

SEZONOWE ZMIANY SKŁADU CHEMICZNEGO WÓD RZECZNYCH W ZLEWNI ROLNICZEJ

Małgorzata Krasowska¹

¹ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, e-mail: m.krasowska@pb.edu.pl

STRESZCZENIE

Jakość wód powierzchniowych kształtowana jest przez szereg procesów zachodzących na obszarze całej zlewni. Dominującą rolę w kształtowaniu zmian właściwości fizyko-chemicznych wód odgrywają warunki hydro-meteorologiczne, których zmienność podyktowana jest sezonowością. Szczegółowa charakterystyka środowiska wodnego jest ważnym aspektem przy ocenie zmienności czasowej jakości wód powierzchniowych, a informacje te są niezbędne do prowadzenia zrównoważonej gospodarki wodnej. W związku z tym celem pracy było zbadanie sezonowej zmienności składu chemicznego wód niewielkiego cieku w krajobrazie rolniczym w warunkach Polski Północno-Wschodniej. Badania obejmowały analizę wybranych właściwości fizyko-chemicznych wody w ciągu roku, wykonanie analizy czynnikowej, w celu identyfikacji procesów kształtujących zmiany sezonowe oraz obliczenie wskaźników Markhama (indeksu sezonowości i pory koncentracji). Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że właściwości fizyko-chemiczne wód badanego cieku podlegały wahaniom sezonowym. Wskazano zależność pomiędzy zawartością poszczególnych składników rozpuszczonych a wielkością przepływu. Stwierdzono, że w warunkach hydroklimatycznych Polski Północno-Wschodniej intensywne wymywanie oraz podwyższone stężenia głównie biogenów obserwuje się podczas wezbrań wywołanych topnieniem pokrywy śnieżnej i opadami deszczu zimą i wczesną wiosną. W związku z tym okres ten może być krytyczny dla jakości wód powierzchniowych w krajobrazie rolniczym.

Słowa kluczowe: sezonowość, chemizm wody, zlewnia rolnicza, indeksy Markhama

SEASONAL CHANGES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF RIVER WATERS IN AGRICULTURAL CATCHMENT

ABSTRACT

The quality of surface water is shaped by a number of processes taking place across the catchment. The dominant role in shaping changes in physico-chemical properties of water play hydrochemical conditions. Detailed characteristics of the aquatic environment is an important aspect in assessing the variability of temporary surface water quality, and the information is necessary for sustainable water management. Therefore, the aim of this study was to investigate the seasonal variability of the chemical composition of water of a small stream in the agricultural landscape in north-eastern Poland. The study included analysis of selected physico-chemical properties of water per year, performing factor analysis in order to identify the processes that shape seasonal changes and the calculation of indicators Markham (index of seasonality and time of concentration). The results found that the physico-chemical properties of water examined watercourse been subject seasonal fluctuations. It indicates the relationship between the content of the individual components dissolved and the size of flow. It was found that in conditions of Polish north-eastern intensive washing and increased levels of nutrients were observed during high water caused by melting snow and rainfall in winter and early spring. Therefore, this period can be critical for the quality of surface water in the agricultural landscape.

Keywords: seasonality, water chemistry, agricultural catchment, the Markham indexes

WSTĘP

Jakość wód powierzchniowych kształtowana jest przez szereg procesów zachodzących na obszarze całej zlewni. Przyjmuje się, że zmienność składu chemicznego wód rzecznych jest odzwierciedleniem dynamiki wymywania i dostawy do cieków związków rozpuszczonych z obszaru zlewni oraz wypadkową dróg i czasu krążenia wody w krajobrazie [Kostrzewski i in. 1994]. W ostatnich latach zwraca się szczególną uwagę na znaczny udział rolnictwa w kształtowaniu zasobów wodnych, ponieważ składniki pokarmowe wprowadzane do gleb w postaci nawozów mineralnych i organicznych lub uruchamiane w glebach, mogą być wymywane z ekosystemów rolniczych do wód powierzchniowych [Oenema i in. 1998, Melcer i Olejnik 2006].

Dominującą rolę w kształtowaniu zmian właściwości fizyko-chemicznych wód odgrywają ukształtowanie terenu, przepuszczalność gleb, wielkość i czasowy rozkład opadów atmosferycznych, podatność podłoża geologicznego na wietrzenie i ługowanie oraz sposób krążenia wody w zlewni [Clark i in. 2004, Siwek 2012]. Wielu autorów potwierdza, że na zmiany składu chemicznego wód rzecznych, które obserwowane są w ciągu roku, w szczególności mają wpływ warunki hydrometeorologiczne [Jokiel 2002, Moniewski 2015]. W zlewniach rolniczych, w warunkach umiarkowanego klimatu intensywne wymywanie substancji rozpuszczonej oraz podwyższone ich stężenie w wodach powierzchniowych obserwuje się podczas wezbrań, głównie wywołanych topnieniem pokrywy śnieżnej, które są okresem krytycznym dla jakości wód rzecznych [Petry 2002, Banaszuk 2004, Mitchell i in. 2006]. Dlatego też charakterystyka środowiska wodnego jest ważnym aspektem przy ocenie zmienności czasowej wód powierzchniowych, a informacje te niezbędne są do prowadzenia zrównoważonej gospodarki wodnej. W związku z tym celem niniejszej pracy było zbadanie sezonowej zmienności cech fizyko-chemicznych oraz określenie czynników kształtujących sezonowość.

OBSZAR BADAŃ

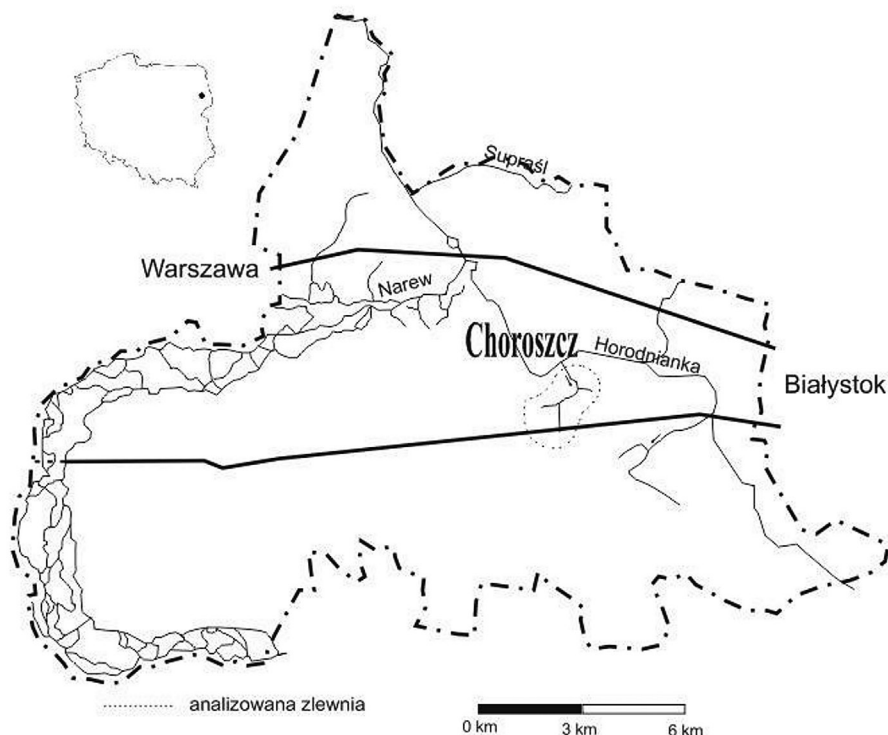
Prace badawcze prowadzono w 2009 roku, w zlewni niewielkiego cieku, w województwie podlaskim, w gminie Choroszcz. Badana zlewnia znajduje się w dorzeczu Narwi, która wraz ze

swoimi największymi dopływami: Biebrzą, Pisą, Narewką, Supraślą, Nereślą, Horodnianką tworzy główny układ sieci hydrograficznej Niziny Północnopodlaskiej. Według podziału hydrograficznego Polski, analizowany ciek jest lewostronnym dopływem Horodnianki (rys. 1). Jest on uregulowany i nie ma naturalnego źródła, ponieważ jego początkiem jest wypływ z systemu drenarskiego. Jego długość od wypływu z drenu do przekroju badawczego wynosi około 1550 m.

Badana zlewnia położona jest w regionie o klimacie umiarkowanym kontynentalnym. Obszar ten charakteryzuje się krótkim okresem wegetacji, który rozpoczyna się w połowie kwietnia, a kończy w trzeciej dekadzie października. Przymrozki pojawiają się w październiku, a ostatnie w maju [Górniak 2000]. Dominującą postacią zasilania atmosferycznego są opady deszczu, natomiast opady śniegu stanowią średnio około 22% sumy rocznej. Maksymalne opady deszczu występują latem, a ich suma z półrocza od kwietnia do września stanowi około 60% rocznej sumy. Większość opadów trwa krócej niż 30 minut, a ich intensywność zmniejsza się wraz ze wzrostem czasu ich trwania [Kupczyk i Suligowski 1997]. Deszcze ulewne (według skali Chomicza [1951]; $10-45 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$) i nawalne ($45-120 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$) występują od kwietnia do października, z maksimum w czerwcu. Natomiast średnia liczba dni w roku z opadem śniegu wynosi 81-85 dni. Pokrywa śnieżna utrzymuje się od początku listopada do końca kwietnia i jest najczęściej nietrwała, na co wpływ mają śródzimowe odwilże, a jej grubość może osiągać nawet 80 cm. Pokrywa śnieżna, utrzymująca się na powierzchni gruntu, chroni glebę przed działaniem ujemnych temperatur i zapobiega jej przemarzaniu. Jednak w północno-wschodniej Polsce, ze względu na wczesne przymrozki, grunt często przemarza jeszcze przed opadami śniegu. W takiej sytuacji śnieg nie tylko chroni glebę przed niskimi temperaturami, ale też w pewnym stopniu opóźnia odmarzanie podczas odwilży [Górniak 2000].

METODYKA

Na obszarze analizowanej zlewni, w odległości około 800 m od przekroju badawczego zainstalowano automatyczną stację pogodową Davis Vantage Pro2, która co 30 minut rejestrowała temperaturę powietrza, wilgotność względną, prędkość i kierunek wiatru, opady atmosferyczne i natężenie promieniowania słonecznego.



Rys. 1. Lokalizacja zlewni

Fig. 1. Location catchment

Stany wody w cieku mierzone w regularnych interwałach, co 30 minut, za pomocą miernika CTD Diver (Schlumberger Ltd.), rejestrującego również temperaturę i przewodnictwo elektrolityczne wody. Stany wody przeliczono następnie na wartości przepływu w oparciu o krzywą przepływu sporządzoną dla monitorowanego przekroju pomiarowego. Wielkość przepływu w cieku mierzone z użyciem przelewu trójkątnego Thomsona. Przepływ (Q_p) obliczono na podstawie wysokości (h) przelewającej się wody według wzoru (1) [Pazdro 1977]:

$$Q_p = 1,4h^{5/2}[\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

Próbki wody z cieku do badań laboratoryjnych pobierano dwa razy w tygodniu. W próbkach wody oznaczono wartości wybranych właściwości fizykochemicznych, takich jak: przewodnictwo elektrolityczne (EC), pH, stężenie jonów: NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , $\text{Si}_2\text{O}_3^{2-}$, Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , oraz rozpuszczony węgiel organiczny (RWO).

W celu statystycznego opracowania danych zastosowano analizę głównych składowych (z ang. *Principal Component Analysis*, PCA), która jest wielowymiarowa i umożliwia odkrycie współzależności między zmiennymi, a także wykrycie czynników, czyli „ukrytych struktur”, nie-

dostępnych w bezpośredniej obserwacji [Racine i Reymond 1977]. Wartości czynnikowe obliczono za pomocą regresji wielokrotnej dla każdego czynnika. Aby wzmocnić między wykrytymi czynnikami i zmiennymi macierz czynnikową poddano rotacji Varimax w przestrzeni wielowymiarowej. Przy opisie wyników uwzględniono te czynniki, których wartości własne są równe jedności lub wyższe. Ładunki czynnikowe odpowiadające współczynnikom korelacji zbliżone do ± 1 wskazują na bardzo silny związek między zmienną i czynnikiem, natomiast o braku związku świadczą wartości zbliżone do 0. Przyjęto, że związki zmiennej z czynnikiem są silne, gdy wartości bezwzględne jej ładunków są większe od 0,75. Związki umiarkowane występują wówczas, gdy wartości ładunków mieszczą się w przedziale 0,40–0,75. Wartości poniżej 0,40 pominięto i uznano za nieistotne [Racine i Reymond 1977, Banaszuk 2004]. Obliczenia statystyczne wykonano przy użyciu programu Statistica 8.

W celu analizy sezonowości składu chemicznego wód cieku wykorzystano metodę wektorów Markhama [1970], do których zaliczono indeks sezonowości (IS) i porę koncentracji (PK). Obliczanie indeksu sezonowości oparte jest na podstawie geometrii analitycznej, w związku z tym

IS jest procentowo wyrażony jako iloraz wartości bezwzględnej długości wektora wypadkowego ($|\vec{R}|$) i sumy modułów długości wektorów cząstkowych ($\sum|\vec{r}_i|$):

$$IS = \frac{|\vec{R}|}{\sum|\vec{r}_i|} \cdot 100\% \quad (2)$$

Indeks sezonowości przyjmuje wartości z przedziału 0–100%, a wraz z jego wzrostem rośnie stopień sezonowości badanej cechy. Natomiast wskaźnikiem pory koncentracji jest kąt nachylenia (α_i) wektora wypadkowego, wyrażony w dobach względem początku roku:

$$PK = \arctg \frac{\sum|\vec{r}_i| \cos \alpha_i}{\sum|\vec{r}_i| \sin \alpha_i} \quad (3)$$

Miara ta wyrażona jest w dobach względem początku roku hydrologicznego i wskazuje na miesiąc koncentracji zjawiska [Stolarska 2008, Tomalski 2016].

WYNIKI BADAŃ

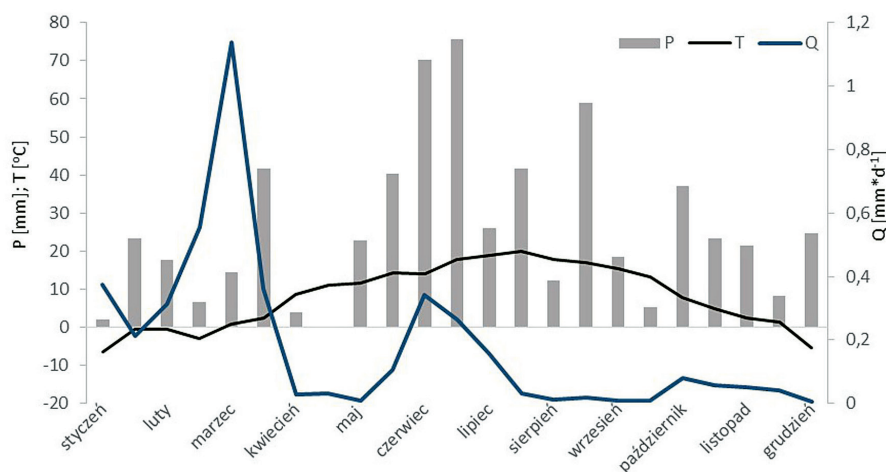
Warunki hydrometeorologiczne

Średnia temperatura powietrza w 2009 roku wynosiła 8 °C, najchłodniejszym miesiącem był styczeń, a najcieplejszym lipiec. Natomiast roczna suma opadów wynosiła 596 mm. Według skali Chomicza [1951] dominowały deszcze zwykłe, jedynie w lipcu zanotowano deszcze ulewne (10–45 mm·h⁻¹). Na tle wielolecia rok 2009 był przeciętny pod względem przebiegu zjawisk pogodowych.

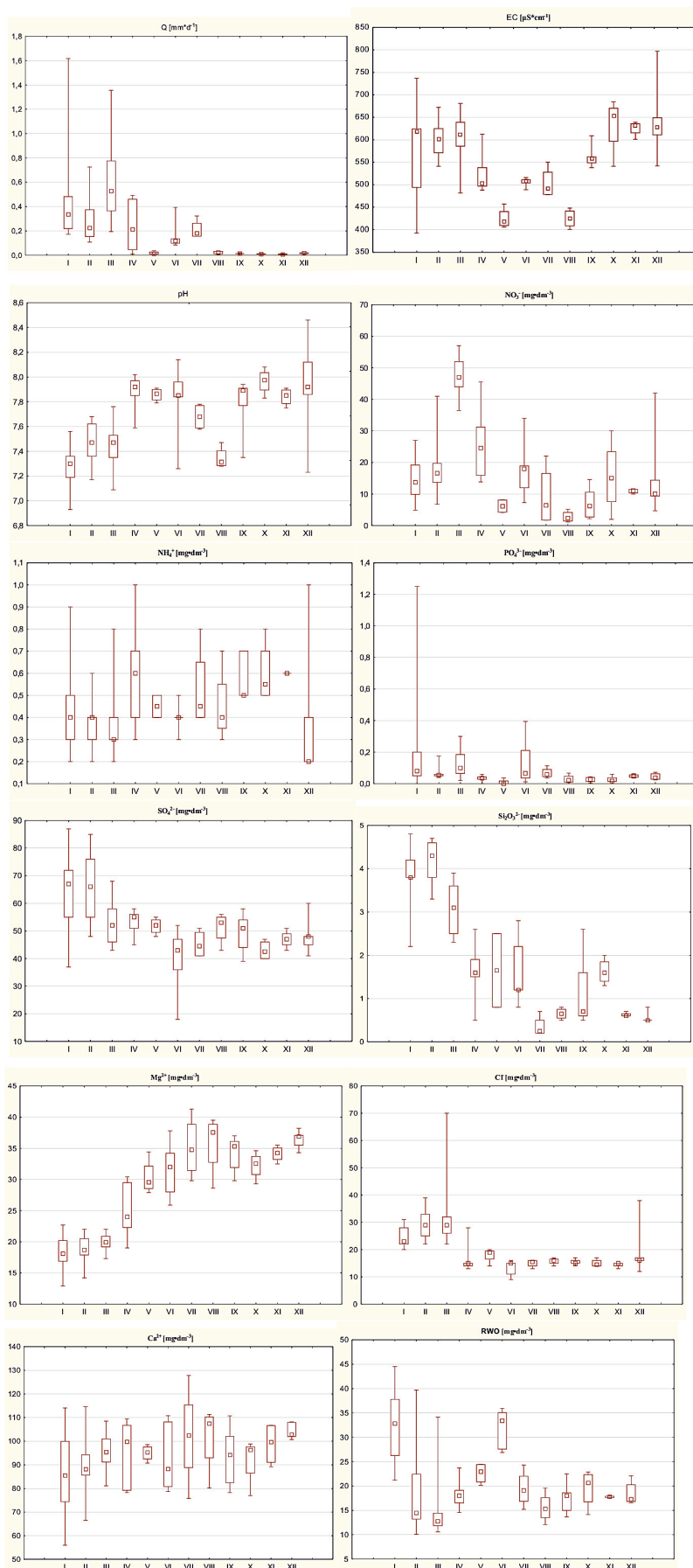
Opady śniegu w miesiącach zimowych cechowały się różną intensywnością, pierwsze opady odnotowano w listopadzie, a miąższość pokrywy śnieżnej zmieniała się z czasem w zależności od przebiegu temperatury powietrza. Zmienne warunki meteorologiczne wpływały na dynamikę uwilgotnienia zlewni i pierwsze wezbrania roztopowe rozpoczęło się już w ostatnich dniach stycznia. Największą wartość odpływu zanotowano w marcu, w trakcie roztopów wiosennych (rys. 2).

Przebieg zmian sezonowych

Wartości wybranych wskaźników fizykochemicznych w wodach ciekłu podlegały wahaniom sezonowym (rys. 3). Podwyższone stężenie azotanów oraz fosforanów odnotowano w okresie wezbrań roztopowych. Kolejny wzrost nastąpił latem, podczas wysokich stanów wody wywołanych opadami deszczu. W ciągu roku dynamicznie zmieniało się stężenie jonów amonowych. Maksymalne stężenie stwierdzono w grudniu przed falą wezbraniową, w trakcie jej opadania stężenie tego jonu malało, natomiast kolejny wzrost nastąpił przed wezbraniem opadowym, w miesiącach letnich. Największe stężenie siarczanów odnotowano w grudniu, podczas niskich stanów wody. Zawartość tego jonu znacznie malała podczas kulminacji przepływu. Zawartość rozpuszczonego węgla organicznego charakteryzowała się największymi wahaniami we wstępnej fazie wezbrania, zarówno zimą i latem. Dość dużą dynamiką w wodach ciekłu odznaczała się zawartość magnezu, wapnia i chlorków. Maksymalne stężenie magnezu i wapnia zanotowano w okresie letnim, natomiast chlorków po przejściu fali wez-



Rys. 2. Średnie wartości opadów atmosferycznych (P), temperatury (T) i odpływu ze zlewni (Q)
Fig. 2. Average values of precipitation (P), temperature (T) and runoff from the catchment (Q)



Rys. 3. Dynamika właściwości fizykochemicznych wód ciekę
 Fig. 3. Dynamics of the physicochemical properties of the stream water

braniowej w marcu, co miało związek z wymywaniem substancji rozpuszczonej z gleb zlewni.

Wszystkie analizowane parametry fizykochemiczne charakteryzowały się niskimi wartościami indeksu sezonowości. Jedynie IS dla wartości odpływu wynosił ponad 16%, co można interpretować jako umiarkowaną sezonowość. Tendencję do formowania się rytmu sezonowego stwierdzono w przypadku jonów krzemianowych, natomiast pozostałe parametry charakteryzowały się lekko zaznaczonym rytmem zmian sezonowych. Natomiast terminy koncentracji (PK) wypadły głównie w miesiącach zimowych (styczeń-marzec). Jedynie wskaźnik pory koncentracji odczynu przypadał na maj, podczas którego przepływ wody w cieku był niski (tab. 1).

Czynniki dominujące w kształtowaniu zmian sezonowych

Analiza głównych składowych, wykonana dla całego roku hydrologicznego pozwoliła na wyróżnienie trzech czynników (F1, F2, F3), które miały związek ze stanami charakterystycznymi cieku (tab. 2). Czynniki F1 wyjaśniał 26% wariancji składu chemicznego wód cieku. Dodatkowo ładunki czynnikowe odnotowano dla jonów SO_4^{2-} , $\text{Si}_2\text{O}_3^{2-}$ i Cl^- . Dodatkowo, czynnik ten związany był z temperaturą wody.

Największe natężenie czynnika F1 stwierdzono u schyłku zimy, po opadnięciu fali wezbraniowej wywołanej topnieniem pokrywy śnieżnej (rys. 4). Wartość czynnika F1 znacznie malała podczas niskich stanów wody, osiągając najmniejszą wartość w okresie bezopadowym, w lipcu. Wysokie wartości czynnikowe w styczniu, lutym i marcu, które zanotowano po przejściu fali wezbraniowej wywołanej topnieniem pokrywy śnieżnej oraz po opadach deszczu, mogą świadczyć o dostawie substancji rozpuszczonej wraz ze spływem powierzchniowym w wyniku wymywania z gleb.

Czynnik F2 wyjaśniał 22% wariancji składu chemicznego wód i był dodatnio skorelowany z EC i stężeniem Ca^{2+} i Mg^{2+} oraz ujemnie z PO_4^{3-} i NH_4^+ . Jego dominujące znaczenie od-

notowano w okresie bezopadowym, podczas niskich stanów wody, zarówno latem i zimą (rys. 4). W okresie tym ciek zasilany był przez wody głębokiego krążenia. Wartość czynnika F2 znacznie malała w trakcie wezbrań roztopowych i opadowych.

Czynnik F3, który wyjaśniał 19% wariancji składu chemicznego cieku był dodatnio skorelowany ze stężeniem NO_3^- , SO_4^{2-} , RWO i wartością odpływu (Q). Największe natężenie tego czynnika stwierdzono w trakcie wezbrania roztopowego w styczniu oraz w marcu podczas podwyższonych wartości odpływu, wywołanych intensywnymi opadami deszczu (rys. 4). W marcu 2009 r. odnotowano największe stężenie azotanów, wynoszące $62 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Natomiast w styczniu podczas roztopów spowodowanych topnieniem pokrywy śnieżnej stwierdzono największe stężenie siarczanów, wynoszące $87 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Stężenie rozpuszczonego węgla organicznego (RWO) rosło w trakcie wysokich stanów wody w cieku. Największe stężenie ($54 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) odnotowano w ostatnich dniach marca.

Tabela 2. Macierz ładunków czynnikowych dla wód cieku

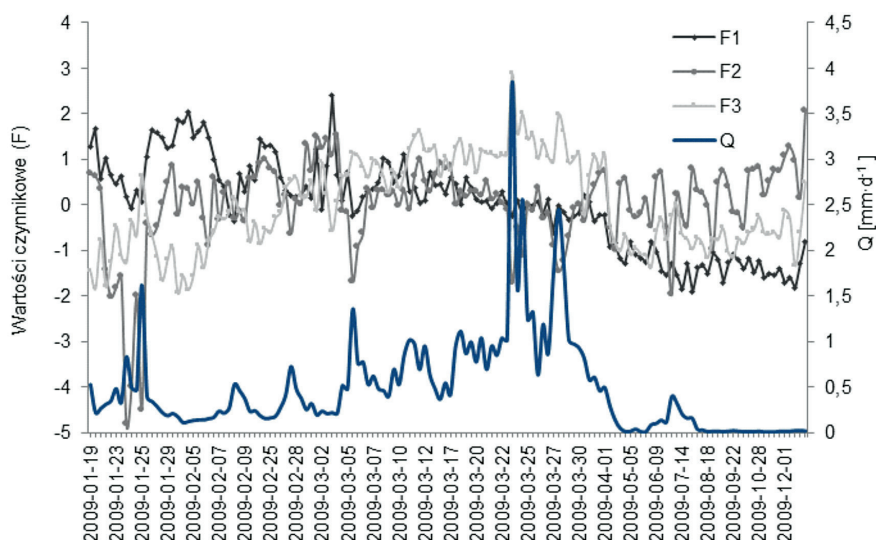
Table 2. The matrix of factor loadings for the waters of the stream water

Zmienna	Czynnik		
	F1	F2	F3
T_{wody}	-0,72		
Q			0,75
EC		0,70	
pH	-0,61		
NO_3^-			0,86
NH_4^+		-0,40	
PO_4^{3-}		-0,76	
SO_4^{2-}	0,69		0,42
$\text{Si}_2\text{O}_3^{2-}$	0,89		
Cl^-	0,67		
Mg^{2+}	-0,78	0,40	
Ca^{2+}		0,77	
RWO			0,62
% wyjaśnionej wariancji	26	22	19

Tabela 1. Indeksy sezonowości i pory koncentracji parametrów fizykochemicznych

Table 1. Indices of seasonality and time of concentration of physicochemical parameters

Wskaźniki Markhama	Q	pH	EC	NO_3^-	NH_4^+	PO_4^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}	$\text{Si}_2\text{O}_3^{2-}$	Mg^{2+}	Ca^{2+}	RWO
IS [%]	16,2	10,5	10,6	11,8	10,3	11,5	10,5	10,3	9,9	10,8	10,6	10,8
PK [miesiąc]	I	V	II	III	I	I	II	I	I	II	II	II



Rys. 4. Dynamika wartości czynnikowych (F) podczas całego 2009 r. na tle wartości odpływu (Q)
Fig. 4. Dynamics of the value factor (F) during the whole 2009 on a background value of the discharge (Q)

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że właściwości fizyko-chemiczne wód badanego cieką podlegały wahaniom sezonowym. Wiele badań prowadzonych w zlewniach leśnych, rolniczych czy miejskich wskazuje na związek pomiędzy warunkami hydrometeorologicznymi a stężeniem wybranych substancji rozpuszczonych w wodach rzecznych [Gugała i in. 2016, Żelazny i Siwek 2012, Wysocka-Czubaszek, 2014]. Także, niniejsze wyniki badań ukazują zależność pomiędzy zawartością poszczególnych składników a wielkością przepływu wody.

Niektórzy autorzy wskazują, że wraz ze wzrostem przepływu, maleje przewodność elektrolityczna i stężenie głównych jonów, co związane jest ze zwiększoną dostawą niskozmineralizowanych wód krótkiego krążenia, do których zalicza się wody spływu powierzchniowego [Bhangu i Whitfield 1997]. Pomimo tego, w niektórych przypadkach, szczególnie w niewielkich zlewniach, a także jak podaje Pinol i in. [1992] w zlewniach rzek okresowo wysychających związki zakumulowane w zlewni zostają wypłukane przez wody roztopowo-opadowe. Wówczas zwiększenie natężenia przepływu powoduje wzrost stężenia jonów [Siwek 2012]. Ponadto zwiększenie przepływu powoduje, że większa ilość związków biogenych dostaje się do wód powierzchniowych ze źródeł obszarowych, które w zlewniach rolniczych są głównymi źródłami zanieczyszczeń [Petry i in. 2002]. W zlewniach rolniczych na

zmiany chemizmu wód rzecznych mają wpływ spływy powierzchniowe z pól nawożonych nawozami organicznymi i mineralnymi zawierającymi duże ilości substancji rozpuszczonych [Dąbkowski i Pawłat-Zawrzykraj 2003], których stosowanie również podyktowane jest sezonowością. Wyniki badań prowadzone w ramach niniejszej pracy potwierdzają te spostrzeżenia. Intensywne wymywanie oraz podwyższone stężenie składników rozpuszczonych zaobserwowano podczas wezbrań wywołanych topnieniem pokrywy śnieżnej i opadami deszczu w okresie wczesnowiosennym. Wody roztopowe docierały do wód cieką wraz ze spływem powierzchniowym oraz wykorzystując tzw. preferencyjne ścieżki przepływu. Wielu autorów wskazuje, że formy te są odpowiedzialne za wzmożoną migrację głównie biogenów z terenów wysoczyznowych do wód powierzchniowych [Krasowska i Banaszuk 2015, Lin 2010]. Jak wykazały kilkuletnie badania autorki, w analizowanej zlewni preferencyjnymi ścieżkami przepływu są systemy drenarskie, których udział w kształtowaniu składu chemicznego wód cieką w okresie wczesnowiosennym określono na ...%. Obecność sieci drenarskiej w zlewniach rolniczych powoduje zwiększenie bezpośredniego kontaktu z cieką i wpływa na wzrost stężenia niektórych jonów, głównie biogenów, w wodach powierzchniowych, w okresach roztopowych, szczególnie w warunkach klimatu umiarkowanego.

Ponadto istotną rolę w kształtowaniu sezonowych zmian składu chemicznego wód powierzch-

niowych odgrywają procesy biologiczne zachodzące w zlewniach. Sullivan i Drever [2001] oraz Clark i in. [2004] stwierdzili, że zmiany stężenia biogenów, głównie azotanów związane są z okresem wegetacyjnym. W związku z tym zmniejszenie zawartości substancji biogenych w okresie wiosenno-letnim można tłumaczyć zmożonymi procesami rozkładu materii organicznej.

Dodatkowo, statystyki Markhama potwierdziły, że w analizowanej zlewni zaznaczona jest sezonowość składu chemicznego wód cieków, a większość analizowanych parametrów odznaczała się porą koncentracji, czyli terminem koncentracji danego zjawiska przypadającym na miesiące związane z występowaniem wezbrań roztopowych. Jedynie w przypadku odczytu wód, pora koncentracji wystąpiła w maju, co związane mogło być z tym, że w okresie niskich stanów wody oraz wzrostu temperatury powietrza, dochodzi do zwiększenia zawartości jonów zasadowych. Podobne wyniki, w zlewni Dzierżanej uzyskała Stolarska [2008].

Natomiast czynniki wyróżnione na podstawie analizy głównych składowych wykazały związek ze stanami charakterystycznymi cieków, które to zależą od wielkości przepływu i stanów wody w zlewni. Otrzymano czynniki, które wyjaśniły wariację składu chemicznego wód cieków podczas wezbrania roztopowego, w okresie bezopadowym, a także po intensywnych opadach deszczu. Banaszuk [2004], Evans [1996] oraz Krasowska i Banaszuk [2011] wykorzystując analizę czynnikową do opisu zjawisk hydrochemicznych w ujęciu czasowym wykazali, że analiza ta umożliwia charakterystykę oddziaływania zlewni i warunków hydrometeorologicznych na sezonową zmienność transportu fluwialnego w rzekach.

Podsumowując można stwierdzić, że w zlewniach rolniczych, w warunkach hydroklimatycznych Polski Północno-Wschodniej, sezonowość składu chemicznego wód jest wyraźna. Wzrost zawartości w wodach powierzchniowych, większości jonów obserwowany jest w miesiącach zimowych, w okresie intensywnego wymywania substancji rozpuszczonej z terenu zlewni, na skutek roztopów i opadów deszczu. Badania prowadzone w tej części Polski przez Skorbiłowicza i Ofmana [2014] również wykazały, że w wodach rzeki Supraśl największe stężenie azotanów odnotowano w styczniu i lutym. Badania prowadzone w ramach niniejszej pracy potwierdzają spostrzeżenia innych autorów, że wezbrania roztopowe są okresem krytycznym dla jakości

wód powierzchniowych w zlewniach rolniczych. W związku z tym, działania zmierzające do poprawy jakości wód powinny być ukierunkowane na ich ochronę w okresie roztopowym i poprzedzającym wezbranie roztopowe.

Podziękowania

Badania zostały przeprowadzone w ramach pracy statutowej Katedry Ochrony i Kształtowania Środowiska Politechniki Białostockiej.

BIBLIOGRAFIA

1. Banaszuk P., 2004. Identyfikacja procesów kształtujących skład chemiczny małego cieków w krajobrazie rolniczym na podstawie analizy czynnikowej. *Woda-Środ.-Obsz. Wiej.*, 4, 1(10), 103–116.
2. Bhangu I., Whitfield P.H., 1997. Seasonal and long-term variations in water quality of the Skeena River at Usk, British Columbia. *Water Res.*, 31(9), 2187–2194.
3. Chomicz K., 1951. Ulewy i deszcze nawalne w Polsce. *Wiadomości Służby Hydrologicznej, PIHM Warszawa*, 2, 3.
4. Clark M.J., Cresser M.S., Smart R., Chapman P.J., Edwards A.C., 2004. The influence of catchment characteristics on the seasonality of carbon and nitrogen species concentrations in upland rivers of Northern Scotland, *Biogeochemistry*, 68, 1–19.
5. Dąbkowski S.L., Pawłat-Zawrzykraj A., 2003. Jakość wód Raszynki i jej dopływów. *Woda-Środ.-Obsz. Wiej.*, 3 (6), 111–123.
6. Evans C.D., Davis T.D., Wigington Jr, P.J., Tranter M., Kretschmer W.A., 1996. Use of factor analysis to investigate processes controlling the chemical composition of four streams in Adirondack Mountains. *New York. J. Hydrol.* 185, 297–316.
7. Górniak A., 2000. *Klimat województwa podlaskiego*. Wyd. IMGW Białystok.
8. Gugala M., Sikorska A., Kapela K., Zarzecka K., 2016. Seasonal changes in selected indicators of water quality of the Łydynia river. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 17 Iss.1, 149–153.
9. Jokiel P., Tomalski P., 2015. Sezony hydrologiczne w rzekach środkowej Polski. *Wyd. IGIPIZ PAN Warszawa Przegląd Geograficzny* 87, 1, 71–93.
10. Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Z., 1994. *Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty*. Poznań, Stow. Geomorfologów Pol.
11. Krasowska M., Banaszuk P., 2011. Zastosowanie analizy czynnikowej w badaniach hydrochemicznych w zlewni niewielkiego cieków w krajobrazie

- rolniczym. Inżynieria Ekologiczna 26, 147–155.
12. Krasowska M., Banaszuk P., 2015. Drogi migracji biogenów w zlewni rolniczej. Inżynieria Ekologiczna 43, 35–41.
 13. Kupczyk E., Suligowski R., 1997. Statystyczny opis opadów atmosferycznych jako elementu wejścia do modeli hydrologicznych. w: Soczyńska U. (red.) Predykcja opadów i wezbrań o zadanym czasie powtarzalności Wyd. UW, Warszawa, 21–86.
 14. Lin H.S., 2010. Linking principles of soil formation and flow regimes. J. Hydrol. 393, 3–19.
 15. Markham C.G., 1970. Seasonality of Precipitation in the United States. Annals of the Association of American Geographers, 60 (3), 593–597.
 16. Melcer B., Olejnik M., 2006. Wpływ wybranych czynników na zanieczyszczenie związkami biogennymi powierzchniowych wód płynących w zlewni Baryczy. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiec-tus 5 (2) 2. 59–71.
 17. Mitchell M.J., Piątek K.B., Christopher S., Mayer B., Kendall C., Mchale P., 2006. Solute sources in stream water during consecutive fall storms in a northern hardwood forest watershed: a combined hydrological, chemical and isotopic approach. Biogeochemistry, 78, 217–246.
 18. Moniewski P., 2014. Sezonowe zmiany wybranych cech fizyczno-chemicznych wód małej rzeki podmiejskiej na przykładzie Dzierżanej. Monografia KGW-PAN, XX, 2, 407–416.
 19. Oenema O., Roest C.W.J., 1998. Nitrogen and phosphorus losses from agriculture into surface waters, the effects of policies and measures in the Netherlands. Water Scien Technical, 2, 19–30.
 20. Pazdro Z., 1977. Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geologiczne Warszawa.
 21. Petry J., Soulsby C., Malcolm I.A., Youngson A.F., 2002. Hydrological controls on nutrient concentrations and fluxes in agricultural catchments. Sci. Total Environ., 294, 95–110.
 22. Piñol J, Àvila A., Rodà F., 1992. The seasonal variation of streamwater chemistry in three forested Mediterranean catchments. Journal of Hydrology, 140, 1–4, 119–141
 23. Racine J.B., Raymond H., 1977. Analiza ilościowa w geografii. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
 24. Siwek J.P., 2012. Zmienność składu chemicznego wód w małych zlewniach na progu Pogorza Karpackiego. Instytut Geografii i Gospodarki Przesz-trzennej UJ, Kraków.
 25. Skorbiłowicz M., Ofman P., 2014. Seasonal changes of nitrogen and phosphorus concentration in Supraśl river. Journal of Ecological Engineering, 15, 1, 26–31.
 26. Stolarska M., 2008. Sezonowe zmiany zasobów i podstawowych właściwości fizykochemicznych wód w małej zlewni nizinnej. Acta Geographica Lodziensia, 94.
 27. Sullivan A.B., Drever J.I., 2001. Spatiotemporal variability in stream chemistry in a high-elevation catchment affected by mine drainage, J. Hydrol., 252, 240–253.
 28. Tomalski P., 2016. Sezonowa zmienność stanów wód podziemnych w dolinie Sokołówki (Łódź). Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, 39, 49–61.
 29. Wysocka-Czubaszek A., Wojno W., 2014. Sezonowa zmienność chemizmu wody w małej rzece w zlewni zurbanizowanej. Prz. Nauk. Inż. i Kszt. Środ. 63, 64–76.
 30. Żelazny M., Siwek J.P., 2012. Determinants of seasonal changes in streamwater chemistry in small catchments with different land use: case study from Poland's Carpathian Foothills, Polish Journal of Environmental Studies, 21 (3), 791–804.