

**Wacław Florek**  
**Iwona Pasamonik**  
**Katarzyna Szyc**

Akademia Pomorska  
Ślupsk  
wacek.florek@apsl.edu.pl

## **CHEMIZM WÓD ŹRÓDŁA W PODDĄBIU NA TLE CECH ŚRODOWISKA I MORFOLOGII NISZY ŹRÓDLISKOWEJ**

### **THE CHEMICAL WATER COMPOSITION IN THE SOURCE IN PODDĄBIE ON THE BACKGROUND OF ENVIRONMENT CHARACTERISTICS AND SPRING ALCOVE MORPHOLOGY**

**Zarys treści:** Treścią artykułu jest przedstawienie cech morfometrycznych niszy źródłiskowej usytuowanej na klifie w Poddąbiu na tle budowy geologicznej, cech geomorfologicznych i innych właściwości środowiska geograficznego. W badaniach cech morfometrycznych otoczenia niszy źródłiskowej nowatorsko zastosowano obrazy lidarowe. Przebadano też wybrane właściwości hydrochemiczne wód i ich zmienność w ciągu roku; wyniki badań wskazały na silny związek cech wody z właściwościami geochemicznymi skał budujących okolice Poddąbia. Badania przeprowadzono w okresie styczeń-grudzień 2012.

**Słowa kluczowe:** chemizm wód, nisza źródłiskowa, klif, Zatoka Ustecka, Poddąbie

**Key words:** water chemistry, spring niche (spring alcove), cliff, Ustecka Bay, Poddąbie

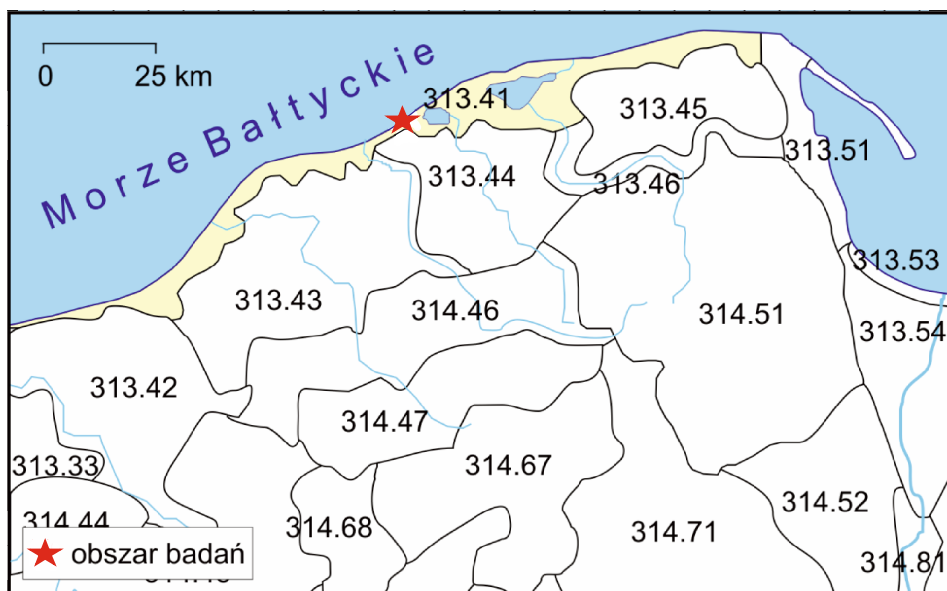
#### **Wprowadzenie**

Wpływy wód podziemnych uruchamiające erozję źródłiskową, jak i cały zespół procesów z nią związanych, stały się przedmiotem badań w ostatnich dziesięcioleciach (*Groundwater geomorphology...* 1990; Mazurek 2010). Przejawy ich morfologicznego oddziaływania, między innymi w postaci nisz źródłiskowych, obserwowane są we wszystkich strefach morfoklimatycznych, na terenach o zróżnicowanej budowie geologicznej i w różnych warunkach hydrologicznych i hydrogeologicznych. Rola wpływów wód podziemnych w umiarkowanej dziedzinie morfoklimatycznej w kształtowaniu rzeźby terenu nie jest w pełni doceniana. Wy-

nika to z faktu, że zachodzące zmiany klimatu oraz użytkowania terenu i związane z tym obniżenie poziomu wód podziemnych umniejsza rangę tego czynnika rzeźbotwórczego, a w rezultacie powoduje utratę związku przyczynowego między wpływami wód a związanymi z nimi formami erozyjnymi. Nadto efekty morfologiczne działania wód podziemnych mogą ulec tu zatarciu wskutek oddziaływania procesów fluwialnych, spłukiwania, ruchów masowych czy abrazji, zwłaszcza gdy ich efektywność jest mniejsza niż pozostałych z wymienionych procesów. Poza tym formy te są często niszczone i zniekształcane przez oddziaływanie roślinności i zwierząt, a także wskutek antropopresji (Mazurek 2010). Podobnym czynnikiem zniekształcającym mogą być poddawane także cechy hydrochemiczne wód wpływających ze źródeł, a także ilościowe i jakościowe parametry wynoszonych za ich pośrednictwem zawiesin.

### Cel, zakres i obszar badań

Celem pracy jest analiza składu chemicznego wód źródła położonego w klifie w Poddąbiu (na 224 km brzegu morskiego), na Wybrzeżu Słowińskim (ryc. 1) oraz cech rzeźby niszy źródliskowej – na tle budowy geologicznej, szaty roślinnej i zagospodarowania jej otoczenia, a także próba oceny dynamiki jej rozwoju (fot. 1). Osiągnięcie tego zasadniczego celu wiązało się z:



Ryc. 1. Położenie miejsca badań na tle podziału północnej Polski na mezoregiony wg J. Kondrackiego (1978); 313.41 – Wybrzeże Słowińskie, 313.44 – Wysoczyzna Dannicka  
 Fig. 1. The location of study area on division of Northern Poland into mesoregions by J. Kondracki (1978); 313.41 – Słowińskie Coast, 313.44 – Dannicka Upland



Fot. 1. Badana nisza źródliskowa w klifie w Poddąbriu (fot. E. Rydz)  
Photo 1. The examined spring alcove in the cliff in Poddąbriu (photo by E. Rydz)

- dokonaniem ogólnej charakterystyki środowiska geograficznego otoczenia źródła,
- zbadaniem zmienności intensywności wypływu wody i zmienności jej cech hydrochemicznych,
- przebadaniem cech morfologicznych niszy źródliskowej i jej otoczenia,
- próbą oceny roli warunków środowiskowych w rozwoju morfologicznym niszy źródliskowej,
- próbą oceny działalności człowieka w kształtowaniu niszy źródliskowej i cech hydrochemicznych wody wypływającej ze źródła.

Badania terenowe i laboratoryjne wykonano w roku 2012, a analizę obrazów lidarowych w roku 2014.

### **Budowa geologiczna i sytuacja hydrogeologiczna obszaru badań**

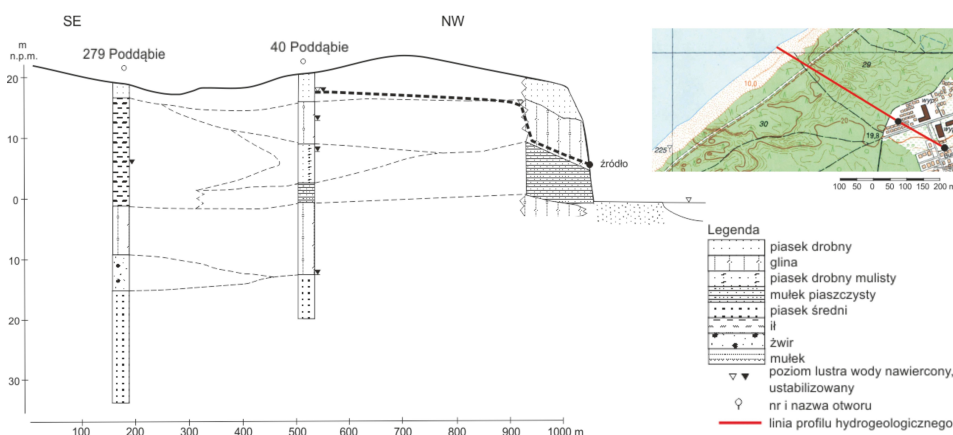
Odcinek wybrzeża, gdzie położone jest Poddąbriu został na dziesiątki lat ukształtowany przez katastrofalny sztorm w roku 1916, po którym utworzyło się znacznych rozmiarów osuwisko, jeszcze do niedawna decydujące o wyglądzie i zachowaniu się nadbrzeża. Również w następnych latach ekstremalne zjawiska sztormowe dominująco wpływały na jego kształt (por. Florek i in. 2010).

Obecnie klif na odcinku km 224,4-224,3, na którym znajduje się badane źródło, dzielą schody prowadzące na plażę. Fragment położony na zachód od schodów jest umiarkowanie wysoki (nieznacznie przekracza rzędną 19 m n.p.m.) i podkreślony niewielkich rozmiarów osuwiskiem. Po wyraźnym, ale równoległym cofnięciu się

górną jego część wiosną 1998, w dalszych latach ulegał stopniowemu obniżaniu. W części plażowej można było zaobserwować cykliczne, sezonowe zmiany szerokości plaży i miąższości budujących ją osadów.

Na wschód od schodów i badanego źródła klif jest dwustopniowy. Górną jego część stanowi niecka osuwiskowa przechodząca następnie w jezor osuwiskowy. Dolna część jezora jest aktywna, o czym świadczą zmiany w ukształtowaniu jego profilu podłużnego, które dokonały się w ciągu ostatnich kilku lat. Końcowa część jezora uległa wówczas zniszczeniu za sprawą abrazji.

Na całym tym odcinku nadbrzeża stropową warstwę, o miąższości 5-8 m, stanowi piasek, który spoczywa na kilkumetrowym pokładzie szarego łu piaszczystego z minką, zawierającego przewarstwienia piasku ilastego. Te utwory spływowe, i być może zastoiskowe, wzbogacone materiałem paleo- i neogeńskim leżą na glinie piaszczystej (spływowej) bądź ilastej (bazalnej) lub na piasku. Świadczy to o znacznym stopniu glacydynamicznego zaburzenia porządku sedymentacyjnego (ryc. 2). Takie warunki geologiczne powodują, że zwierciadło wody gruntowej lokalnie jest swobodne, w wielu miejscach z kolei jest napięte. Osady spoiste (iły piaszczyste i gliny) zawierają domieszkę węglanów, których udział sięga nawet 10% (Szachnowski 2003).



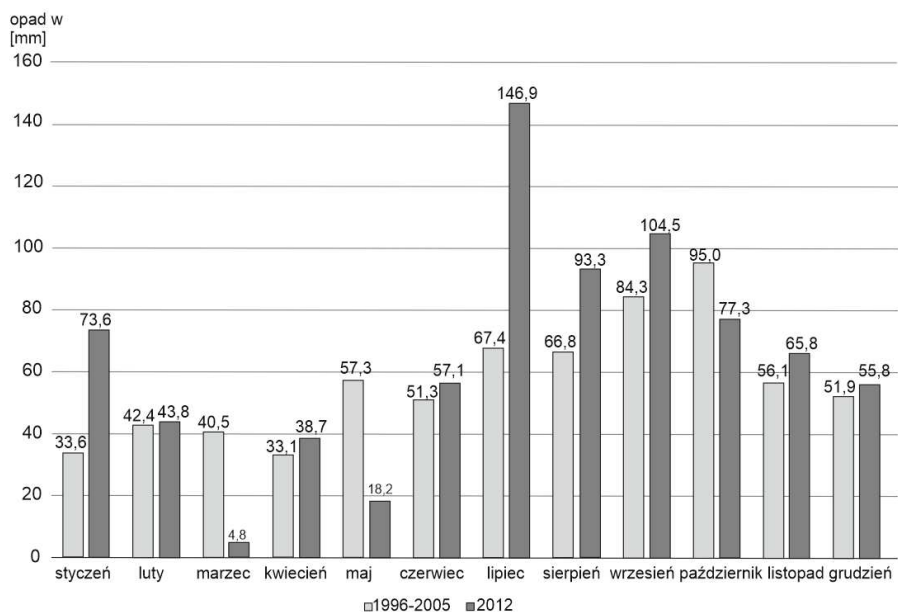
Ryc. 2. Budowa geologiczna strefy nadbrzeża w Poddąbiu  
Fig. 2. Onshore geologic structure in Poddąbie

## Warunki klimatyczne

Według klasyfikacji K. Prawdzica (1962) strefa brzegowa Bałtyku, w tym i okolicy Poddąbia, leży w krainie nadmorskiej, cechującej się długimi okresami bezprzymrozkowymi, krótkimi i późno zaczynającymi się zimami, niedługim latem i niewielką liczbą dni gorących. Bazując na danych ze stacji pomiarowej w Ustce z lat 1996-2005, D. Baranowski (2008) ustalił, że średnia temperatura roczna wynosi 8,6°C, a najcieplejszymi miesiącami są lipiec i sierpień (odpowiednio: 17,4 i 17,9°C), a najchłodniejszymi – styczeń (średnia dobowo: 0,5°C) i luty (1,2°C). Średnia rocz-

na suma opadów atmosferycznych wynosi 679 mm (najwyższa w roku 1998 – 873 mm, najniższa w roku 2003 – 497 mm). W Ustce występuje zdecydowana przewaga opadów jesiennych nad wiosennymi, a najobfitszy w opady jest październik. Pokrywa śnieżna odznacza się bardzo małą trwałością (średnio 38 dni w roku) i znaczną zmiennością czasową i przestrzenną (Baranowski 2008).

Na tym tle rok 2012 z sumą roczną opadów 779,8 mm można uznać za wilgotny, z bardzo suchą wiosną (suma opadów w okresie marzec-maj wyniosła 61,7 mm) oraz wilgotnym latem (suma opadów między lipcem a wrześniem wyniosła 344,7 mm, w tym w lipcu 146,9 mm), (ryc. 3). Warto też podkreślić, że jedynie w lipcu termin poboru próbek zbiegł się z okresem obfitych opadów.



Ryc. 3. Miesięczne sumy opadów w Ustce w roku 2012 na tle wartości przeciętnych z lat 1996-2005 (dane z lat 1996-2005 za D. Baranowskim 2008)

Fig. 3. Total monthly precipitation in Ustka in 2012 in comparison to the average of the years 1996-2005 (data from period 1996-2005 by D. Baranowski 2008)

## Metody badań

Na badania złożyły się:

- pomiar wydajności źródła i pobór próbek wody do analiz laboratoryjnych (raz na miesiąc, od grudnia 2011 do grudnia 2012); w niniejszym opracowaniu wyniki z grudnia 2011 zostały pominięte,
- wykonanie zdjęcia topograficznego obszaru sąsiadującego ze źródłem (w kwietniu 2012),

- wykonanie dokumentacji fotograficznej,
- badania laboratoryjne pobranych uprzednio próbek wody, wykonane w Laboratorium Sedymentologiczno-Gleboznawczym Zakładu Geoeologii i Geoinformacji Akademii Pomorskiej w Słupsku.

Pomiarów wydajności źródła dokonywano przy użyciu zastawki Ponceleta o przelewie prostokątnym (fot. 2), zgodnie z procedurą przedstawioną w *Instrukcji opracowania mapy hydrograficznej Polski w skali 1:50 000* (1964).



Fot. 2. Pomiar wydajności źródła z użyciem zastawki Ponceleta o przelewie prostokątnym (fot. E. Rydz)

Photo 2. The measurement of the spring discharge volume with Poncelet's lever with rectangular overflow (photo by E. Rydz)

W późniejszym terminie do opracowania włączono obraz lidarowy terenu badań uzyskany dzięki uprzejmości Urzędu Morskiego w Słupsku. Obrazy lidarowe, które powstały z chmur punktów z lotniczego skaningu laserowego ALS (wykonanego w grudniu 2012) zostały poddane szczegółowym analizom w programie Global Mapper v. 16. Wygenerowano w nim numeryczny model terenu NMT oraz wiele profili podłużnych i poprzecznych, dzięki którym uzyskano skrupulatne informacje o cechach morfologicznych badanej części wybrzeża. Podobną metodykę, badając strefę brzegową południowego Bałtyku za pomocą skaningu laserowego, zastosowała J. Dudzińska-Nowak (2007).

Badania laboratoryjne polegały na wykonywaniu oznaczeń na próbce o objętości  $1 \text{ dm}^3$  w dniu poboru próbek. W przypadku konieczności przesunięcia dokonania analizy w czasie próbki były utrwalane zgodnie z PN-EN ISO 5667-3:

- odczyn mierzono metodą potencjometryczną, a przewodność właściwą przy pomocy miernika konduktometrycznego ELMETRON CP-401,
- następnie próbkę wody filtrowano przez sącdek ilościowy średni do kolby,
- oznaczano: zawiesinę ogólną, suchą pozostałość, wodorowęglany oraz  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ .

### Wyniki badań hydrologicznych na tle zmienności warunków meteorologicznych

Podstawą zasilania źródła są wody pochodzące bezpośrednio z wód podziemnych, do których następnie dopływa woda z opadów atmosferycznych czy tajania śniegu. Wydajność badanego źródła jest niewielka (średnio  $0,51 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). W toku badań zaobserwowano umiarkowane zróżnicowanie wydajności:  $0,23\text{-}0,68 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (tab. 1) – minimalne wartości wystąpiły latem, zaś największe w okresie jesienno-zimowym. Od stycznia do kwietnia utrzymywała się wydajność źródła wyższa niż przeciętna ( $0,56\text{-}0,68 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) (tab. 1, ryc. 4). Wiązało się to z topnieniem śniegu i towarzyszącymi temu opadami deszczu, co przy przemarznięciu podłoża sprzyjało uruchamianiu spływu powierzchniowego. Zestawienie pomierzonych wartości wy-

Tabela 1

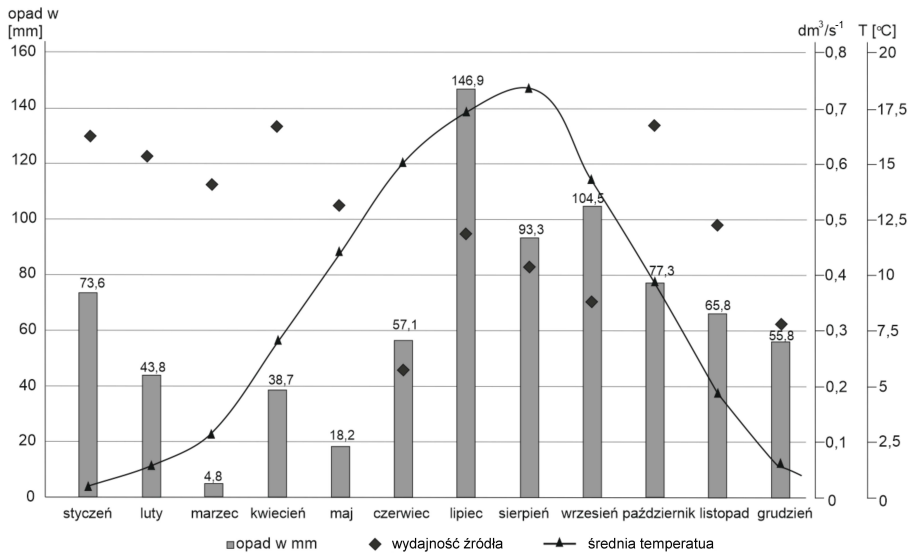
Wydajność źródła w klifie w Poddąbiu w roku 2012

Table 1

Spring capacity at cliff in Poddąbie in 2012

Termin pomiaru	Wydajność źródła		
	$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{miesiąc}^{-1}$
Styczeń (28.01.)	0,65	56,16	1740,96
Luty (10.02.)	0,61	52,70	1475,71
Marzec (12.03.)	0,56	48,38	1499,78
Kwiecień (2.04.)	0,68	58,75	1762,50
Maj (14.05.)	0,52	44,93	1392,83
Czerwiec (11.06.)	0,23	19,87	596,10
Lipiec (15.07.)	0,48	41,47	1285,57
Sierpień (13.08.)	0,41	35,42	1098,02
Wrzesień (27.09.)	0,35	30,24	907,20
Październik (30.10.)	0,67	57,89	1794,59
Listopad (28.11.)	0,59	50,98	1529,40
Grudzień (12.12.)	0,31	26,78	830,18
Wartości przeciętne	0,51	43,63	1326,07

dajności źródła z miesięcznymi sumami opadów i średnią temperaturą miesiąca (ryc. 4) pokazuje, że występuje tu około czteromiesięczne opóźnienie reakcji źródła na zasadnicze zmiany sum opadów. Dotyczy to zarówno reakcji na niskie opady (marzec-czerwiec), jak i wysokie sumy opadowe (lipiec-październik). Pokrywa śnieżna wystąpiła jedynie w grudniu 2012 r.



Ryc. 4. Zmiany wydajności źródła w Poddąbiu na tle miesięcznych sum opadów w Ustce w roku 2012 i przeciętnych wartości temperatur miesięcznych z lat 1996-2005 (dane z lat 1996-2005 za D. Baranowskim 2008)

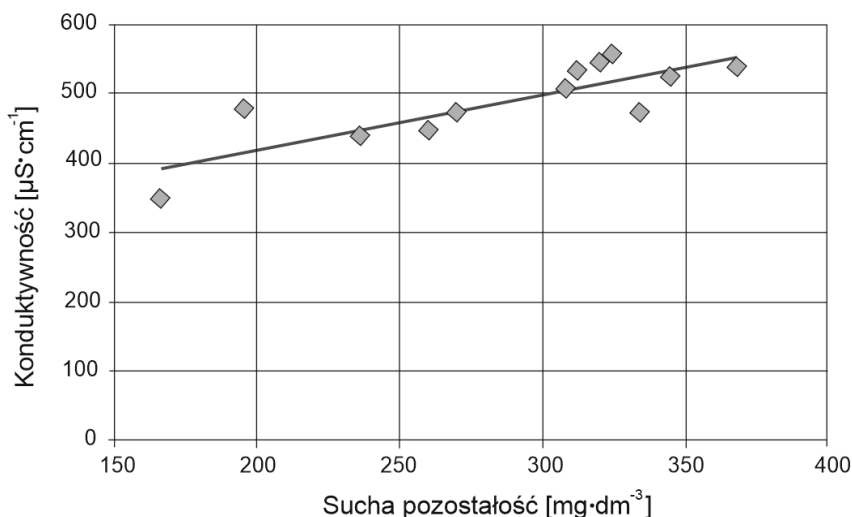
Fig. 4. The variability of spring discharge volume in Poddąbie in comparison to total monthly precipitation in Ustka in 2012 and the average monthly temperature of the years 1996-2005 (data from period 1996-2005 by D. Baranowski 2008)

### Chemizm wód badanego źródła w roku 2012

Skład chemiczny wód zasilających nisze źródłiskowe zależy od wielu czynników, w tym: litologii osadów podłoża i ich zasobności w węglan wapnia, warunków hydrodynamicznych decydujących między innymi o czasie kontaktu wody z osadami, stopnia izolacji zbiornika wód podziemnych od wpływów atmosferycznych i antropogenicznych oraz zagospodarowania terenu na obszarze zasilania (Mazurek 2010). Skład mineralno-petrograficzny i powierzchnia kontaktu luźnych osadów z infiltrującą wodą sprzyjają wietrzeniu minerałów pierwotnych (m.in. glinokrzemianów), rozpuszczaniu węglanu wapnia i wymianie jonowej (Dobrzyński 2007). Procesy te prowadzą do uwalniania jonów (m.in.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  i  $\text{HCO}_3^{-}$ ), a także związków żelaza i manganu, które ługowane przez infiltrującą wodę powodują zmiany odczynu i mineralizacji ogólnej wód podziemnych. Udział biosfery w kształtowaniu chemizmu wód w obsza-

rze źródłowym następuje poprzez transpirację, która prowadzi do wzrostu stężenia jonów w płytkich wodach podziemnych. W okresie wegetacyjnym rośliny również selektywnie zużywają takie jony, jak:  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ , czy  $SO_4^{2-}$ , co powoduje względny wzrost stężeń pozostałych makroskładników. Z kolei zwłaszcza jesienią woda jest wzbogacana w składniki chemiczne pochodzące z mineralizacji obumarłych szczątków roślinnych (Allan 1998). Ważnym czynnikiem modyfikującym skład chemiczny wód podziemnych i źródłowych jest działalność człowieka. Na badanym terenie największymi potencjalnymi ogniskami zanieczyszczeń są ośrodki turystyczne. W roku 2000 założono w Poddąbiu sieć wodociągową, a dopiero w roku 2007 – kanalizacyjną. Do roku 2007 ścieki odprowadzane były do szamb, często niezbyt szczelnych, a zdarzało się, że w okresie 2000-2007 funkcję szamba przejmowała nieczynna studnia.

Wody badanego źródła wykazują średnią mineralizację wyrażoną przez przewodność właściwą (konduktywność), której wartość mieściła się w przedziale  $350-557 \mu S \cdot cm^{-1}$  (tab. 2). Są one dodatnio skorelowane z wartościami suchej pozostałości (ryc. 5). Biorąc pod uwagę, że najwyższe wartości obu parametrów odnotowano na przełomie zimy i wiosny, można przypuszczać, że są one uwarunkowane naturalnie i nie wiążą się z zanieczyszczeniami bytowymi. Wobec nieprzeprowadzenia pełnej analizy makroelementów nie można w pełni ustalić przynależności wody ze źródła w Poddąbiu do jednego z typów hydrochemicznych według klasyfikacji Szczukariewa-Prickłońskiego (Pazdro 1977). Użyte dane wskazują, że najprawdopodobniej są to wody typu wodorowęglanowo-siarczanowo-chlorkowo-wapniowego (42). Gdyby nie znacząca obecność chlorków, byłyby to wody uważane za typowe dla strefy młodoglacjalnej zbudowanej z osadów polodowcowych zasobnych w węglan wapnia (Gołębiewski 1981; Mazurek 2010 i in.).



Ryc. 5. Zależność przewodności właściwej od zawartości suchej pozostałości w wodzie ze źródła w Poddąbiu

Fig. 5. The dependence of the electrolytic conductivity on the dry residue in spring water in Poddąbie

Zmienność cech fizykochemicznych wody ze źródła w klifie w Poddąbju w roku 2012

Table 2

Fluctuation of the physico-chemical parameters of spring water in Poddąbje in 2012

Cecha	28.01.2012	10.02.2012	12.03.2012	02.04.2012	14.05.2012	11.06.2012	15.07.2012	13.08.2012	27.09.2012	30.10.2012	28.11.2012	12.12.2012	Wartość przeciętna
Zawiesina ogólna [mg/dm <sup>3</sup> ]	1,5	1,4	1,2	1,2	1,1	1,4	1,3	1,4	2,2	1,2	1,1	0,8	1,32
Sucha pozostałość [mg/dm <sup>3</sup> ]	368	341	324	320	345	312	308	270	236	196	166	260	287,2
Odczyn (pH)	7,7	7,6	7,5	7,1	7,6	7,6	7,2	7,6	7,4	7,7	7,5	7,3	7,48
Konduktywność [μS·cm <sup>-1</sup> ]	541	548	557	547	526	533	508	474	440	480	350	449	496,1
Wapń [mg/dm <sup>3</sup> ]	90,4	90,6	90,7	106,4	107,9	122,5	101,4	71,9	65,7	71,4	51,7	63,7	86,2
Magnez [mg/dm <sup>3</sup> ]	10,6	11,8	12,1	5,3	8,0	11,5	11,2	2,3	4,3	6,0	2,2	7,6	7,74
Chlorki [mg/dm <sup>3</sup> ]	31,0	24,3	20,1	21,4	21,8	25,9	29,4	49,0	45,0	42,0	36,0	41,0	32,24
Azotany [mg/dm <sup>3</sup> ]	0,1	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,3	0,4	0,5	0,5	0,29
NH <sub>4</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	0,01	0,09	0,12	0,16	0,07	0,17	0,08	0,13	0,09	0,23	0,06	0,18	0,12
Siarczany [mg/dm <sup>3</sup> ]	43,0	39,0	33,0	38,0	34,0	42,0	46,0	67,0	59,0	39,0	43,0	73,0	46,33
Wodorowęglany [mg/dm <sup>3</sup> ]	262,3	258,8	256,2	262,3	250,1	268,4	268,4	213,5	202,8	207,4	151,0	195,2	233,03

Odczyn wody w ciągu roku zmieniał się w niewielkim stopniu (7,1-7,7) (tab. 2), nieregularnie, nie wykazując sygnalizowanego przez W. Chełmickiego (2001) związku ze zmianami termicznymi wody.

Stężenie jonów wapnia mieściło się w zakresie 51,7-122,5 mg·dm<sup>-3</sup> (tab. 2). Wapń jest głównym kationem występującym w wodach powierzchniowych i gruntowych, a jego stężenie może się zmieniać, co wiąże się z cechami litologicznymi podłoża i zależy od równowagi węglanowej (Dojlido 1997). Może być ono uwarunkowane również obecnością zanieczyszczeń komunalnych, przemysłowych czy rolniczych. W Poddębniu koncentracja jonów wapnia spada przy wzroście wydajności źródła. Świadczy to o początkowo wysokich zdolnościach buforujących zlewni, a w odniesieniu do jesieni także o możliwości szybkiego uruchamiania źródeł dostawy tego jonu. Warto przypomnieć, że w osadach ilasto-piaszczystych i glinach podścielających warstwę wodonośną zawartość węglanu wapnia jest dość wysoka.

Stężenie magnezu w wodzie najczęściej jest słabsze od stężenia wapnia (Dojlido 1997), co wynika zarówno z niższej zawartości węglanów magnezu w skałach, jak i ich mniejszej podatności na rozpuszczanie. Stężenie jonów magnezu w wodzie źródła w Poddębniu zmieniało się w zakresie 2,2-12,1 mg·dm<sup>-3</sup> (tab. 2), zwykle osiągając mniejsze stężenia w okresach większej wydajności źródła.

Zawartość chlorków była dość znaczna i zmieniała się w sporym zakresie (20,1-49,0 mg·dm<sup>-3</sup>, tab. 2). Wysoki udział chlorków w sumie podstawowych jonów jest zwykle interpretowany jako skutek wpływów antropogenicznych (Chełmicki 2001). W strefie brzegowej morza często wiąże się z migracją wód morskich (w przypadku badanego źródła bardzo mało prawdopodobna) lub z ascensją wysoko zasolonych wód ze starszych pięter wodonośnych (Orłowski 2005). W Poddębniu największe wartości stężenia chlorków zaobserwowano w okresie po kulminacji sezonu wczasowego, co może wskazywać na antropogeniczne uwarunkowanie ich wzmożonej obecności lub wzmożoną ascensję wód słonych wywołaną większym poborem wód ze studni głębinowych.

Według J. Dojlido (1997) najwyższe wartości stężeń wodorowęglanów występują przy odczynie 8-9 pH; tych wartości woda ze źródła w klifie w Poddębniu w badanym okresie nie osiągnęła nigdy. Najwyższą wartość stężenia wodorowęglanów odnotowano w czerwcu i lipcu (268,4 mg·dm<sup>-3</sup>, tab. 2), zaś najniższą w listopadzie (151,0 mg·dm<sup>-3</sup>). Wodorowęglany występują pospolicie w wodach kontaktujących się z powietrzem, a więc w wodach powierzchniowych i płytko leżących wodach podziemnych. Dostają się do nich w wyniku ługowania skał podłoża, zwłaszcza wapieni i dolomitów oraz minerałów z grupy krzemianów i glinokrzemianów.

Koncentracja siarczanów w wodzie wynika z uwarunkowań litologicznych, zanieczyszczeń atmosferycznych czy dopływu ścieków rolniczych i komunalnych (Dojlido 1997). Siarczany tworzą się w trakcie rozkładu organizmów i stanowią wówczas świadectwo zanieczyszczenia wody. Jon siarczanowy, podobnie jak chlorkowy, nie podlega sorpcji w środowisku podziemnym i stąd, obok jonu chlorkowego, jest głównym wskaźnikiem przenikania zanieczyszczeń do wód podziemnych (Chełmicki 2001). W Poddębniu stężenie siarczanów zmieniało się w przedziale 33,0-73,0 mg·dm<sup>-3</sup> (tab. 2), wyższe wartości osiągając po sezonie wczasowym, co może wskazywać na antropogeniczne pochodzenie przynajmniej części z nich.

Azotany powstają na skutek utleniania azotu atmosferycznego związanego wcześniej przez rośliny i organizmy zwierzęce. W wyniku rozkładu białek pochodzących ze

szczątków roślinnych i zwierzęcych powstaje amoniak, który utleniany przy udziale bakterii nityfikacyjnych tworzy azotany. Zdaniem W. Chełmickiego (2001) jednoczesne występowanie w wodzie azotanów i amoniaku świadczy o trwałym zanieczyszczeniu organicznym wody. Z kolei A. Żurek (2002) uważa, że w warunkach znacznego obniżenia potencjału redoks pod wpływem materii organicznej, siarkowodoru lub żelaza dwudodatniego może następować redukcja azotanów do jonów amonowych. Według M. Mazurek (2010) w ten sposób można tłumaczyć brak azotanów przy występowaniu grupy amonowej w wodach źródeł basenowych (do tego typu autorzy niniejszego opracowania zaliczyli badane źródło). W wodzie źródła w Poddąbiu zawartość azotanów jest dość niska i wynosi 0,1-0,5 mg·dm<sup>-3</sup> (tab. 2) (najwięcej w listopadzie i grudniu). Z kolei

Tabela 3

Wybrane parametry fizykochemiczne wód źródła w Poddąbiu na tle danych z dorzecza górnej Parsęty (Mazurek 2010) i Jarosławianki (Jonczak 2007)

Table 3

Chosen physico-chemical characteristics of spring waters in Poddąbie on datas from upper Parsęta basin (Mazurek 2010) and Jarosławianka Creek (Jonczak 2007) background

Cecha	Wartości skrajne (od-do)			Wartości przeciętne		
	źródło w Poddąbiu	źródła w dorzeczu Parsęty (Mazurek 2010, tab. 11)	wody drenarskie i wysięki w dolinie Jarosławianki (Jonczak 2007, stanowiska A i B)	źródło w Poddąbiu	źródła w dorzeczu Parsęty (Mazurek 2010, tab. 11)	wody drenarskie i wysięki w dolinie Jarosławianki (Jonczak 2007, stanowiska B i F)
Odczyn (pH)	7,1-7,7	7,16-8,46	5,4-8,4	7,48	7,89	7,6
Przewodność właściwa (μS·cm <sup>-1</sup> )	350-557	229-1156	369-480	496,1	398,3	438
Wapń (mg·dm <sup>-3</sup> )	51,7-122,5	33,4-192,6	69,5-98,9	86,2	69,3	81,1
Magnez (mg·dm <sup>-3</sup> )	2,2-12,1	1,8-10,3	1,8-16,5	7,74	5,1	10,1
Chlorki (mg·dm <sup>-3</sup> )	20,1-49,0	3,6-54,7	0,3-29,9	32,24	11,0	9,7
Azotany (mg·dm <sup>-3</sup> )	0,1-0,5	0,0-323,0	0,7-15,2	0,29	11,2	4,6
Siarczany (mg·dm <sup>-3</sup> )	33,0-73,0	0,1-120,1	10,0-168,0	46,33	35,3	35,6
Wodorowęglany (mg·dm <sup>-3</sup> )	151,0-268,4	51,9-283,7	189-268	233,03	189,0	241,5

stężenie grupy amonowej zmieniało się w dość znacznym stopniu ( $0,01-0,23 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , tab. 2) i dość nieregularnie, choć największą wartość osiągnęło w październiku. Wysokie stężenia azotanów zanotowane podczas pomiarów zimowych i wiosennych mogą być spowodowane dostawą związków azotu uwolnionych z obiegu biologicznego lub ze strefy aeracji z infiltrującymi wodami opadowymi bądź roztopowymi.

Podwyższone wartości stężeń jonów siarczanowych, chlorkowych i azotanowych w wodach źródła można łączyć z dostawą zanieczyszczeń bytowych przedostających się do wód gruntowych przede wszystkim w okresie sezonu wczasowego.

Względnie niskie stężenie jonów biogenych w wodzie źródła wystąpiło w maju, co zapewne wiąże się z początkiem okresu wegetacyjnego i ze wzmożonym zużyciem składników pokarmowych przez rośliny w początkowej jego fazie.

Wartości stężenia podstawowych jonów w wodach źródła w Poddębii odpowiadają wynikom charakterystycznym dla obszarów młodoglacjalnych (tab. 3, por. także Jonczak 2007, Mazurek 2010), a relatywnie mała ich zmienność wskazuje na związek z wodami podziemnymi, na skład których nie mają wpływu procesy związane z działalnością rolniczą czy komunalnym zanieczyszczeniem wód (Jonczak 2007).

Ładunki dobowe i roczne materiału zawieszzonego odprowadzane ze źródła w Poddębii (wyliczone na podstawie danych z tab. 1 i 2) są, biorąc pod uwagę jego niewielką wydajność, bardzo podobne do wartości małych źródeł przebadanych przez M. Mazurek (2010) w zlewni górnej Parsęty. Odpowiadają także danym publikowanym przez innych autorów, którzy prowadzili badania na obszarze Pojezierza Pomorskiego i Pobrzeży Południowobałtyckich (Kostrzewski, Zwoliński 1992; Kostrzewski i in. 1994; Florek i in. 2008).

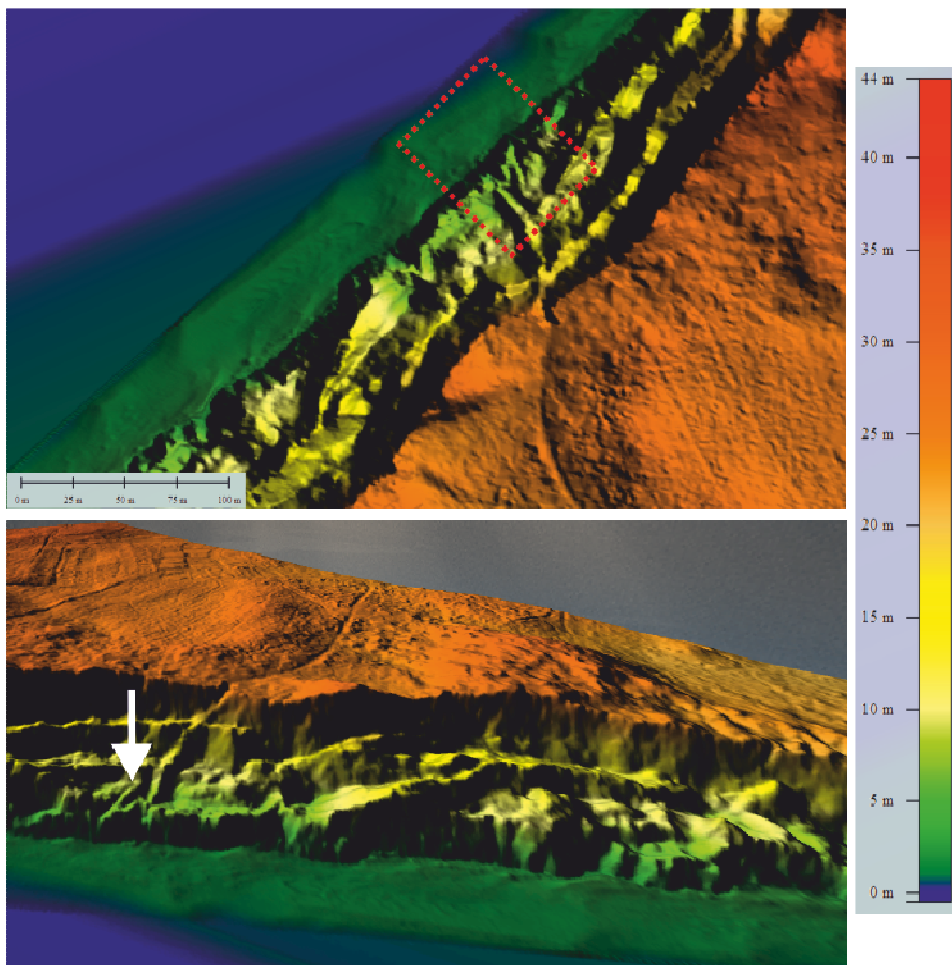
## **Morfologia niszy źródłiskowej**

Podstawę klifu w Poddębii budują gliny bazalne i spływowe oraz osady glaciolimniczne powstałe przede wszystkim w późnym vistulianie (po fazie pomorskiej). Gлина bazalna zawiera dużą domieszkę materiału gruboziarnistego, przede wszystkim żwirowego. Wyżej lokalnie zalegają późnoglacjalne osady limniczne, a klif wieńczy górnoholocenijskie piaski eoliczne.

Na powierzchni osadów spoistych tworzą się liczne wysięki i źródła, czego przykładem jest badany wypływ wody. Istnienie form źródłiskowych sprzyja powstawaniu obrywów i osuwisk, co dodatkowo stymuluje rozwój klifu.

Występowanie w budowie geologicznej okolic Poddębii licznych zaburzeń o charakterze ciągłym i nieciągłym, zakłócających porządek sedymentacyjny warstw piasków, ilów piaszczystych, glęb i glin zaowocowało powstaniem w profilu poprzecznym klifu trzech załomów. Górny, o wysokości ok. 10 m przechodzi w stopień o szerokości ok. 25 m, a ten z kolei opada kolejną, kilkunastometrową krawędzią w następny stopień o nierównej powierzchni, stopniowo obniżającej się ku morzu, urozmaiconej licznymi wybrzuszeniami. Wszystko to kończy kilkunastometrowej wysokości klif, którego rzeźbę wyróżnia obecność licznych osuwisk. Te elementy rzeźby praktycznie nie zostały odwzorowane na mapie topograficznej w skali 1:10 000, natomiast są świetnie widoczne na obrazach lidarowych. Z nich został wygenerowany nume-

ryczny model terenu (ryc. 6), który wzbogaca opracowanie o dokładny obraz morfologiczny badanej formy oraz obszarów przylegających. Szerokość plaży w tym miejscu wynosi od 39,1 m do 42,8 m. Górna krawędź klifu wznosi się do wysokości 23,85-24,70 m, a podstawa klifu jest położona na rzędnej 1,96-2,01 m. Górna krawędź niszy sufozyjnej sięga prawie do rzędnej 19 m n.p.m. Dolna jej część, która przechodzi w bruzdę erozyjną zawieszona jest na wysokości około



Ryc. 6. Elementy morfologii niszy źródłiskowej w Poddąbiu w obrazie lidarowym  
 Fig. 6. Morphology components of spring alcove in Poddąbie in LIDAR image

6,5-7 m n.p.m. Na tej wysokości zaznacza się widoczna na fot. 3 krawędź abrazyjna. Bruzda erozyjna wcina się w podłoże na głębokość 0,25-0,30 m. Nachylenie stoku jest znaczne i zmienne, co ma ścisły związek z urozmaiconą rzeźbą tego odcinka wybrzeża.



Fot. 3. Morfologia badanego źródła w Poddąbiu: a – klif i nisza źródłiskowa, b – rozcięcie erozyjne wypełnione wodą, c – stożek napływowy i jego rozcięcie, którym woda odprowadzana jest do morza (fot. E. Rydz)

Photo 3. The morphology of examined spring alcove in Poddąbie: a – cliff and spring alcove, b – erosional cut filled with water, c – alluvial fan and his cutting where water is flowing into the sea (photo by E. Rydz)

Duże urozmaicenie rzeźby, budowa geologiczna oraz znaczna miąższość warstwy wodonośnej i występowanie wód podziemnych warunkują wystąpienie w obrębie klifu źródła odległego od morza o ok. 30 m, usytuowanego na rzędnej 4,45 m n.p.m. Nisza źródłiskowa ma kształt półokrągły w górnej części klifu i zwęża się ku jego podstawie, osiągając u dołu stopniowo od 3 m do 30 cm (fot. 3). Tu przechodzi w wyraźne, wąskie rozcięcie biegnące od niszy w dół stoku, mające relatywnie mały spadek. Charakterystycznym elementem jest również niewielki zbiornik powstały wskutek ograniczenia odpływu wód źródłiskowych przez wał piasku uformowany jako wał sztormowy, przemodelowany przez wiatr. Poniżej zbiornika, już w obrębie plaży, utworzony został dość rozległy, płaski stożek napływowy, który w okresie prowadzenia badań podlegał erozyjnej działalności wody spływającej ze źródła (fot. 3).

W przypadku badanej niszy procesom źródłiskowym (przede wszystkim erozji źródłiskowej) prowadzącym do wydłużania niszy towarzyszy także jej poszerzanie, przy czym, zdaniem M. Mazurek (2010), ta pierwsza tendencja jest najbardziej charakterystyczna dla rozwoju nisz źródłiskowych na obszarach młodogłacjalnych. Jest to efektem erozji źródłiskowej, ukierunkowanej zgodnie z linią dopływu wód zasilających źródło. Pewne wyobrażenie o rozmiarach tego procesu dają informacje zawarte w tab. 2 i 3. Zgodnie z nimi wody źródła wynoszą w ciągu roku ok. 456,9 kg materiału rozpuszczonego i ok. 2,1 kg zawiesiny. Do tego należy doliczyć pewną ilość materiału transportowanego po dnie (głównie frakcji drobnopiaszczystej). Wartości te wskazują, że wydajność erozji źródłiskowej jest, biorąc pod uwagę stosunkowo małą wydajność źródła, dość niewielka. Proces ten jest niewątpliwie wspomagany przez sufozję, której zasięg przestrzenny pozostaje nieznany. Kształt misy źródłiskowej i sąsiadującego z nią stoku wskazują na pewien udział w ich formowaniu także spływu powierzchniowego i innych procesów stokowych. Z kolei wyraźnie rysująca się krawędź w dolnej części stoku poniżej źródła jest okresowo formowana przez abrazję (fot. 3).

Profil podłużny zagłębienia źródłiskowego poprowadzony od lokalnego wododziału do miejsca wypływu ciekłu z niszy źródłiskowej pokazuje, że przejście zbocza w dno niszy wyznacza próg, uwarunkowany litologicznie. Drugie załamanie profilu podłużnego występuje w miejscu kontaktu ze stożkiem napływowym formującym się na plaży zarówno z materiału drobnopiaszczystego wynoszonego ze źródła, jak i z piasku okresowo nawiewanego z plaży do niszy źródłiskowej.

Przedstawiony opis niszy źródłiskowej stanowi podstawę do interpretacji w kategoriach typologicznych. Badana nisza reprezentuje typ morfologiczny nisz źródłiskowych basenowych. Do tego typu nisz należą formy mające na planie kształt elipsoidalny. Są one małe, zwarte i charakteryzują się największymi deniwelacjami w części zamykającej, a także znacznym średnim nachyleniem zbocza, co świadczy o dużej energii rzeźby. Zbocza wzdłuż całego obwodu mają duże nachylenie i dobrze wykształcony odcinek stoku wklęsłego u podstawy, który przechodzi w płaskie dno (Mazurek 2010).

Podsumowując, można powiedzieć, że rozwój analizowanej niszy dokonuje się przede wszystkim dzięki:

- skoncentrowanemu wypływowi wody,
- rozproszonym wyciekom podzboczym,
- sufozji modelującej górną część niszy,
- procesom stokowym (splukiwanie, splęzywanie, spływ ziemny),
- działalności biogenicznej (współczesne źródło ulokowane jest w wykrocie),
- sporadycznie abrazji (dolna część niszy),
- działalności antropogenicznej (penetracja piasza przez turystów i plażowiczów, rozgrzebywanie dna niszy i rozcięcia erozyjne dokonywane przez bawiące się dzieci).

Z kolei cechy fizykochemiczne wód wypływających z badanego źródła kształtowane są niemal wyłącznie przez procesy naturalne i zależą od:

- budowy geologicznej i cech geochemicznych skał budujących strefę brzegową,
- czasu przebywania wody w środowisku skalnym,

- kontaktu z ascensyjnymi wodami głębszych poziomów (podwyższony udział chlorków),
- działalności antropogenicznej (prześlakaniu ścieków z szamb).

## Podsumowanie

Cechy niszy źródłiskowej w Poddąbiu (hydrogeologiczne, morfometryczne, hydrochemiczne wód źródłiskowych) wskazują na jej podobieństwo do nisz rozwijających się w innych strefach krajobrazowych Niżu Polskiego. Są one silnie związane z litologią podłoża, warunkami hydrogeologicznymi oraz rzeźbą terenu, w tym ze specyficznymi warunkami, które panują na klifie. Obraz lidarowy unaoczniał, jak znaczne są deformacje rzeźby w strefie sąsiadującej z klifem spowodowane glacitektonicznymi zaburzeniami budowy geologicznej i abrazją, co niewątpliwie rzutuje na możliwość powstawania źródeł na klifie. Rzeźba niszy źródłiskowej i jej sąsiedztwa wskazuje na dominujący udział procesów naturalnych w ich formowaniu.

Na cechy chemiczne wód źródła wpływają zarówno właściwości geochemiczne skał budujących okolice Poddąbia (w tym relatywnie duża zawartość węglanów w glinie bazalnej), jak i zmienność wydajności źródła, związek z procesami rozkładu szczątków roślinnych w zlewni morfologicznej niszy źródłiskowej, a także oddziaływanie człowieka przejawiające się w sezonowej obecności wczasowiczów i turystów.

## Literatura

- Allan J.D., 1998, *Ekologia wód płynących*, tłum. P. Dawidowicz i in., Warszawa
- Baranowski D., 2008, *Warunki klimatyczne Ustki*, Słupskie Prace Geograficzne, 5, s. 101-110
- Chelmiński W., 2001, *Woda, zasoby, degradacja, ochrona*, Warszawa
- Dobrzyński D., 2007, *Znaczenie częściowych równowag chemicznych w kształtowaniu chemizmu wód podziemnych w systemach krzemianowych strefy wietrzenia*, Przegląd Geologiczny, 55, s. 460-466
- Dojlido J., 1997, *Chemia wód powierzchniowych*, Białystok
- Dudzińska-Nowak J., 2007, *Przydatność skaningu laserowego do badań strefy brzegowej południowego Bałtyku*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 17a, s. 179-187
- Florek W., Jonczak J., Princ C., 2008, *Rola denudacji odpływowej w kształtowaniu rzeźby małych zlewni na obszarach zastoiskowych (na przykładzie dopływów dolnej Wieprzy)*, Landform Analysis, 7, s. 23-34
- Florek W., Kaczmarzyk J., Majewski M., 2010, *Dynamics of the Polish Coast east of Ustka*, Geographia Polonica, 83, 1, s. 51-60
- Gołębiewski R., 1981, *Kierunki i intensywność denudacji na obszarze zlewni górnej Raduni w późnym würmie i holocenie*, Gdańsk
- Groundwater geomorphology: the role of subsurface water in Earth-surface processes and landforms*, 1990, red. C.G. Higgins, D.R. Coates, Boulder
- Instrukcja opracowania Mapy Hydrograficznej Polski w skali 1:50 000*, 1964, Warszawa
- Jonczak J., 2007, *Chemizm wód zasilających Jarosławiankę (zlewnia Wieprzy)*, Słupskie Prace Geograficzne, 7, s. 83-101
- Kondracki J., 1978, *Geografia regionalna Polski*, Warszawa

- Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Z., 1994, *Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni*, Poznań
- Kostrzewski A., Zwoliński Z., 1992, *Udział denudacji chemicznej i mechanicznej we współczesnym systemie geomorficznym górnej Parsęty (Pomorza Zachodnie)*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN, 155, s. 11-45
- Mazurek M., 2010, *Hydrogeomorfologia obszarów źródliskowych (dorzecze Parsęty, Polska NW)*, Poznań
- Orłowski A., 2005, *Kredowe i trzeciorzędowe podłoże osadów plejstoceńskich między Wieprzą a dolną Lebą*. W: *Geologia i geomorfologia Pobrzeża i południowego Bałtyku 6*, red. W. Florek, Słupsk, s. 323-336
- Pazdro Z., 1977, *Hydrogeologia ogólna*, Warszawa
- PN-EN ISO 5667-3, Jakość wody – Pobieranie próbek – Część 3: Utrwalanie i postępowanie z próbkami wody
- Prawdzic K., 1962, *Zarys klimatu rolniczego województwa koszalińskiego*, Szczecin
- Szachnowski T., 2003, *Wpływ budowy geologicznej brzegu morskiego na km 224 (koło Poddąbia) na jego dynamikę i morfologię*, praca magisterska, maszynopis w Instytucie Geografii i Studiów Regionalnych Akademii Pomorskiej w Słupsku
- Żurek A., 2002, *Azotany w wodach podziemnych*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 400, s. 115-141

## Summary

This paper presents the morphometric characteristics of the spring (headwater) alcove located on a cliff in Poddąbie. It was examined by using the LIDAR image analysis. The morphometric characteristics of spring alcove were related to geological structure (glacitectonically impaired), hydrogeological conditions, geomorphologic characteristics (the presence of landslides in the coastal zone), and other characteristics of the geographical environment adjacent to the spring. It was found that the examined spring alcove belongs to basin-like alcoves, which has the shape of ellipse. Niches of this type are small, compact, and their slopes are characterized by a high inclination, which indicates high relief energy.

The discharge volume of the spring and selected hydrochemical parameters of its water and its variability during the year were also examined. This research was conducted in the period from January until December 2012. It revealed that waters flowing out of the spring in Poddąbie belong to carbohydrate-sulphureous-chloride-calcic type (42; by Shchukarev-Prikłonski classification). These features are related to the geochemical characteristics of the rocks through which the water is infiltrated, the variability of the intensity of infiltration and the effects of vegetation and human impact reflected in a seasonal presence of tourists and holidaymakers. Increased chloride content is most likely caused by the high ascension of saline groundwater from lower located olderwater bearing stratas.