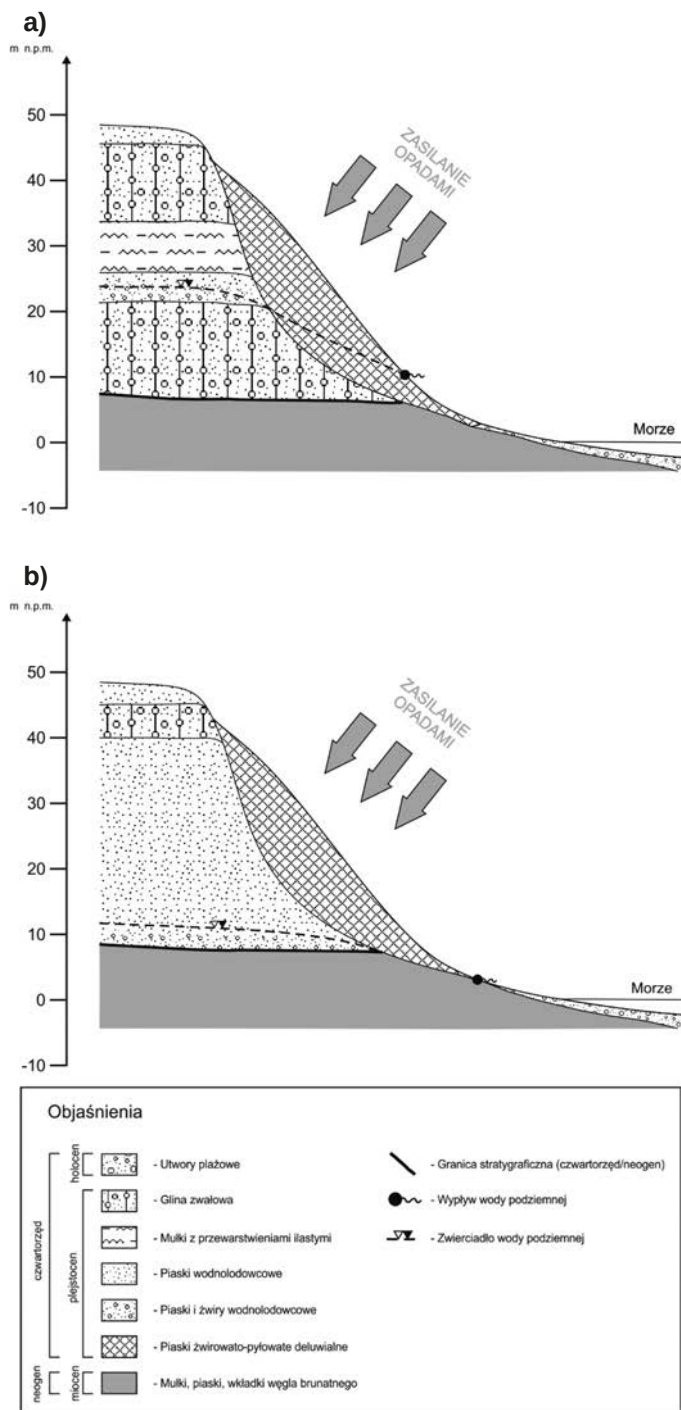
Zasilanie badanych wypływów

Badane wypływy wody podziemnej są zasilane wodami pochodzącymi z dwóch stref, na które składa się czwartorzędowa warstwa wodonośna oraz osuwisko (rys 2). Wzdłuż opracowywanego wybrzeża klifowego, czwartorzędowa warstwa wodonośna nie odsłania się bezpośrednio w ścianie klifu, gdyż na całej jego długości jest przykryta zmiennej miąższości koluwium. W związku z tym wysączająca się z czwartorzędowej warstwy wodonośnej woda spływa grawitacyjnie pod osuwiskiem, gdzie miesza się z infiltrującymi w obrębie osuwiska wodami opadowymi. Uważa się, że głębokość zalegania oraz parametry hydrogeologiczne czwartorzędowej warstwy wodonośnej, a także parametry osuwiska (tj. miąższość, nachylenie, wielkość powierzchni czy skład granulometryczny) mogą regulować wielkość udziału mieszania się wód pochodzących z obu stref.

Wybrzeże klifowe stanowi miejsce intensywnego drenażu i zależnie od panujących warunków hydrogeologicznych, woda podziemna może wypływać spod lub ze środka koluwium, bądź też bezpośrednio spływać podziemnie w kierunku morza. Ze względu na zbyt małą wydajność badanych wypływów woda nie odpływa z nich w pełni powierzchniowo w kierunku morza, lecz infiltruje w piaski plażowe i kolejno odpływa podziemnie po opadającej na północ warstwie mułków miocénskich (rys. 2). Płytko zalegająca czwartorzędowa warstwa wodonośna świadczy o tym, że drenaż wód podziemnych odbywa się w bliskiej odległości od brzegu w kierunku morza.

Charakterystyka i klasyfikacja badanych wypływów

Bardzo istotne znaczenie w analizach krenologicznych ma właściwa identyfikacja oraz prawidłowa charakterystyka poszczególnych miejsc wypływu wody podziemnej na powierzchnię terenu. Jednak w literaturze nie istnieje ogólny podział, na podstawie którego można by sklasyfikować naturalne wypływy wody podziemnej [7]. W związku z tym przy ich opisie trzeba odnosić się do poszczególnych składowych, które wpływają



Rys. 2. Schematy zasilania badanych wypływów w obrębie terenu badań
a) obszar na zachód od Lebskiego Żlebu,
b) obszar na wschód od Lebskiego Żlebu

na charakter istnienia wypływu wody podziemnej. Wymaga to stosowania odrębnych klasyfikacji, które są wykorzystywane w wielu publikacjach poruszających problematykę krenologiczną.

W dotychczasowych pracach opisujących badany teren istnieją pewne rozbieżności, co do określenia charakteru wypływu wody podziemnej. Autorzy „Hydrogeologii ogólnej” [7] zaliczają te wypływy do źródeł, czyli samoczynnych, naturalnych i skoncentrowanych wypływów wody podziemnej. Informację tę powinno się raczej przyjmować z pewnym uogólnieniem, gdyż z postępem rozwoju prac związanych głównie z badaniem

Tabl. 1. Klasyfikacja badanych wypływów wód podziemnych

Kryterium klasyfikacji	Typ i rodzaj wypływów	Liczba wypływów	% wszystkich wypływów
Rodzaj ośrodka hydrogeologicznego [5, 7]	warstwowy:	12	100
	kontaktowo-erozyjny	9	75
	zaporowy	3	25
Geneza wypływającej wody [3]	meteoryczny	12	100
Rodzaj drenowanego zbiornika wód podziemnych [7]	porowy	12	100
Ciągłość funkcjonowania wypływów [5]	stały (trwały)	11	92
	okresowy (efemeryczny)	1	8
Siła motoryczna powodująca wypływ [7]	descenzyjny (grawitacyjny)	12	100
Skład granulometryczny w miejscu wypływu [5]	piaszczysto-żwirowy	12	100
Położenie i stosunek do obiektów morfologicznych [1, 5, 7]	zboczowo-klifowy	2	17
	krawędziowo-przykorytowy	1	8
	krawędziowo-klifowy	9	75

zjawisk geodynamicznych zaznaczających się w strefie klifowej [12, 13, 15] przyjęto, że występujące tu wypływy wody podziemnej mają charakter nieskoncentrowany i należałoby im przypisywać miano wysięków oraz młak.

Podczas dokładnej wizji w terenie stwierdzono, że w punktach numer 9 i 10 (rys. 1) wypływ wody podziemnej następuje w sposób charakterystyczny dla młak. Jest on nieskoncentrowany, powierzchniowy i rozlewny, a obecność opaski brzegowej powoduje częściowe zatamowanie swobodnego odpływu wody ku morzu. Efektem jest zabagnienie obszaru oraz rozwój roślinności hydrofilnej. Obecnie unowocześnioną opaskę brzegową wyposażono w rury drenażowe umożliwiające w miarę bezproblemowy odpływ wody.

W pozostałych miejscach opracowywanego terenu woda wydobywa się głównie w sposób skoncentrowany, dzięki czemu badane wypływy można zaliczyć (w aspekcie hydrogeologicznym) do źródeł. Jednakże w trakcie prowadzonych prac terenowych zauważono zmianę charakteru wypływu wody podziemnej. Jest to spowodowane przerwaniem lub zmniejszeniem zasilania warstwy wodonośnej i koluwium podczas dłuższych okresów bezopadowych. W niektórych miejscach skoncentrowany wypływ wody podziemnej może być także utrudniony ze względu na zachodzące w strefie klifowej zjawiska osuwiskowe. Powstające u podnóża wybrzeża klifowego koluwium może zasypać wypływ, a zarazem utrudnić swobodne wydobywanie się wody podziemnej na powierzchnię terenu. Przy takim schemacie istotna jest wielkość porów wewnątrz koluwium, która jest determinowana przez wiele czynników (tj. uziarnienie, sposób scementowania oraz kształt i ułożenie ziaren). Krążąca w skałach okruchowych woda trafiając na przeszkodę, próbuje przesączyć się przez nią, szukając jak najłatwiejszej drogi ujścia. Powoduje to rozproszenie strumienia wody, czego efektem jest powolne wysączenie się wody w obrębie koluwium. Mając na uwadze powyższe obserwacje, autor niniejszej pracy skłania się do nadania badanym wypływowi (z wyjątkiem nr. 9 i 10) miana źródeł wysiękowych¹.

Obecne w literaturze podziały krenologiczne odnoszą się zwykle do źródeł, lecz wiele z nich można odnieść również do wypływów o charakterze nieskoncentrowanym [5]. Uwzględ-

niając tę tezę oraz zalecenia Z. Pazdro i B. Kozerskiego [7], badane wypływy opisano wielostronnie przy uwzględnieniu wszystkich kryteriów stosowanych w literaturze tematu. Jednakże, prawidłowe sklasyfikowanie wypływów może stanowić niemały problem dla wielu badaczy i zależy głównie od indywidualnego podejścia każdego autora. Analiza klasyfikacyjna wymaga także długoterminowych obserwacji, co niestety było pewnym utrudnieniem w rozważanym przypadku. Badane wypływy pogrupowano na podstawie siedmiu kryteriów klasyfikacyjnych (tabl. 1).

Jak zauważono, badane wypływy charakteryzują się szczególnie małą różnorodnością względem poszczególnych kryteriów klasyfikacyjnych. Jest to wynikiem w miarę jednorodnych, nakładających się na siebie czynników przyrodniczych, tj.: wykształcenia litologicznego utworów, z których wypływa woda podziemna, morfologii w miejscu wypływu wody podziemnej czy warunków zasilania i drenażu czwartorzędowej warstwy wodonośnej.

Ze względu na rodzaj ośrodka hydrogeologicznego (rodzaj przewodów wyprowadzających wodę podziemną), wszystkie wypływy zaliczono do warstwowych. Wypływy tego rodzaju są niewielkie i mało wydajne, co według Z. Pazdro i B. Kozerskiego [7] jest uzasadnione znacznymi oporami w środowisku porowym. Najwięcej spośród badanych wypływów jest tych o złożonym charakterze, kontaktowo-erozyjnym. Znajdują się one na granicy czwartorzędowej warstwy wodonośnej wykształconej w postaci piasków wodnolodowcowych ze żwirami z warstwą nieprzepuszczalną, reprezentowaną przez mulki mioceńskie. Ich erozyjny charakter wiąże się z genezą przerwania ciągłości warstwy wodonośnej wskutek niszczącej działalności wód płynących w obrębie jaru, a także abrazji morskiej odpowiedzialnej za degradację wybrzeża klifowego. Natomiast wypływy zaporowe powstały na przedmiotowym terenie wskutek zmniejszającej się miąższości warstwy wodonośnej, gdy zawarta w niej woda nie może pomieścić się i wypływa na powierzchnię w określonych miejscach.

Wszystkie opracowywane wypływy są zasilane w wyniku infiltracji opadów atmosferycznych. Ze względu na rodzaj drenowanego zbiornika wód podziemnych we wszystkich badanych miejscach stwierdzono wypływy z utworów porowych. Biorąc pod

¹ Nazewnictwo zgodne z Międzynarodowym Słownikiem Hydrologicznym [4].

uwagę ciągłość występowania wypływów, z wyjątkiem jednego (nr 2) zdecydowano się zaliczyć je do stałych, lecz ze względu na czas wykonywanych badań nie można stwierdzić tego ostatecznie. Cykliczność występowania jednego wypływu zbiega się z okresem „spokojnego morza”. Woda podziemna w tym miejscu wypływa z utworów plażowych, w niedużej odległości od morza. Podczas silnego falowania i sztormów (jesień – zima) wypływ ten jest przykryty osadami plażowymi lub znajduje się pod wodą, a odsłania się w okresie wiosenno-letnim, po roztopach.

Siłą motoryczną odpowiedzialną za wydobywanie się wody podziemnej na powierzchnię jest siła grawitacji, czyli wszystkie wypływy mają charakter descenzyjny. Woda we wszystkich badanych miejscach wydobywa się z utworów piaszczysto-żwirowych. Ze względu na położenie i stosunek do obiektów morfologicznych dominują wypływy krawędziowo-klifowe i zboczowo-klifowe (tabl. 1).

Wydajność badanych wypływów

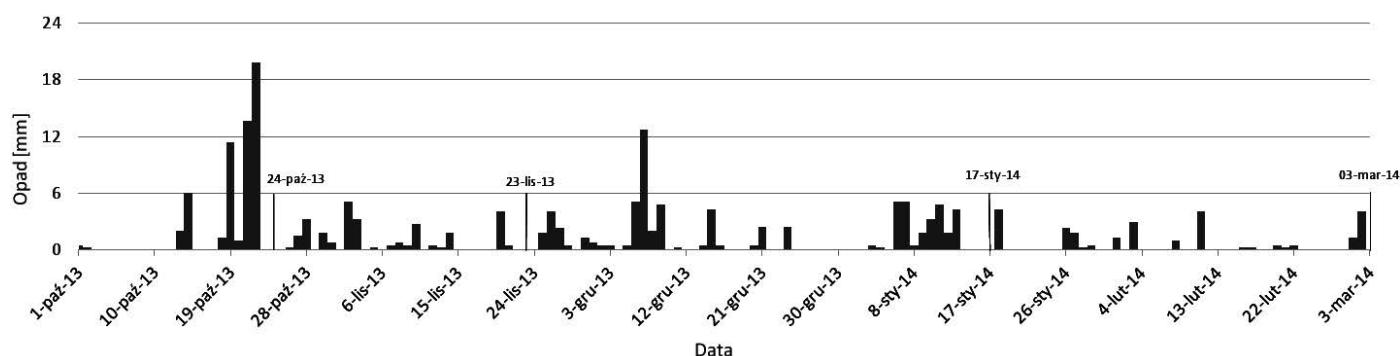
Pomiary wydajności prowadzono w czterech wybranych źródłach, podczas czterech sesji terenowych w okresie od 24 października 2013 roku do 3 marca 2014 roku, przez co badanie to ma niestety charakter punktowy, a nie ciągły. Badanie prowadzono za pomocą podstawionego wycechowanego naczynia oraz stopera. Aby uzyskany wynik był możliwie jak najbardziej dokładny, wykonywano kilkukrotne pomiary wydajności jednego wypływu podczas każdej serii pomiarowej, a następnie liczono z nich średnią. Wyboru miejsc pomiarowych dokonano na podstawie warunków wypływu wody podziemnej oraz możliwości technicznych wykonania pomiaru. W większości miejsc przeprowadzenie dokładnego pomiaru wymagałoby zbyt dużej

ingerencji w środowisko na terenie Nadmorskiego Parku Krajobrazowego, a także byłoby mało wiarygodne i zbyt trudne do przeprowadzenia, biorąc pod uwagę nieskoncentrowany charakter wypływu wody podziemnej. Liczba wykonanych pomiarów jest niestety zbyt mała, aby przedstawić ostateczne wnioski odnośnie przebiegu długookresowych zmian wydajności badanych wypływów. Natomiast na ich podstawie można sformułować ogólne wnioski odnoszące się do drenowanej warstwy wodonośnej.

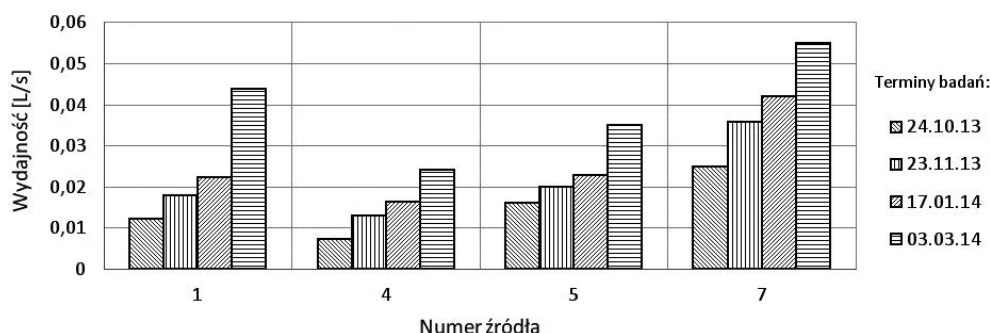
W źródle nr 1 wydajność zmieniała się od 0,012 do 0,044 l/s, w źródle nr 4 od 0,007 do 0,024 l/s, natomiast w źródłach nr 5 i 7 odpowiednio od 0,016 do 0,035 l/s i od 0,025 do 0,055 l/s. Uzyskane wartości pozwalają w pełni na zaliczenie ich do VII klasy Meinera (0,01-0,1 l/s) z wyjątkiem źródła nr 4, które przez pewien okres należało do VIII klasy (< 0,1 l/s) (tabl. 2, rys. 4).

Jak wspomniano wcześniej, liczba przeprowadzonych pomiarów jest zbyt mała, aby określić długookresowe zmiany wydajności opracowywanych źródeł. Jednakże, dzięki uzyskanym wynikom jest zauważalna pewna prawidłowość w przebiegu zmian wydajności źródeł na tle dobowych sum opadów atmosferycznych (rys. 3, rys. 4).

Najmniejsze wydajności we wszystkich badanych źródłach odnotowano 24 października 2013 roku. Na podstawie kolejnych pomiarów można zaobserwować ogólny wzrost wydajności, co może być efektem równomiernie rozłożonych opadów występujących w okresie jesiennym. W dniu 3 marca 2014 roku w każdym badanym źródle zauważono największe wydajności (rys. 4). Jest to związane głównie z zasilaniem badanych wypływów wodami pochodzącymi z topniejącej pokrywy śnieżnej, której infiltrację znacznie ułatwiają niskie temperatury powietrza ograniczające parowanie.



Rys. 3. Zestawienie terminów pomiarów wydajności źródeł na tle dobowych sum opadów w okresie od 1 października 2013 roku do 3 marca 2014 roku



Rys. 4. Zmiany wydajności czterech wybranych źródeł

Tabl. 2. Wydajność czterech wybranych źródeł w okresie prowadzenia pomiarów

Źródło	Data pomiaru	Wydajność [l/s]
1	24.10.13	0,012
	23.11.13	0,018
	17.01.14	0,023
	03.03.14	0,044
4	24.10.13	0,007
	23.11.13	0,013
	17.01.14	0,017
	03.03.14	0,024
5	24.10.13	0,016
	23.11.13	0,020
	17.01.14	0,023
	03.03.14	0,035
7	24.10.13	0,025
	23.11.13	0,036
	17.01.14	0,042
	03.03.14	0,055

Występujące u podnóża klifów źródła cechują się bardzo małą wydajnością, a uzyskane wartości nie odbiegają zbytnio od siebie, co według Z. Pazdro i B. Kozerskiego [7] jest charakterystyczne dla źródeł warstwowych. Na podstawie uzyskanych wartości można zauważyć, że wahania wydajności wszystkich obserwowanych źródeł w czasie są z sobą zbieżne. Świadczy to o tym, że są one ze sobą powiązane, drenują tę samą, czwartorzędową warstwę wodonośną. Można również stwierdzić, że badane wypływy są zasilane na obszarze o podobnych warunkach infiltracji wód opadowych. Mała zmienność uzyskanych wydajności wskazuje, że drenowana warstwa wodonośna znajduje się na znacznej głębokości, a widoczne sezonowe różnicowanie wydajności świadczą o zmianach zasilania wód podziemnych wodami opadowymi. Natomiast przestrzenne różnicowanie wydajności może wynikać głównie z wahań ciśnień hydrostatycznych w drenowanej warstwie wodonośnej lub odmiennej przepuszczalności hydraulicznej utworów skalnych.

PODSUMOWANIE

Warunki występowania opracowywanych wypływów wody podziemnej są złożone, gdyż na ich kształt miało wpływ wiele czynników i procesów. Głównym czynnikiem była abrazja odpowiedzialna za przerwanie ciągłości czwartorzędowej warstwy wodonośnej, a zarazem powstanie wybrzeża klifowego. Natomiast zachodzące kolejno w obrębie wybrzeża klifowego procesy stokowe uformowały miejsca wypływu wody podziemnej.

Zasilanie badanych wypływów wody podziemnej odbywa się w obrębie dwóch stref, które tworzą czwartorzędową warstwę wodonośną oraz osuwisko. Warstwę wodonośną budują piaski wodnolodowcowe ze żwirem i otoczkami, zaś przykry-

wające ją na całej długości badanego wybrzeża koluwium składa się z piasków żwirowato-pyłowych.

Wybrzeże klifowe stanowi miejsce intensywnego drenażu i zależnie od panujących warunków hydrogeologicznych woda podziemna może wydobywać się spod lub ze środka koluwium, bądź też bezpośrednio spływać podziemnie w kierunku morza po nieprzepuszczalnej warstwie utworów mioceńskich. Drenaż wód podziemnych odbywa się w bliskiej odległości od brzegu w kierunku morza, o czym świadczy płytko zalegająca czwartorzędowa warstwa wodonośna.

Na opracowywanym terenie stwierdzono występowanie wypływów wody podziemnej zarówno o charakterze skoncentrowanym, jak i nieskoncentrowanym. W toku badań stwierdzono, że wypływy nr 9 i 10 mają cechy charakterystyczne dla młak. W pozostałych miejscach woda wydobywa się w sposób skoncentrowany, lecz w trakcie prowadzonych prac terenowych zauważono zmianę charakteru wypływu wody podziemnej. Wynika to z przerwania lub zmniejszenia zasilania warstwy wodonośnej i koluwium podczas dłuższych okresów bezopadowych, a także z zachodzących w strefie klifowej zjawisk osuwiskowych, które mogą przysypać wypływ, utrudniając wydobywanie się wody podziemnej na powierzchnię terenu. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji najstosowniejsze wydaje się być nadanie tym wypływowi (z wyjątkiem nr. 9 i 10) miana źródeł wysiękowych.

Badane wypływy przeanalizowano względem siedmiu kryteriów klasyfikacyjnych. Charakteryzują się one szczególnie małą różnorodnością klasyfikacyjną, co jest wynikiem w miarę jednorodnych, nakładających się na siebie czynników przyrodniczych, tj.: wykształcenia litologicznego utworów, z których wypływa woda podziemna, morfologii w miejscu wypływu wody podziemnej oraz warunków zasilania i drenażu czwartorzędowej warstwy wodonośnej.

Występujące u podnóża klifów źródła cechują się bardzo małą wydajnością, a uzyskane wartości nie odbiegają zbytnio od siebie. Wydajność czterech badanych źródeł w żadnym przypadku nie przekroczyła 0,060 l/s, toteż można je zaliczyć co najwyżej do VII klasy Meinzera. Najmniejsze wartości odnotowano 24 października 2013 roku, zaś największe w dniu 3 marca 2014 roku. Związane jest to głównie z zasilaniem badanych wypływów wodami pochodzącymi z topniejącej pokrywy śnieżnej. Wahania wydajności wszystkich obserwowanych źródeł w czasie są z sobą zbieżne, co świadczy o tym, że źródła te są z sobą powiązane i drenują tę samą, czwartorzędową warstwę wodonośną. Można również stwierdzić, że badane źródła są zasilane na obszarze o podobnych warunkach infiltracji. Mała zmienność uzyskanych wydajności wskazuje, że drenowana warstwa wodonośna znajduje się na znacznej głębokości, a widoczne różnicowanie wydajności świadczą o wpływie infiltrujących wód opadowych w obrębie koluwium. Przestrzenne różnicowanie wydajności może natomiast wynikać z wahań ciśnień hydrostatycznych w drenowanej warstwie wodonośnej lub też nieco odmiennej przepuszczalności hydraulicznej utworów skalnych.

LITERATURA

1. Dynowska I., Tlałka A.: Hydrografia. PWN, Warszawa, 1982.

2. Frączek E.: Objąsnienia do mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000, arkusz Puck (6), PIG, CAG, Warszawa, 1998.
3. Macioszczyk A. [red.]: Podstawy hydrogeologii stosowanej. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2012.
4. Magnuszewski A., Soczyńska U. [red.]: Międzynarodowy słownik hydrologiczny. PWN, Warszawa, 2001.
5. Moniewski P.: Zagadnienia terminologiczne i współczesne kierunku badań krenologicznych. W: Jokiel P., Moniewski P., Ziulkiewicz M., [red.]: Źródła Polski, wybrane problemy krenologiczne. Łódź, 2007.
6. Passendorfer E., Zabłocki J.: O trzeciorzędowych i czwartorzędowych utworach brzegu Bałtyku pomiędzy Wielką Wsią a Jastrzębią Górą. Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, vol. 16, str. 169-176, 1946.
7. Pazdro Z., Kozerski B.: Hydrogeologia ogólna. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 1990.
8. Pietkiewicz S., Źmuda S.: Słownik pojęć geograficznych. Wiedza Powszechna, Warszawa, 1973.
9. Potrykus D.: Reżim źródeł występujących w pasie nadmorskim w rejonie Jastrzębiej Góry. Praca magisterska, Uniwersytet Warszawski Wydział Geologii, Warszawa, 2014.
10. Rudowski S.: Geologia klifu Kępy Swarzewskiej. Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, vol. 35, zeszyt 2, str. 301-322, Kraków, 1965.
11. Skompski S.: Objąsnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, arkusz Puck (6), PIG, CAG, Warszawa, 1997.
12. Subotowicz W.: Litodynamika brzegów klifowych wybrzeża Polski. Wyd. Ossolineum, Wrocław, 1982.
13. Tejchman A., Gwizdała K., Świdziński W., Brzozowski T., Krasinski A.: Stateczność i ochrona klifów polskiego wybrzeża. Projekt badawczy, Gdańsk, 1995.
14. Woś A.: Klimat Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1999.
15. Zachowicz J., Uściłowicz Sz., Jegliński W., Zaleszkiewicz L.: Objąsnienia do mapy geodynamicznej polskiej strefy brzegowej Bałtyku południowego 1:10 000, arkusz Jastrzębia Góra – Rozewie (38), PIG, Gdańsk, 2007.