

AGNIESZKA PARZYCH, JERZY JONCZAK, ZBIGNIEW SOBISZ

Zmiany składu chemicznego wód w strumieniach śródleśnej niszy źródłiskowej w dolinie Kamiennej (Pomorze Środkowe)

Changes of water chemistry in mid-forest headwater streams in the valley of the Kamienna (Middle Pomerania)

ABSTRACT

Parzych A., Jonczak J., Sobisz Z. 2016. Zmiany składu chemicznego wód w strumieniach śródleśnej niszy źródłiskowej w dolinie Kamiennej (Pomorze Środkowe). Sylwan 160 (10): 871-880.

The paper concerns changes of chemical composition of water in headwater streams in the valley of the Kamienna, left bank tributary of the Słupia River (54°19'N; 17°10'E). Water samples were collected in 2012 from three streams, in their upper, middle and lower course every month. Analysis included water temperature, pH, conductivity, and the content of dissolved oxygen, HCO_3^- , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} and SO_4^{2-} . Water of the analysed streams was characterized by generally low concentration of solutes (tab. 1) and had bicarbonate-calcium character. The observed low variability of water temperature along the streams resulted from their shortness and rapid flow. Low variability was also observed in case of pH and Mg^{2+} content. Increasing trends downward the streams were noticed for dissolved oxygen, while decreasing changes were observed for HCO_3^- , NO_3^- and PO_4^{3-} . The remaining components showed different trends in the individual streams, indicating importance of local-scale factors.

KEY WORDS

headwater areas, springs, water chemistry, riparian forest

ADDRESSES

Agnieszka Parzych ⁽¹⁾ – e-mail: parzycha1@op.pl

Jerzy Jonczak ⁽²⁾ – e-mail: jerzy.jonczak@gmail.com

Zbigniew Sobisz ⁽¹⁾ – e-mail: zbigniew_sobisz@op.pl

⁽¹⁾ Instytut Biologii i Ochrony Środowiska, Akademia Pomorska; ul. Arciszewskiego 22b, 76-200 Słupsk

⁽²⁾ Katedra Nauk o Środowisku Glebowym, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Wstęp

Śródleśne nisze źródłiskowe odgrywają ważną rolę w funkcjonowaniu geosystemów zlewni rzecznych, stanowiąc podstawę zasilania rzek oraz etap w ilościowej i jakościowej transformacji wód [Mazurek 2006; Jekatierynczuk-Rudczyk 2007; Jonczak 2010]. W zależności od lokalnych uwarunkowań geomorfologicznych, pedologicznych, hydrologicznych oraz pogodowych charakteryzują się określoną wydajnością wypływów oraz dynamiką odpływu wody [Oliva i in. 2003; Jekatierynczuk-Rudczyk 2005; Gupta i in. 2011; Hindshaw i in. 2011], wywierając wpływ na kształtowanie stosunków wodnych i siedlisk na obszarach niekiedy znacznie oddalonych od nich samych. Są to strefy przejściowe pomiędzy podziemną a powierzchniową częścią obiegu

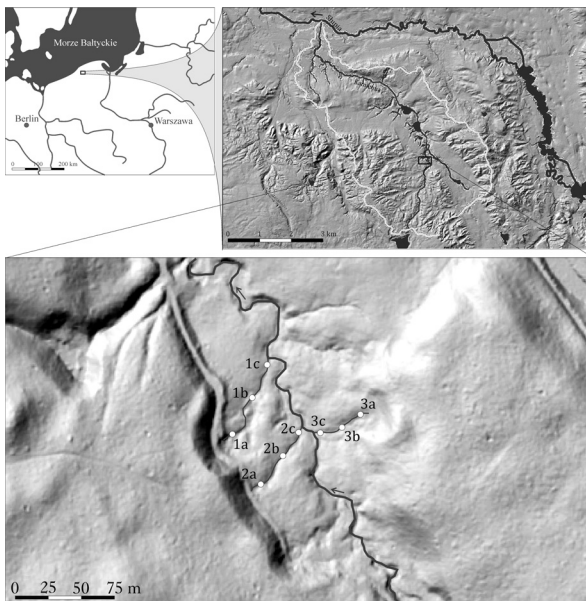
wody w zlewniach rzecznych. O kierunku i zakresie transformacji składu chemicznego wód w ekosystemach źródłiskowych decyduje kompleks czynników środowiskowych, w szczególności pokrywa glebowa [Welsch i in. 2001; Stutter i in. 2006; Jonczak 2010; Jonczak i in. 2015b], charakter związanych zbiorowisk roślinnych [Ohte i in. 2001; Osadowski 2006; Zhang i in. 2008] oraz charakter i nasilenie antropopresji [Mazurek 2008]. Zmienny w czasie skład chemiczny wód źródłiskowych jest odzwierciedleniem wpływu czynników klimatyczno-pogodowych. Nisze źródłiskowe stanowią otwarte układy w obiegu materii i energii. Zasilające wody zarówno wnoszą do ekosystemu określony ładunek jonów, jak również mogą niektóre składniki gleb selektywnie wypłukiwać. Stale przepływająca woda eroduje podłoże w otoczeniu źródła, co utrudnia rozwój roślinności nieprzystosowanej do takich warunków [Osadowski 2006]. Dotychczas przeprowadzone badania wskazują, że gatunki roślin źródłiskowych charakteryzują się względnie dużą zdolnością do fitoakumulacji makro- i mikroskładników [Tabacchi i in. 2000; Horska-Schwarz, Spałek 2008; Zang i in. 2010; Yu i in. 2014], co wpływa na kształtowanie chemizmu wód.

W ostatnich latach coraz większą uwagę zwraca się na wpływ zlewni leśnych, a szczególnie na skład gatunkowy drzewostanu w kształtowaniu jakości wód powierzchniowych i gruntowych [Astel i in. 2008; Małek i in. 2010; Trojanowski, Antonowicz 2011]. Postępująca degradacja jakościowa i ilościowa zasobów wód podziemnych sprawia, że badania fizykochemiczne wód zyskują duże znaczenie praktyczne zwłaszcza na terenach Pomorza, gdzie należą one do najsłabiej zbadanych w Polsce [Mazurek 2006; Osadowski 2010].

Przeprowadzone badania miały na celu uchwycenie zakresu i charakteru zmian składu chemicznego wód w strumieniach źródłiskowych rozległej niszy źródłiskowej usytuowanej w górnym biegu doliny rzeki Kamienna, dopływu Słupi.

Materiał i metody

TEREN BADAŃ. Badania prowadzono w górnym biegu doliny rzeki Kamienna, będącej lewobrzeżnym dopływem rzeki Słupi, usytuowanym w młodoglacjalnym krajobrazie Pomorza Środkowego (ryc. 1), na terenie Nadleśnictwa Leśny Dwór (54°19'N; 17°10'E). Powierzchnia zlewni rzeki



Ryc. 1.

Sieć hydrograficzna, granice zlewni rzeki Kamienna oraz miejsca poboru próbek na tle numerycznego modelu terenu wykonanego w oparciu o obraz LIDAR Hydrographic network, the boundaries of the catchment of the Kamienna and location of sampling points on the background of airborne LIDAR based digital elevation model

Kamienna wynosi 21,14 km². Badane ciekły charakteryzują się niewielką długością: ciek 1 ma 80 m, ciek 2 – 65 m, a ciek 3 – 45 m. Jest to obszar o średniej rocznej sumie opadów około 770 mm i średniej rocznej temperaturze powietrza około 7,6°C. Obszar zlewni Kamiennej niemal w całości pokrywają lasy o zróżnicowanym przestrzennie składzie gatunkowym, z dominacją buka, sosny i świerka w jej części wysoczyznowej oraz olszy czarnej w dnie doliny. Warstwę drzew w obrębie badanego ekosystemu stanowiła olsza czarna (*Alnus glutinosa* Gaertn.) w wieku 40-86 lat, porastająca kopułowe torfowisko zbudowane z torfu olesowego z przewarstwieniami torfu olesowo-turzycowiskowego. Gleby torfowe saprowe charakteryzowały się zróżnicowaną przestrzennie miąższością, nieprzekraczającą 1 metra. Miały one odczyn słabo kwaśny i kwaśny, były zasobne w azot, potas, wapń i magnez oraz stosunkowo ubogie w fosfor [Jonczak i in. 2015b].

POBÓR PRÓBEK I ANALIZY FIZYKOCHEMICZNE. Próbkę wód do analiz laboratoryjnych pobierano w miesięcznych odstępach czasu (od stycznia do grudnia 2012 roku) wzdłuż trzech strumieni źródłiskowych, w ich inicjalnym (a), środkowym (b) i ujściowym (c) odcinku. W terenie mierzono temperaturę wody, pH metodą potencjometryczną (CPI 551 Elmetron), przewodnictwo elektrolityczne (CC 315, Elmetron) oraz zawartość O₂ sondą tlenową (HI 9146). Zawartość jonów HCO₃⁻ oznaczano metodą miareczkowania roztworem HCl o stężeniu 0,1 mol/dm³, a stężenia jonów K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, Cl⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻ i SO₄²⁻ techniką chromatografii jonowej (881 Compact IC pro, Metrohm). Próbkę wód przed wprowadzeniem na kolumnę chromatograficzną przepuszczano przez filtry o porowatości 0,2 mm. Do weryfikacji wyników analiz stosowano certyfikowane materiały odniesienia (Mutlielements Ion Chromoatography, Certified, 89 866-50ML-F, Fluka).

OPRACOWANIE DANYCH. Badanie rozkładu danych wykonano za pomocą testu Shapiro-Wilka. Przedstawiono wartości średnie, minimalne, maksymalne, odchylenia standardowe oraz współczynniki zmienności poszczególnych parametrów fizykochemicznych. Na podstawie uzyskanych danych wyliczono całkowitą mineralizację wód (suma średnich zawartości kationów i anionów [mg/dm³]) oraz twardość ogólną (suma Mg²⁺ i Ca²⁺ [mval/dm³]). Zmienność parametrów fizykochemicznych w trzech badanych ciekach porównano za pomocą nieparametrycznego testu Kruskala-Wallisa. W celu zidentyfikowania czynników determinujących skład chemiczny badanych wód wykorzystano analizę czynnikową (Principal Components Analysis, PCA). Obliczenia i wykresy wykonano w programie Statistica 7.1.

Wyniki

Temperatura wód w okresie badawczym mieściła się w przedziale od 0,8 do 12,0°C, ze średnimi rocznymi wartościami dla poszczególnych punktów pomiarowych na poziomie od 7,6 do 7,8°C (tab. 1). Wody charakteryzowały się odczynem obojętnym i słabo zasadowym (pH 6,6-8,9). Średnia przewodność elektrolityczna wpływów wód wynosiła od 213 do 544 μS/cm, a zmienność tego parametru w 12-miesięcznym cyklu badań utrzymywała się na poziomie około 25%. Stężenie tlenu rozpuszczonego wykazywało zmienność sezonową, przyjmując średnią wartość od 4,4 do 12,4 mg/dm³ (tab. 1). Wyraźny wzrost stężenia obserwowano wzdłuż poszczególnych cieków (ryc. 2).

Zawartość jonów Na⁺ w badanych wodach wynosiła od 3,9 do 9,5 mg/dm³, wykazując zróżnicowanie na poziomie 15,9 do 18,4%. Stężenie jonów K⁺ przyjmowało wartości od 0,7 do 3,2 mg/dm³, w zależności od stanowiska i terminu poboru próbek. Jony amonowe charakteryzowały się niewielkim stężeniem w całym okresie badawczym, od 0,0 do 1,2 mg/dm³. Spośród badanych składników chemicznych największą dynamikę w trakcie 12-miesięcznego cyklu badań wykazywały

Tabela 1.

Średnia (M) ± odchylenie standardowe (SD) oraz współczynnik zmienności (CV [%]) parametrów chemicznych [mg/dm³] i fizycznych wód badanych strumieni (1, 2, 3) oraz wyniki testu Kruskala-Wallisa (K-W) Mean (M) ± standard deviation (SD) as well as coefficient of variance (CV [%]) of chemical [mg/dm³] and physical parameters of water in analysed streams (1, 2, 3) with Kruskal-Wallis test results (K-W)

	1		2		3		K-W	
	M±SD	CV	M±SD	CV	M±SD	CV%	H	p
T	7,7±2,6	33,9	7,6±3,1	41,2	7,8±3,1	40,3	0,0755	0,9620
pH*	7,8±0,5	6,7	7,7±0,5	6,7	7,7±0,5	7,1	0,5829	0,7472
EC	336±87	25,7	316±81	25,6	293±74	25,2	9,5296	0,0085
Tw	2,8±0,6	26,2	2,7±0,5	19,9	2,5±0,5	22,1	5,1875	0,0747
O ₂	9,0±1,5	16,7	8,9±1,6	19,1	8,9±1,2	14,1	0,1684	0,9193
N ³⁺	5,7±0,9	15,9	6,1±1,1	18,4	5,3±0,9	16,4	12,1884	0,0023
K ⁺	1,5±0,5	30,8	1,6±0,5	31,5	1,4±0,4	31,4	2,0953	0,3508
NH ₄ ⁺	0,2±0,2	102,7	0,2±0,2	97,2	0,2±0,2	88,3	0,2656	0,8757
Ca ²⁺	50,8±11,9	22,4	49,1±9,5	19,2	45,3±9,6	21,0	6,1962	0,0451
Mg ²⁺	2,9±1,6	54,9	2,7±1,7	62,8	2,6±1,6	60,8	0,7975	0,6712
Cl ⁻	7,3±1,6	20,9	6,9±1,4	19,7	6,5±1,0	15,4	7,8156	0,0201
HCO ₃ ⁻	165±5,8	3,4	163±6,4	3,9	156±5,9	3,8	28,8327	0,0001
NO ₃ ⁻	1,8±0,5	37,5	2,6±0,7	31,1	0,8±0,5	65,7	37,2209	0,0000
SO ₄ ²⁻	21,3±1,0	4,9	22,0±2,5	11,5	18,1±2,5	13,6	45,3836	0,0000
PO ₄ ³⁻	1,0±0,5	52,4	1,4±0,6	45,9	0,9±0,5	53,1	12,9802	0,0015
Min	258±13,5	5,2	255±11,4	4,5	237±13,5	5,7	33,5702	0,0000

T – temperatura [°C], EC – przewodnictwo elektrolityczne [µS/cm³], Tw – twardość [mval/dm³], Min – mineralizacja [mg/dm³]

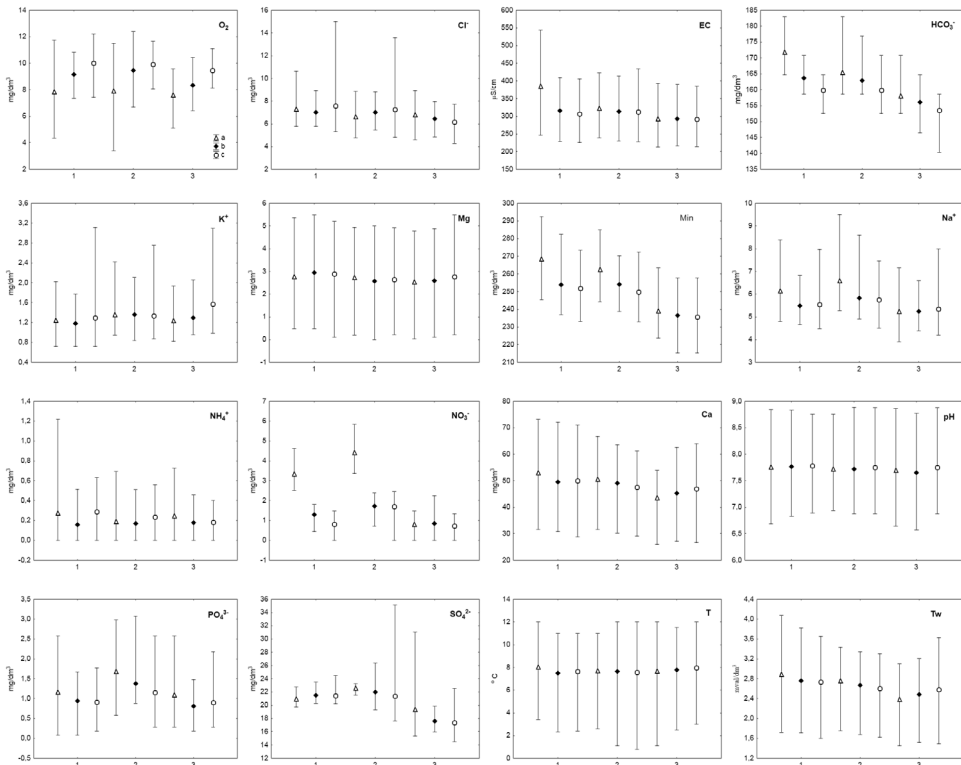
T – temperature [°C], EC – electrical conductivity [µS/cm³], Tw – hardness [mval/dm³], Min – mineralization [mg/dm³]
* pH = -log₁₀[H⁺]

jony NH₄⁺ (CV 88,3-102,7%) (tab. 1). Dominującym składnikiem wód były jony Ca²⁺, występujące w stężeniu 26,0-73,1 mg/dm³. Kationy Mg²⁺ wykazywały znacznie niższe stężenie, średnio od 2,6 do 2,9 mg/dm³. Twardość badanych wód źródłiskowych była zróżnicowana i zależała przede wszystkim od zawartości jonów Ca²⁺. Na ogół nieznacznie większą twardością charakteryzowały się wypływy wód podziemnych w porównaniu z wodą strumieni w ich środkowym i dolnym biegu.

Stężenie Cl⁻ wynosiło średnio od 6,5 do 7,3 mg/dm³ i charakteryzowało się niewielką zmiennością (15,4-20,9%) (tab. 1). Niską zmienność wykazywały również jony HCO₃⁻ (3,4-3,9%), występujące w stężeniu 140,0-183,0 mg/dm³. Koncentracja azotanów (NO₃⁻) w wodach badanych cieków wynosiła średnio od 0,0 do 5,8 mg/dm³, w zależności od cieku, wykazując zmienność sezonową od 31,1 do 65,7%. Zawartość SO₄²⁻ w zależności od stanowiska i terminu poboru próbek przyjmowała wartości od 14,5 do 35,1 mg/dm³, wykazując zróżnicowanie na poziomie 4,9-13,6% (tab. 1). Stężenie jonów PO₄³⁻ wynosiło średnio od 0,9 do 1,4 mg/dm³, przy zmienności w badanym okresie na poziomie 45,9-53,1%.

Sumaryczny udział składników rozpuszczalnych w wodach badanych cieków malał wzdłuż ich biegu. Wśród głównych czynników kształtujących ten trend należy wskazać malejący udział jonów wodorowęglanowych (wynikający zapewne z częściowego uwalniania się dwutlenku węgla do atmosfery), dopływ miękkich wód wysiękających z torfów, a w okresie wegetacyjnym również pobór składników biogennych przez roślinność źródłiskową.

W celu zidentyfikowania czynników determinujących skład chemiczny rozpatrywanych cieków wykonano analizę czynnikową (PCA). W obliczeniach wykorzystano wszystkie parametry



Ryc. 2.

Zmienność parametrów fizykochemicznych w wodach badanych cieków (1, 2, 3) wzdłuż ich biegu (odcinki: a – inicjalny, b – środkowy, c – ujściowy) w trakcie rocznego cyklu badań

Variability of physicochemical parameters in headwaters streams (1, 2, 3) along their course (a – upper, b – middle, c – lower section) during the all-year-long experiment

pomiarowe oraz twardość ogólną i mineralizację całkowitą. Metodą składowych głównych wyodrębniono po 3 niezależne czynniki, wyjaśniające od 59 do 65% zmienności (wariancji) składu chemicznego badanych cieków (tab. 2).

W wodach cieków 1 czynnik 1 (*F1*) wyjaśniał 27% zmienności i grupował jony Ca^{2+} oraz twardość ogólną i mineralizację całkowitą, charakteryzujące się wysokimi, ujemnymi ładunkami czynnikowymi. Jony wapniowe istotnie wpływały na twardość i mineralizację całkowitą w tym cieku, wykazując 91% udziału. Czynniki drugi (*F2*), objaśniający 20% wariancji, grupował tlen rozpuszczony oraz jony SO_4^{2-} . Mniejsze znaczenie odgrywał czynnik trzeci (*F3*), który wyjaśniał 14% zmienności składu chemicznego i był wprost proporcjonalnie związany jedynie z koncentracją jonów NO_3^- .

W wodach cieków 2 czynnik 1 wyjaśniał 25% zmienności (tab. 2). W kształtowaniu tego czynnika brały udział jony Ca^{2+} , twardość ogólna oraz pH roztworu. Czynniki drugi (*F2*) wyjaśniał 18% wariancji i wskazywał, że zmienność koncentracji jonów chlorkowych istotnie związana była z temperaturą badanych wód. Mniejsze znaczenie odgrywał czynnik trzeci (*F3*) – wyjaśniał 16% zmienności i kształtowany był przez jony NO_3^- , podobnie jak w przypadku cieków 1.

W wodach cieków 3 czynnik 1 (*F1*) wyjaśniał 33% wariancji i grupował jony Ca^{2+} , twardość ogólną, mineralizację całkowitą oraz pH (tab. 2). Drugi czynnik wyjaśniał 18% zmienności i gru-

Tabela 2.

Ładunki czynnikowe ($F1$, $F2$, $F3$) otrzymane metodą PCA na podstawie właściwości fizykochemicznych badanych cieków (1, 2, 3)

Factor loadings ($F1$, $F2$, $F3$) obtained with the PCA method on the basis of the physicochemical properties of studied streams (1, 2, 3)

	1			2			3		
	$F1$	$F2$	$F3$	$F1$	$F2$	$F3$	$F1$	$F2$	$F3$
T	-0,39	-0,41	-0,26	-0,04	0,70	0,29	-0,37	0,72	-0,19
pH	0,67	-0,54	0,17	0,80	-0,24	0,13	0,74	0,22	0,03
EC	-0,46	-0,05	-0,16	-0,62	-0,17	-0,13	-0,54	-0,04	0,44
Tw	-0,95	0,17	-0,07	-0,95	0,00	0,19	-0,94	-0,07	0,14
O ₂	-0,05	0,85	-0,39	-0,61	0,06	-0,67	-0,63	-0,29	-0,21
Na ⁺	-0,26	0,68	0,52	-0,15	-0,50	0,15	-0,33	-0,79	0,01
K ⁺	0,31	0,26	-0,03	0,17	-0,51	-0,37	-0,16	-0,77	-0,29
NH ₄ ⁺	0,09	0,31	0,59	0,24	-0,32	-0,10	0,51	-0,45	0,05
Ca ²⁺	-0,91	0,12	-0,05	-0,93	-0,11	0,16	-0,91	-0,05	0,25
Mg ²⁺	-0,54	0,35	-0,08	-0,43	0,33	0,21	-0,64	-0,14	-0,33
Cl ⁻	0,32	0,44	0,37	0,08	-0,76	-0,42	0,51	-0,42	0,59
HCO ₃ ⁻	-0,27	-0,66	0,59	0,45	-0,23	0,61	-0,32	0,51	0,48
NO ₃ ⁻	-0,17	-0,22	0,74	0,04	-0,48	0,70	0,63	-0,09	0,31
SO ₄ ²⁻	0,32	0,74	0,31	-0,26	-0,55	0,19	0,22	-0,37	0,72
PO ₄ ³⁻	-0,52	-0,18	-0,08	0,08	0,36	0,60	0,10	0,48	0,35
Min	-0,85	-0,06	0,42	-0,54	-0,53	0,57	-0,77	-0,00	0,57
S ²	4,30	3,24	2,22	4,04	2,89	2,60	5,30	2,91	2,18
%S ²	27	20	14	25	18	16	33	18	14
		61			59			65	

S² – wariancja wyjściowa, %S² – udział wariancji wyjściowej, pozostałe oznaczenia jak w tabeli 1

S² – initial variance %S² – share of initial variance, other denotes as in table 1

pował jony sodowe, potasowe oraz temperaturę wody. Mniejsze znaczenie odgrywał czynnik trzeci, gdyż wyjaśniał 14% wariancji ich składu chemicznego i był kształtowany tylko przez jony SO₄²⁻.

Dyskusja

Wody źródłiskowe na badanym terenie charakteryzowały się zróżnicowaniem pod względem składu chemicznego. Temperatura wód była nieznacznie wyższa od średniej rocznej temperatury powietrza mierzonej w obrębie niszy, która wynosiła 7,6°C. Uzyskane wartości mieściły się w zakresie temperatury półroczą ciepłego z wielolecia 2000-2009, charakterystycznej dla wód podziemnych zalegających na głębokości około 5 m n.p.m. Badane wody charakteryzowały się małymi amplitudami temperatury, co wpływało korzystnie na intensywność procesów mineralizacji materii organicznej w obrębie niszy [Grootjans i in. 1999; Jonczak i in. 2015a]. Według klasyfikacji Pazdry i Kozerskiego [1990] wypływy wód podziemnych wykazywały odczyn obojętny i słabo zasadowy (tab. 1, ryc. 2), co według Mazurek [2008] jest typowe dla obszarów młodogłacjalnych, ze względu na powszechność występowania CaCO₃. Niewielkie obniżenie wartości pH obserwowane na początku sezonu wegetacyjnego było wynikiem zwiększonego zapotrzebowania roślinności na kationy zasadowe [Macioszczyk, Dobrzyński 2002; Osadowski 2010]. Przewodność elektrolityczna wód zależała od ilości jonów dodatnich i ujemnych, a jej wartość wskazywała na niską i średnią mineralizację [Słownik... 1997]. Tlen rozpuszczony w wodzie pochodził prawie wyłącznie z atmosfery. Na skutek mieszania się wód zwiększeniu

ulegała powierzchnia kontaktu wody z atmosferą i wzrastało jej stopniowe natlenianie [Macioszczyk, Dobrzyński 2002; Joshi, Kothiyari 2003]. Stężenie O_2 w badanych wodach wykazywało zmienność sezonową oraz było uzależnione od punktu poboru próbek. Wraz z przepływem wód wzdłuż cieków obserwowano wzrost natlenienia nawet o 34% (ryc. 2).

Zmiany składu chemicznego wód w niszach źródłiskowych są wynikiem osiągnięcia nowej równowagi fizykochemicznej przez wypływające wody podziemne w stosunku do aktualnych warunków atmosferycznych [Mazurek i in. 2014]. Ważną rolę w modyfikowaniu chemizmu wód odgrywa materia organiczna. Wypływy wód podziemnych są regularnie zasilane składnikami odżywczymi uwalnianymi z rozkładającego się opadu roślinnego [Jonczak, Parzych 2016], który ze względu na szczególne warunki panujące w niszach ulega prawie całkowitemu rozkładowi w ciągu pierwszego roku [Jonczak i in. 2015a]. Materia organiczna wpływa na procesy oksydacyjno-redukcyjne i odczyn wód [Mazurek 2008].

Spośród badanych kationów w największych ilościach występowały jony Ca^{2+} . Stężenie wapnia w wypływach wód podziemnych zależy w dużej mierze od równowagi węglanowej. W zależności od warunków fizykochemicznych wapń może być wytrącany lub przechodzić z osadów do roztworu [Bukowska-Jania 2003]. Na początku sezonu wegetacyjnego (marzec, kwiecień) stwierdzono ubytek jonów wapniowych i magnezowych w badanych wodach, co wiązało się ze wzrastającą aktywnością roślin. Wzrost zawartości jonów Ca^{2+} i Mg^{2+} zaobserwowano pod koniec maja, najprawdopodobniej jako skutek nasilających się procesów wietrzenia skał podłoża, w wyniku czego wody były dodatkowo wzbogacane w te pierwiastki. Na drugim miejscu pod względem zawartości w badanych wodach były kationy Na^+ . Jony sodowe i chlorkowe dostarczane są do zlewni głównie z opadami atmosferycznymi [Mazurek i in. 2014], co potwierdza podobny zakres zmienności obu jonów. Dużą zmiennością w trakcie 12-miesięcznego cyklu badań charakteryzowały się jony potasu (tab. 1, ryc. 2). Kationy K^+ są uwalniane w wyniku wietrzenia minerałów oraz przemian biochemicznych zachodzących w glebie [Macioszczyk, Dobrzyński 2002]. W wodach powierzchniowych i podziemnych zwykle osiągają stężenie kilku mg/dm^3 . Największym jednak przekształceniom ulegały rozpuszczalne formy azotu. Silny ubytek jonów amonowych w środkowej (b) i dolnej (c) części cieków był wynikiem intensywnie zachodzących procesów nityfikacji towarzyszących natlenianiu wód, w których powstają jony NO_3^- , oraz pobierania obu form azotu mineralnego przez roślinność. Jony NO_3^- łatwo migrują w wodach i w niewielkim stopniu podlegają sorpcji. W okresie dynamicznego wzrostu rośliny intensywnie pobierają mineralne formy azotu, co prowadzi do redukcji ich stężenia w wodzie [Rafałowska 2008; Jonczak, Cysewska 2010; Parzych 2011]. Przy lekko alkalicznym i obojętnym odczynie wód wiele gatunków roślin znacznie częściej preferuje jony NO_3^- niż NH_4^+ [Britto, Kronzucker 2002].

Wśród anionów w badanych wodach dominowały ilościowo wodorowęglany. Powstawanie jonów HCO_3^- jest wynikiem rozpuszczania dwutlenku węgla w wodach oraz ługowania skał węglanowych pod wpływem rozpuszczonego w wodzie CO_2 [Macioszczyk, Dobrzyński 2002; Jekatierynczuk-Rudczyk 2007; Jonczak 2010]. Wypływające wody podziemne stopniowo tracą CO_2 , co wiązało się ze zmniejszeniem zawartości jonów HCO_3^- (ryc. 2). Jony siarczanowe stanowiły drugi pod względem ilościowym anion wchodzący w skład badanych wód podziemnych, charakteryzujący się niewielką zmiennością w ciągu roku. Pochodzenie anionów SO_4^{2-} w wodach podziemnych związane jest najczęściej z procesami biogeochemicznymi oraz może być wynikiem wpływu opadów atmosferycznych [Mazurek i in. 2014]. Jony fosforanowe należą do substancji biogennych, niezbędnych roślinom do produkcji biomasy [Parzych, Sobisz 2010]. Źródłem fosforu były rozkładające się szczątki materii organicznej zalegające w strumieniach na

drodze przepływu wód. Obniżone stężenie jonów PO_4^{3-} w okresie letnim było wynikiem wzmózonej aktywności biologicznej roślin. Wraz z przepływem wód od punktów (a) do (c) obserwowano ubytek jonów fosforanowych (ryc. 2). Dodatkowo niższe stężenie jonów mogło być związane z występowaniem znacznych sum opadów, podczas których wypływy wód podziemnych zasilane są wodami o płytkim krążeniu [Michalczyk i in. 2004].

Na obszarach młodoglacjalnych ważnym składnikiem osadów jest węglan wapnia, którego zawartość wynosi zwykle kilka procent. Badane wody charakteryzowały się ogólnie niskim stężeniem substancji rozpuszczonych, w których dominowały jony HCO_3^- i Ca^{2+} . Kontakt luźnych osadów z infiltrującą wodą sprzyja rozpuszczaniu węglanu wapnia i wymianie jonowej [Mazurek i in. 2014]. Zawartość tlenu w wodzie decyduje o warunkach utleniająco-redukujących, ukierunkowuje przebieg procesów hydrogeochemicznych, modyfikuje skład chemiczny oraz wpływa na przebieg procesów samooczyszczania. Wraz ze wzrostem natlenienia wód źródłiskowych obserwowano wzrost koncentracji jonów SO_4^{2-} w cieku 1 (tab. 2). Obecność siarczanów można wiązać z udziałem procesów biochemicznych zachodzących w aktywnej biologicznie, płytkiej strefie krążenia wód [Szpikowska 2006; Mazurek 2008]. Ze względu na śródlądne położenie obiektu badań i brak użytkowania zlewni w celach przemysłowych i gospodarczych wody strumieni były czyste, wykluczono w nich wpływ czynników antropogenicznych. Jony azotanowe (w stężeniu średnio $<1,4 \text{ mg/dm}^3$) pochodziły z procesów rozkładu materii organicznej i procesów nityfikacji. W wodach cieku 2 ubytek jonów wapniowych istotnie wpływał na kształtowanie odczynu badanych wód oraz twardość ogólną. Składowe tego czynnika są wynikiem wzmózonej aktywności roślin w sezonie wegetacyjnym. Obniżenie temperatury związane z okresem zimowym i wiosennym często powoduje wzrost zawartości niektórych składników w wodach, która to wartość maleje następnie wraz z rozpoczęciem sezonu wegetacyjnego [Sickman i in. 2003]. Wzrost temperatury wód źródłiskowych w cieku 3 istotnie wpływał na kształtowanie zawartości jonów Na^+ i K^+ . Stężenie jonów potasu (średnio $<1,4-1,6 \text{ mg/dm}^3$) w wypływach wód podziemnych wynika z dużej aktywności tego jonu w obiegu biologicznym oraz sorpcji na powierzchni koloidów glebowych [Macioszczyk, Dobrzyński 2002].

Wnioski

- ✦ Badane wody charakteryzowały się niewielkim stężeniem substancji rozpuszczonych i wykazywały charakter wodorowęglanowo-wapniowy.
- ✦ Wzdłuż strumieni obserwowano małą zmienność temperatury wody, wynikającą z ich niewielkiej długości i szybkiego przepływu.
- ✦ Na stosunkowo stałym poziomie utrzymywał się odczyn badanych wód oraz zawartość jonów Mg^{2+} .
- ✦ Trendy wzrostowe stwierdzono w przypadku rozpuszczonego tlenu, zaś spadkowe dotyczyły jonów HCO_3^- , NO_3^- i PO_4^{3-} .
- ✦ Pozostałe składniki wykazywały zróżnicowane tendencje w poszczególnych obiektach, wskazujące na dominujące znaczenie czynników lokalnych.
- ✦ Zawartość jonów Ca^{2+} oraz twardość wód w trakcie 12-miesięcznego cyklu pomiarowego istotnie wpływały na pH, a temperatura na skład chemiczny cieków 2 i 3.
- ✦ Udział jonów NO_3^- okazał się istotny w kształtowaniu chemizmu wód cieków 1 i 2, a jonów Na^+ i K^+ w przypadku cieku 3.
- ✦ Jony NH_4^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- i PO_4^{3-} oraz przewodnictwo elektrolityczne nie wykazywały istotnego wpływu na skład czynników wyjaśniających chemizm badanych cieków.

Literatura

- Astel A., Małek S., Makowska S. 2008. Effect of Environmental Conditions on chemical profile of stream water in Sanctuary Forest Area. *Water, Air and Soil Pollution* 195: 137-149.
- Britto D. T., Kronzucker H. J. 2002. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology* 159: 567-584.
- Bukowska-Janina E. 2003. Rola systemu lodowcowego w obiegu węglanu wapnia w środowisku przyrodniczym. Wydaw. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Grootjans A., Swinkels J., Groeneweg M., Wołajko L., Aggebbach C. 1999. Hydro-ecological aspects of a Polish spring mire complex (Diabli Skok). *Crucocia* 6: 73-82.
- Gupta H., Chakrapani G. J., Selvaraj K., Kao S. J. 2011. The fluvial geochemistry, contributions of silicate, carbonate and saline-alkaline components to chemical weathering flux and controlling parameters: Narmada River (Deccan Traps), India. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 75: 800-824.
- Hindshaw R. S., Tipper E. T., Reynolds B. C., Lemarchand E., Wiederhold J. G., Magnusson J., Bernasconi S. M., Kretzschmar R., Bourdon B. 2011. Hydrological control of stream water chemistry in a glacial catchment (Damma Glacier, Switzerland). *Chemical Geology* 285: 215-230.
- Horska-Schwarz S., Spałek K. 2008. Charakterystyka wybranych źródeł Śląska Opolskiego. W: Chmielewski T. J. [red.]. *Struktura i funkcjonowanie systemów krajobrazowych: meta-analizy, modele, teorie i ich zastosowania. Problemy Krajobrazu* 21: 311-318.
- Jekatierynczuk-Rudezyk E. 2005. Transformacja składu chemicznego wody w strefie źródeł nizinnych. T. III. Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź. 259-268.
- Jekatierynczuk-Rudezyk E. 2007. Strefa hyporeiczna, jej funkcjonowanie i znaczenie. *Kosmos* 56 (1-2): 181-196.
- Jonczak J. 2010. Chemizm wód zasilających Jarosławiankę. *Ślupskie Prace Geograficzne* 7: 83-101.
- Jonczak J., Cysewska J. 2010. Pozycja systematyczna i wybrane właściwości gleb nisz źródłiskowych w Dolinie Jarosławianki (Równina Ślawieńska). *Roczniki Gleboznawcze* 61 (2): 45-65.
- Jonczak J., Parzych A. 2016. Właściwości materii organicznej gleb śródleśnych nisz źródłiskowych w dolinie Kamiennej (Pomorze Środkowe). *Sylwan* 160 (2): 135-143.
- Jonczak J., Parzych A., Sobisz Z. 2015a. Decomposition of four tree species leaf litters in headwater riparian forest. *Baltic Forestry* 21 (1): 133-143.
- Jonczak J., Parzych A., Sobisz Z. 2015b. Distribution of carbon and nitrogen forms in the histosols of headwater areas – a case study from the Valley of the Kamienna Creak (Northern Poland). *Journal of Elementology* 1: 95-105.
- Joshi B. K., Kothiyari B. P. 2003. Chemistry of perennial springs of Bhetagad watershed: a case study from central Himalayas, India. *Environmental Geology* 44: 572-578.
- Macioszczyk A., Dobrzyński D. 2002. Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. PWN, Warszawa.
- Małek S., Astel A., Krakowian K., Opałacz J. 2010. Ocena jakości wód źródłanych w rejonie Skrzycznego i Baraniej Góry. *Sylwan* 154 (7): 499-505.
- Mazurek M. 2006. Wyphyty wód podziemnych w południowej części dorzecza Parsęty. Badania fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Ser. A – Geografia Fizyczna 57: 101-118.
- Mazurek M. 2008. Obszary źródłiskowe ogniwem łączącym system stokowy z systemem korytowym, dorzecze Parsęty. *Landform Analysis* 9: 63-67.
- Mazurek M., Kruszyk R., Szpakowska G. 2014. Transformacja składu chemicznego wód podziemnych w niszach źródłiskowych na obszarach młodoglacjalnych (dorzecze Parsęty). *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN* 20: 355-269.
- Michalczyk Z., Chmiel S., Głowacki S., Zielińska B. 2004. Zmiany wydajności i chemizmu wód źródeł Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. *Ann. UMCS B* 59: 107-122.
- Ohte N., Mitchell M. J., Shibata H., Tokuchi N., Toda H., Iwatsubo G. 2001. Comparative evaluation on nitrogen-saturation of forest catchments in Japan and Northeastern United States. *Water, Air and Soil Pollution* 130: 649-654.
- Oliva P., Viers J., Dupré B. 2003. Chemical weathering in granitic environments. *Chemical Geology* 202: 225-256.
- Osadowski Z. 2006. Threatened, protected and rare species of vascular plants in spring complexes in the central part of Polish Pomerania. *Biodiversity: Research and Conservation* 1-2: 174-180.
- Osadowski Z. 2010. Wpływ uwarunkowań hydrologicznych i hydrochemicznych na zróżnicowanie szaty roślinnej źródeł w krajobrazie młodoglacjalnym Pomorza. *Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań – Ślupsk*.
- Parzych A. 2011. Contents of nitrogen and phosphorus compounds in groundwaters of selected forest associations in the Słowiński National Park. *Archives of Environmental Protection* 37 (4): 95-105.
- Parzych A., Sobisz Z. 2010. Biomasa i produkcja pierwotna netto runa leśnego w wybranych ekosystemach Słowińskiego Parku Narodowego, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 42: 72-83.
- Pazdro Z., Kozerski B. 1990. *Hydrogeologia ogólna*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.

- Rafałowska M. 2008. Ocena zawartości azotanów w wodach powierzchniowych obszaru szczególnie zagrożonego zanieczyszczeniami ze źródeł rolniczych. *Proceedings of ECOpole 2* (2): 473-478.
- Siekman J. O., Leydecker A., Chang C. C. Y., Kendall C., Melack J. M., Lucero D. M., Schimel J. 2003. Mechanisms underlying export of N from high-elevation catchments during seasonal transitions. *Biogeochemistry* 64: 1-24.
- Słownik hydrogeologiczny 1997. Wyd. Trio, Warszawa.
- Stutter M. I., Deeks L. K., Low D., Billett M. F. 2006. Impact of soil and groundwater heterogeneity on surface water chemistry in an upland catchment. *Journal of Hydrology* 318: 103-120.
- Szpikowska G. 2006. Denudacja chemiczna w zlewni Chwalimskiego Potoku (górna Parsęta). W: Kostrzewski A., Czerniawska J. [red.]. *Przemiany środowiska geograficznego Polski północno-zachodniej*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań. 101-110.
- Tabacchi E., Lambs L., Guilloy H., Planty-Tabacchi A. M., Muller E., Decamps H. 2000. Impacts of riparian vegetation on hydrological processes. *Hydrological Processes* 14 (16-17): 2959-2976.
- Trojanowski J., Antonowicz J. 2011. Heavy metals in surface microlayer in water of lake Gardno. *Archives of Environmental Protection* 37 (1): 75-88.
- Welsch D. L., Kroll C. N., McDonnell J. J., Burns D. A. 2001. Topographic controls on the chemistry of subsurface stormflow. *Hydrological Processes* 15 (10): 1925-1938.
- Yu S., Chen W., He X., Liu Z., Huang Y. 2014. Biomass accumulation and nutrient uptake of 16 riparian woody plant species in Northeast China. *Journal of Forest Research* 25 (4): 773-778.
- Zang H., Cui B., Xiao R., Zhao H. 2010. Heavy metals in water, soils and plants in riparian wetlands in the Pearl River Estuary, South China. *Procedia Environmental Science* 2: 1344-1354.
- Zhang Z., Fukushima T., Shi P., Tao F., Onda Y., Gomi T., Mizugaki S., Asano Y., Kosugi K., Hiramatsu S., Kitahara H., Kuraji K., Terajima T., Matsushige K. 2008. Seasonal changes of nitrate concentrations in base flow headwaters of coniferous forests in Japan: A significant indicator for N saturation. *Catena* 76: 63-69.