

Wpłynęło 19.12.2014 r.
Zrecenzowano 05.02.2015 r.
Zaakceptowano 16.05.2016 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

TRANSPORT SUBSTANCJI BIOGENICZNYCH W ZLEWNI MŁODOGLACJALNEJ NA TLE SEZONOWYCH ZMIAN STRUKTURY HYDROGRAFICZNEJ (NA PRZYKŁADZIE ZLEWNI BORUCINKI)

Łukasz PIETRUSZYŃSKI^{ABCDEF}, **Roman CIEŚLIŃSKI**^{AF},
Ewa WOŹNIAK^{AF}, **Joanna JOKIEL**^C

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Geografii, Katedra Hydrologii

Streszczenie

Celem pracy jest określenie roli, jaką jednostki struktury hydrograficznej pełnią w różnicowaniu dróg migracji zanieczyszczeń obszarowych w małych zlewniach młodoglacjalnych. W opracowaniu przedstawiono wyniki badań prowadzonych w zlewni rzeki Borucinki, w ramach projektu pt. „Innowacyjne rozwiązania gospodarki ściekowo-osadowej dla terenów nieurbanizowanych”. W opracowaniu zaprezentowano wyniki dla sezonu suchego (lipiec) oraz wilgotnego (kwiecień), uzyskane w roku hydrologicznym 2010. Główne prace polegały na kwerendzie materiałów źródłowych oraz badaniach terenowych, podczas których wykonywano pomiary przepływu w ciekach oraz pobierano próbki ich wody do analizy laboratoryjnej, w której określano stężenie azotu ogólnego i fosforu ogólnego. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że w zlewniach młodoglacjalnych, w tym w zlewni Borucinki, zachodzą sezonowe zmiany elementarnej struktury hydrograficznej. W konsekwencji tych zmian ładunki jednostkowe azotu ogólnego i fosforu ogólnego odprowadzane do wód powierzchniowych w sezonie wilgotnym są większe niż w sezonie suchym. Wynika to z tego, że zanieczyszczenia zakumulowane w porze suchej w obszarach bezodpływowych mogą zostać uruchomione w wyniku ponownego włączenia ich, poprzez ciek okresowy, w powierzchniowy system odwadniania.

Słowa kluczowe: *sezon suchy i wilgotny, substancje biogeniczne, transport, zlewnia młodoglacjalna*

Do cytowania For citation: Pietruszyński Ł., Cieśliński R., Woźniak E., Jokiel J. 2015. Transport substancji biogenicznych w zlewni młodoglacjalnej na tle sezonowych zmian struktury hydrograficznej (na przykładzie zlewni Borucinki). Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 3 (51) s. 75–88.

WSTĘP

Badania warunków transportu i akumulacji zanieczyszczeń obszarowych w zlewni rzecznej koncentrują się najczęściej na ocenie uwarunkowań geologicznych, morfologicznych oraz użytkowania terenu [BROOKS 2004; 2005], a także związków pomiędzy warunkami biotycznymi i hydrograficznymi [SLOAN 1970; TİNER i in. 2002]. Na obszarach objętych w plejstocenie akumulacyjną działalnością lodolodów skandynawskich ważnym, lecz najczęściej pomijanym, uwarunkowaniem jest również struktura hydrograficzna zlewni [DRWAŁ 1982; WOŹNIAK i in. 2009]. Na obszarze kaszubskiego systemu hydrograficznego średnio 35% powierzchni, a w niektórych zlewniach (Wda, Wierzyca) około 50% zajmują powierzchnie, z których nie ma spływu powierzchniowego do rzek – tzw. obszary bezodpływowe powierzchniowo [FAC-BENEDA 2011]. Występowanie obszarów bezodpływowych powierzchniowo powoduje, że część zanieczyszczeń nie dostaje się bezpośrednio do systemu rzecznej, lecz jest deponowana bądź czasowo zatrzymywana w zagłębieniach bezodpływowych [BAJKIEWICZ-GRABOWSKA, GOLUS 2009; GROCHOWSKA i in. 2004]. W pierwszym przypadku zanieczyszczenia mogą przedostawać się do cieku jedynie w sposób pośredni (poprzez wody podziemne), a w drugim – są do niego dostarczane sezonowo bądź, w niektórych sytuacjach, tylko epizodycznie uruchamianym odpływem powierzchniowym. O tym, z którym z przypadków będziemy mieli do czynienia decyduje typ samego zagłębienia (to znaczy czy jest ono chłonne, czy też ewapotranspiracyjne) oraz potencjalna retencja depresyjna w tychże zagłębieniach [BROOKS, HAYASHI 2002; HAYASHI, VAN DER KAMP 2000; WOŹNIAK i in. 2009].

Użytkowanie zlewni zagłębienia ewapotranspiracyjnego ma decydujący wpływ na jakość jego wody. Jakość tę może znacząco modyfikować tworząca się epizodycznie sieć hydrograficzna, łącząca ze sobą pojedyncze zagłębienia, co obrazuje zmieniająca się w czasie struktura hydrograficzna. Ze względu na zmieniającą się w czasie sieć hydrograficzną drogi migracji zanieczyszczeń ulegają zmianie. W sezonach suchych następuje akumulacja zanieczyszczeń, natomiast w sezonach wilgotnych może następować wymywanie substancji biogenicznych i ich przeniesienie. Należy także pamiętać o opadach atmosferycznych, z którymi również mogą dostawać się do zlewni znaczne ilości związków biogenicznych [SAPEK i in. 2003], oraz sieci drenarskiej, poprzez którą do głównego odbiornika są odprowadzane składniki chemiczne z gleby [LIPIŃSKI 2002].

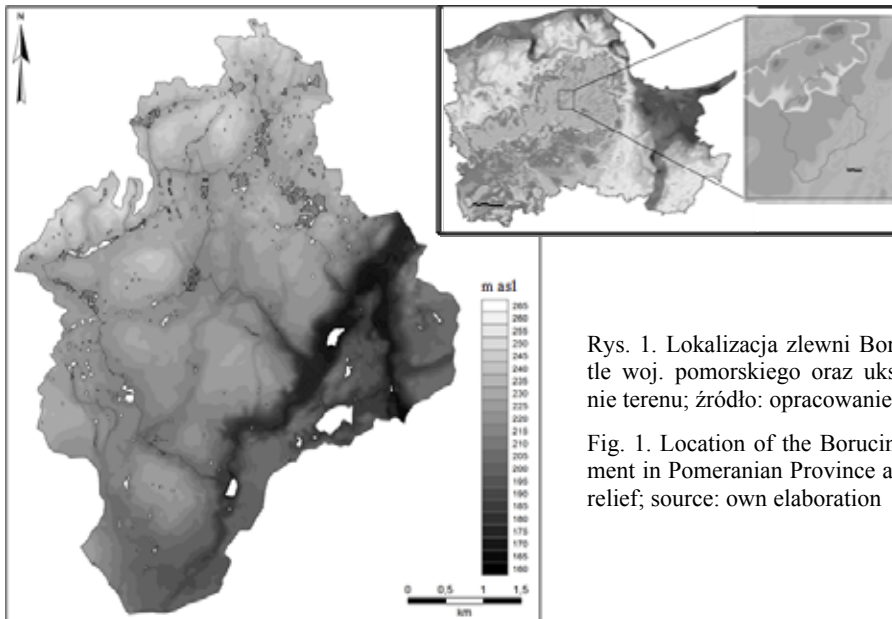
W opracowaniu przedstawiono wyniki badań prowadzonych przez pracowników Katedry Hydrologii Uniwersytetu Gdańskiego w ramach projektu pt. „Innowacyjne rozwiązania gospodarki ściekowo-osadowej dla terenów niezurbanizowanych”.

W badaniach podjęto próbę określenia roli, jaką jednostki struktury hydrograficznej pełnią w różnicowaniu dróg migracji zanieczyszczeń obszarowych w małych zlewniach młodoglacjalnych.

W opracowaniu prezentowane są wyniki dla sezonu suchego oraz wilgotnego uzyskane w roku 2010.

OBSZAR BADAŃ

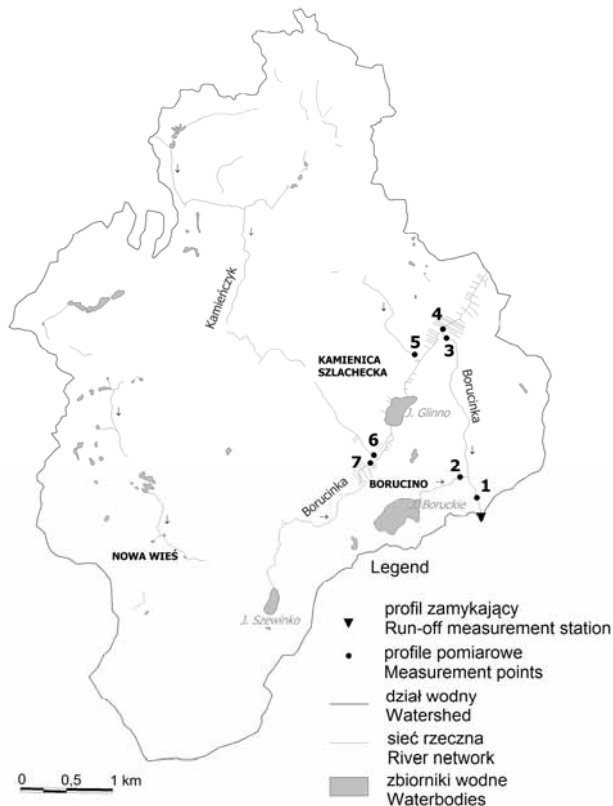
Zlewnia rzeki Borucinka, która uchodzi bezpośrednio do Jeziora Raduńskiego Górnego, jest zlewnią rolniczą, o powierzchni wynoszącej 26,2 km², wyznaczonej na podstawie map topograficznych w skali 1:10 000 oraz kartowań. W użytkowaniu terenu badanej zlewni dominują grunty orne (62,4%), a udział łąk i pastwisk jest znaczący (19,2%). Znaczący udział łąk i pastwisk w powierzchni zlewni jest korzystny dla jakości wody powierzchniowej, ponieważ mogą one retencjonować wodę, a jednocześnie stosuje się na nich niewielką ilość nawozów [KIRYLUK, WIATER 2004]. Bardzo niewielki jest natomiast udział powierzchni leśnych (9,1%). Północną część badanej zlewni stanowi wysoczyzna, której utwory powierzchniowe tworzą gliny, a południową – powierzchnia sandrowa zbudowana z utworów piaszczystych i żwirowych osadów fluwioglacjalnych [JURYS 1995]. W rzeźbie zlewni wyraźnie czytelna jest głęboko wcięta rynna subglacjalna. Deniwelacje terenu przekraczają 100 m. Najwyższe wyniesienie znajduje się w północnej części zlewni (266,8 m n.p.m.), a najniższym punktem jest ujście Borucinki na wysokości 161,6 m n.p.m. Występują tu też liczne zagłębienia pochodzenia wytopiskowego, z których wiele nie jest włączonych do powierzchniowego systemu odwadniania lub włączonych jest tylko okresowo (rys. 1).



Rys. 1. Lokalizacja zlewni Borucinki na tle woj. pomorskiego oraz ukształtowanie terenu; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Location of the Borucinka catchment in Pomeranian Province and terrain relief; source: own elaboration

Długość Borucinki, liczona od wypływu z jeziora Szewinko, wynosi 6,6 km [STASZEK 2003]. Rzeka przyjmuje 5 głównych dopływów, które na całej długości są ciekami okresowymi. Pierwszy, który bierze początek ze zbiorników powyżej miejscowości Nowa Wieś, dopływa do jeziora Szewinko, drugi to potok Kamieńczyk, biorący początek w okolicy wsi Jagodowo. Kolejny to niewielki dopływ, który wypływa z obszarów podmokłych. Ostatnim istotnym lewobrzeżnym dopływem jest ciek mający źródła w zachodniej części zlewni i prowadzący wodę z licznych rowów melioracyjnych, który łączy się z rzeką główną w miejscu charakterystycznej zmiany kierunku jej biegu z północno-wschodniego na południowy. Ostatni dopływ funkcjonujący sezonowo to ciek wypływający z Jeziora Boruckiego. Trzy główne zbiorniki wodne to jeziora: Boruckie (11,6 ha), Glinno (6,4 ha) i Szewinko (2,9 ha) [DRWAL i in. 1975]. Poza nimi występują liczne niewielkie zbiorniki oraz zagłębienia, których dno zajmują różnego rodzaju podmokłości (rys. 2).

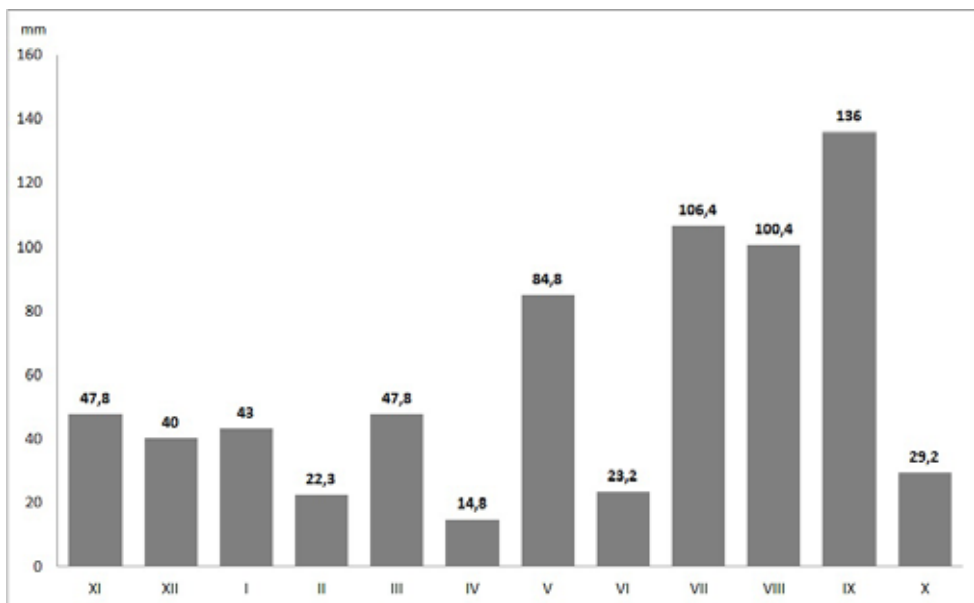


Rys. 2. Lokalizacja profili pomiarowych na tle sieci hydrograficznej zlewni Borucinki; źródło: opracowanie własne na podstawie mapy topograficznej w skali 1:10 000

Fig. 2. Location of sampling profiles in the hydrographic network of the Borucinka catchment; source: own elaboration based on topographic map at a scale of 1:10 000

WARUNKI METEOROLOGICZNE

Suma opadów w 2010 r. wynosiła 696 mm i była zbliżona do średniej wieloletniej (671 mm). Półrocze letnie było bardziej wilgotne niż średnie z wielolecia (o 90 mm), a półrocze zimowe – bardziej suche (o 65 mm). Opady w półroczu ciepłym (V–X) wyniosły 480 mm, co stanowi niemal 70% sumy rocznej. Największe sumy opadu notowano latem – 230 mm, czyli nieco ponad 30% sumy rocznej. Opady jesienią były zbliżone do opadów letnich i również wyniosły nieco ponad 30% sumy rocznej. Najniższe sumy opadu notowano zimą – ok. 100 mm, czyli ok. 15% sumy rocznej. W okresie wegetacyjnym, trwającym od 21.04. do 8.10.2010 r., wartość opadu wyniosła 461,4 mm. Udział tego opadu w sumie rocznej jest zbliżony do udziału opadu w półroczu ciepłym (rys. 3).



Rys. 3. Miesięczne sumy opadów na posterunku w Borucinie w 2010 r.; źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Monthly total precipitation in hydrological station in Borucino in 2010; source: own elaboration

METODY BADAŃ

Badania kameralne polegały przede wszystkim na kwerendzie materiałów źródłowych. Podczas badań terenowych wykonywano pełne kartowanie hydrograficzne i – na wcześniej przygotowanych podkładach map topograficznych – rejestrowano ułożenie względem siebie oraz rozmieszczenie w systemie hydrograficznym

jego elementów (cieków, jezior, podmokłości, zagłębień bezodpływowych ewapotranspiracyjnych i chłonnych itp.) Sieć pomiarowa (rys. 2) składała się z profili, w których kontrolowano stan i jakość wody w Borucince oraz jej stałych dopływach, a także prowadzono pomiary przepływu za pomocą prądomierza elektromagnetycznego z płaskim czujnikiem. Pomiary prędkości przepływu wykonywano metodą wielopunktową, a natężenie przepływu obliczano standardową metodą rachunkową, z uproszczonym sposobem obliczania prędkości średnich w pionach. Na miejscu pobierano próbki wody do dalszej analizy hydrochemicznej, która odbywała się w laboratorium Katedry Hydrologii Uniwersytetu Gdańskiego. Azot oraz fosfor ogólny oznaczano techniką kolorymetryczną za pomocą spektrofotometru PhotoLab Spektra. Oznaczenia stężenia N_{og} i P_{og} powtarzano trzykrotnie.

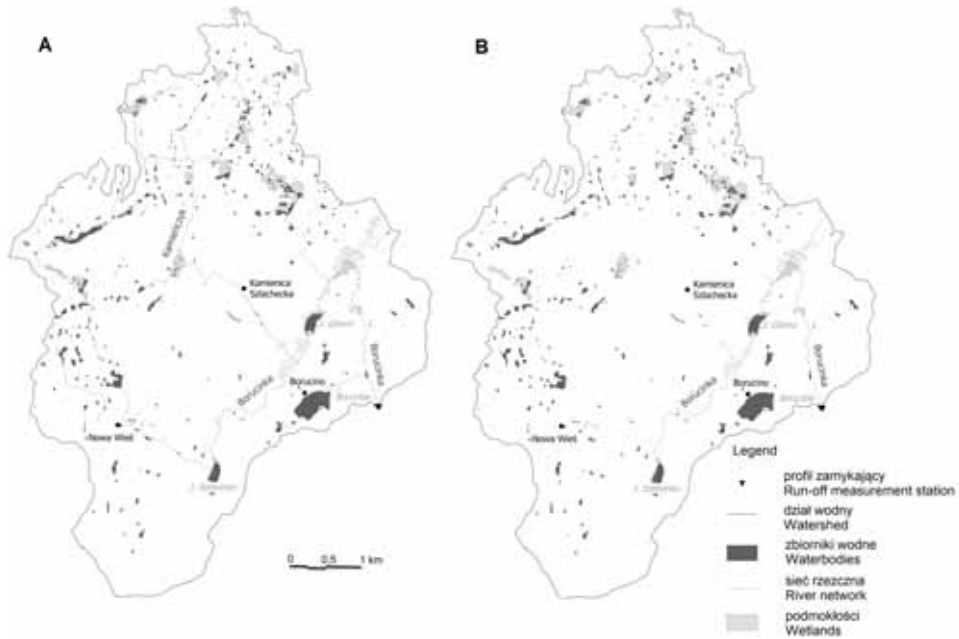
Szczegółowe kartowanie hydrograficzne wykonano dwa razy – w kwietniu oraz w lipcu 2010 r., tak aby uchwycić skrajne warunki meteorologiczne i hydrograficzne. W tych terminach obliczono średnią gęstość sieci rzecznej oraz łączną długość cieków, a także wykonano mapy sieci hydrograficznej. Zdecydowano się wykorzystać uproszczone kryteria wyznaczania jednostek elementarnej struktury hydrograficznej, czyli podzielić zlewnię na obszary pozbawione powierzchniowego odpływu (obszary bezodpływowe) oraz obszary, z których woda bezpośrednio dostaje się do Borucinki lub jej dopływów. Zagłębienia bezodpływowe dzielą się na ewapotranspiracyjne (gdzie woda gromadzi się w zbiornikach lub mokradłach) i chłonne (gdzie woda wsiąka i zasila poziomy wód podziemnych). Przylegające do siebie zlewnie zagłębień bezodpływowych, w których dnie występowała woda, utworzyły obszary bezodpływowe ewapotranspiracyjne. Zlewnie zagłębień bezodpływowych chłonnych tworzą obszary bezodpływowe chłonne. Pozostały obszar, na który składa się zlewnia bezpośrednia Borucinki oraz zlewnie bezpośrednie cieków dopływających do niej, utworzyły obszar egzoreiczny.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W zależności od pory roku obserwowano zmiany zarówno liczby obiektów hydrograficznych, jak i ich rozmiarów (rys. 4). Okres, w którym obserwowano największą długość cieków i największą liczbę zbiorników wodnych będzie w pracy nazywany sezonem wilgotnym, a okres w którym obiektów takich było najmniej, a obszary bezodpływowe zajmowały największą powierzchnię – sezonem suchym.

Występowanie dobrze wykształconej, o największym zasięgu, sieci hydrograficznej jest związane przede wszystkim z topnieniem pokrywy śnieżnej [BOGDANOWICZ i in. 2010]. Pierwszą zmianą w stosunku do mapy topograficznej w tym terminie jest funkcjonowanie cieku zasilającego jezioro Szewinko. Ciek ten rozpoczął bieg w okolicach osady Ostrów i łączył wiele małych zbiorników wodnych, zarówno naturalnych, jak i sztucznych. Woda płynęła również na całej długości dopływu z Kamienicy Szlacheckiej, który brał wówczas początek na rozległych

obszarach podmokłych na północy zlewni i przyjmował wiele dopływów odwadniających rozległą część zlewni, która przez większą część roku pozostaje bezodpływowa. Sumaryczna długość cieków w całej zlewni w tym terminie wyniosła 43,2 km, a gęstość sieci rzecznej – $1,65 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ (rys. 4a).



Rys. 4. Sieć hydrograficzna zlewni Borucinki w sezonach: A = wilgotnym, B = suchym;
źródło: opracowanie własne

Fig. 4. Hydrographic network of the Borucinka catchment in in: A = wet season, B = dry season;
source: own elaboration

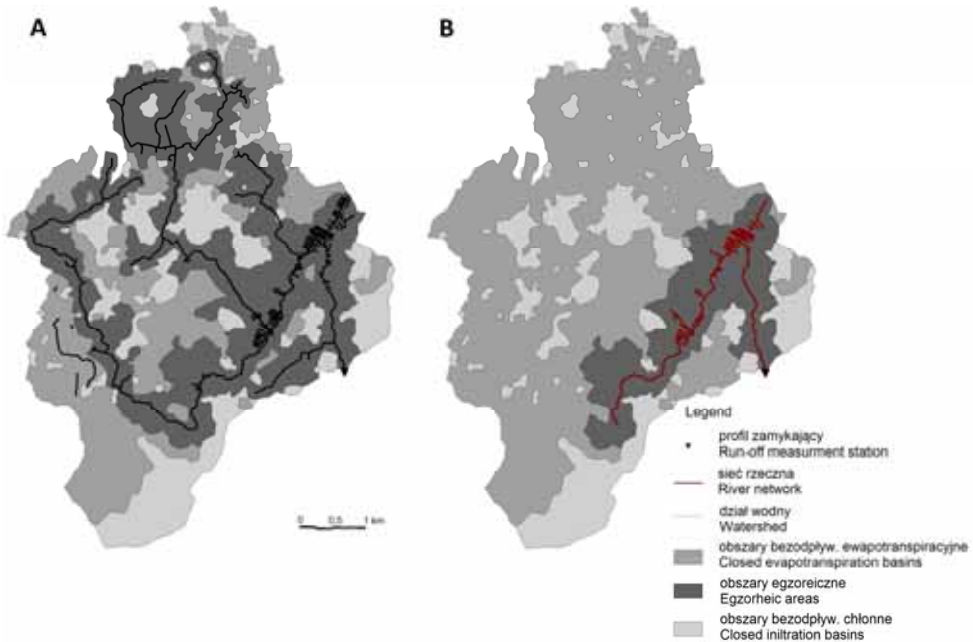
Kartowanie w lecie 2010 r. dało obraz zdecydowanie odmienny od wiosennego. Suma długości cieków zarejestrowanych wówczas wyniosła zaledwie 14,4 km, a gęstość sieci rzecznej – $0,55 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$. Koryto cieków odprowadzającego wiosną wody z okolic Nowej Wsi tym razem na całej długości było suche. W cieku z Kamienicy Szlacheckiej woda występowała tylko przy ujściu do Borucinki na długości 460 m. Najmniejsze różnice wystąpiły w zlewni dopływu ze wschodniej, zmeliorowanej części zlewni (rys. 4b).

Średni odpływ jednostkowy ze zlewni Borucinki w roku hydrologicznym 2010 wynosił $1,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Największy był w marcu ($3,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$), najmniejszy zaś w lipcu ($0,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$). W kwietniu odpływ jednostkowy wynosił $2,56 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Roczny współczynnik odpływu wyniósł zaledwie 8%, przy czym w półroczu zimowym 16%, a w półroczu letnim 5%. Oznacza to, że ponad 90% opadów atmosferycznych docierających na powierzchnię zlewni parowało, wsiąka-

ło i zasilalo wody podziemne lub było zatrzymywane w zbiornikach wodnych. Największa ich część odpłynęła w kwietniu (35%), w warunkach najniższych opadów (15 mm), a najmniejsza w lipcu (2%), w warunkach dość wysokich opadów w tym miesiącu (106 mm).

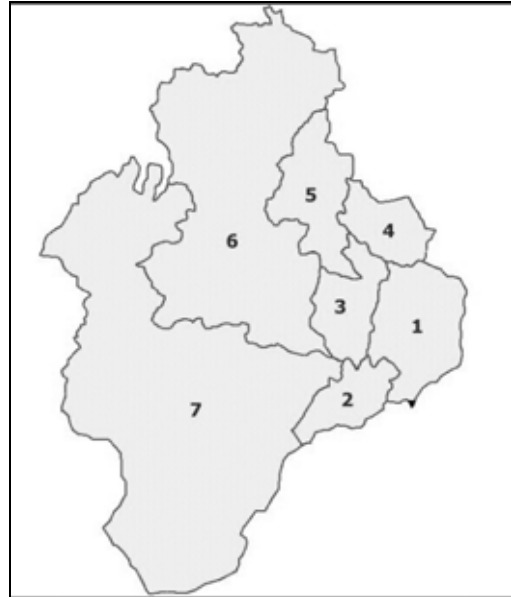
Charakteryzując strukturę hydrograficzną w sezonie wilgotnym, można zauważyć, że obszary egzoreiczne zajmowały prawie 46% powierzchni zlewni Borucinki. Pozostała część przypadła na zlewnie zagłębieni bezodpływowych chłonnych i ewapotranspiracyjnych. Znacznie przeważały obszary bezodpływowe ewapotranspiracyjne, które zajmowały prawie 32% powierzchni. Można również zauważyć, że pomimo maksymalnej w tym okresie liczby i długości cieków, obszary egzoreiczne zajmowały niespełna połowę powierzchni zlewni Borucinki. W sezonie suchym 2010 r. obszary egzoreiczne zajmowały zaledwie 17% powierzchni zlewni. Koncentrowały się w jej centralnej części, wzdłuż Borucinki i dolnych odcinków jej dopływów. Łącznie obszar endoreiczny zajmował aż 83% powierzchni zlewni. Znacznie przeważały obszary bezodpływowe ewapotranspiracyjne, które zajmowały prawie 61% powierzchni (rys. 5).

Na podstawie profili pomiarowych, zlokalizowanych przede wszystkim na dopływach do Borucinki, wydzielono zlewnie cząstkowe (rys. 6).



Rys. 5. Uproszczona elementarna struktura zlewni Borucinki w sezonach: A = wilgotnym, B = suchym; źródło: opracowanie własne

Fig. 5. Simplified elementary structure of the Borucinka catchment in: A = wet season, B = dry season; source: own elaboration



Rys. 6. Zlewnie cząstkowe wyznaczone na podstawie lokalizacji profili pomiarowych; 1–7 = profile pomiarowe wg rysunku 2; źródło: opracowanie własne

Fig. 6. Sub-catchments, determined based on the location of the sampling profiles; 1–7 = sampling profiles as in fig. 2; source: own elaboration

Największe stężenie azotu ogólnego w sezonie wilgotnym zanotowano na dopływie z jeziora Boruckiego (profil 2.), a w sezonie suchym – w profilu zamykającym całą zlewnię (profil 1.). Najmniejsze stężenie zanotowano w profilu 7. w sezonie wilgotnym oraz w profilu 5. w sezonie suchym (tab. 1).

Największe stężenie fosforu ogólnego w sezonie wilgotnym również zanotowano na dopływie z jeziora Boruckiego (profil 2.), a w sezonie suchym – w profilu 5. Najmniejsze stężenie fosforu ogólnego w obydwu sezonach zanotowano w profilu 6. (tab. 1).

Tabela 1. Wartości stężenia azotu i fosforu ogólnego w poszczególnych profilach pomiarowych

Table 1. Concentrations of total nitrogen and total phosphorus in particular sampling profiles

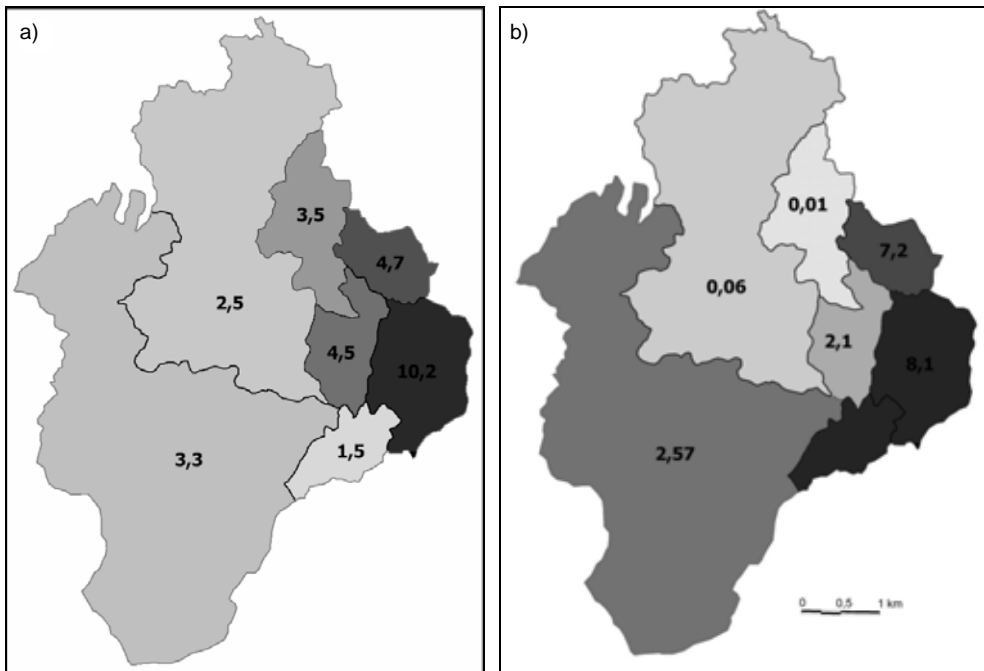
Nr profile No of profile	Azot ogólny, mg·dm ⁻³ Total nitrogen, mg·dm ⁻³		Fosfor ogólny, mg·dm ⁻³ Total phosphorus, mg·dm ⁻³	
	sezon wilgotny wet season	sezon suchy dry season	sezon wilgotny wet season	sezon suchy dry season
1.	1,54	3,30	0,161	0,242
2.	2,26	–	0,206	–
3.	0,72	1,80	0,132	0,324
4.	0,79	3,10	0,112	0,299
5.	1,32	0,75	0,19	0,37
6.	1,07	0,78	0,047	0,098
7.	0,63	0,83	0,067	0,155

Źródło: wyniki własne.

Source: own study.

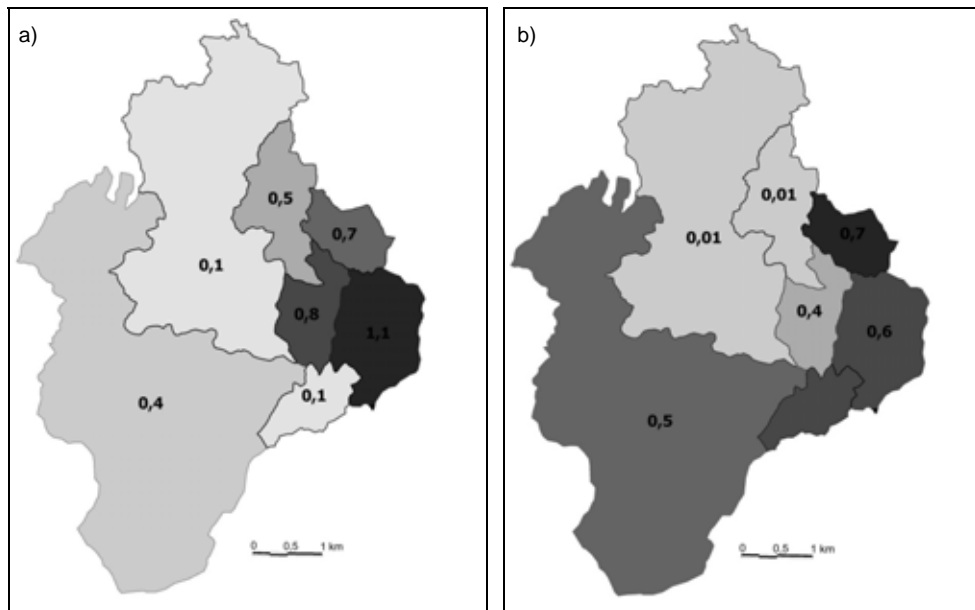
Na podstawie wyników analiz hydrochemicznych w profilach pomiarowych obliczono jednostkowe ładunki azotu i fosforu ogólnego odprowadzane z wyznaczonych zlewni cząstkowych do wód powierzchniowych (rys. 7, 8).

Do jednostek hydrograficznych o wysokim stopniu zanieczyszczenia azotem ogólnym można zaliczyć zlewnię cząstkową dolnej Borucinki (zlewnia nr 1), którą charakteryzowały największe wartości jednostkowych ładunków tego zanieczyszczenia, zarówno w sezonie wilgotnym, jak i suchym (odpowiednio 10,2 oraz 8,1 $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{miesiąc}^{-1}$). Do jednostek hydrograficznych o średnim poziomie zanieczyszczenia można zaliczyć zlewnię nr 4, obejmującą silnie zmeliorowane obszary rolnicze. W sezonie wilgotnym najniższym poziomem zanieczyszczenia azotem ogólnym cechowała się zlewnia nr 2, dopływu z jeziora Boruckiego ciekurokresowego, funkcjonującego tylko po wiosennych roztopach. W sezonie suchym niskim poziomem zanieczyszczenia cechowały się zlewnie cząstkowe zlokalizowane w górnej części zlewni Borucinki, tj. zlewnie nr 5 i 6 (odpowiednio 0,01 oraz 0,06 $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{miesiąc}^{-1}$) (rys. 7). Zauważono znaczne różnice między zanieczyszczeniem azotem ogólnym poszczególnych zlewni cząstkowych w danym sezonie. Odnotowano również podwyższenie wartości ładunków jednostkowych w sezonie wilgotnym w stosunku do sezonu suchego. W zlewniach cząstkowych, które



Rys. 7. Ładunki jednostkowe azotu ogólnego ($\text{kg N} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{miesiąc}^{-1}$) w sezonach: a) wilgotnym, b) suchym; źródło: opracowanie własne

Fig. 7. Unit loads of total nitrogen ($\text{kg N} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{month}^{-1}$) in: a) wet season, b) dry season; source: own elaboration



Rys. 8. Ładunki jednostkowe fosforu ogólnego ($\text{kg P}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{miesiąc}^{-1}$) w sezonach: a) wilgotnym, b) suchym; źródło: opracowanie własne

Fig. 8. Unit loads of total phosphorus ($\text{kg P}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{month}^{-1}$) in: a) wet season, b) dry season; source: own elaboration

charakteryzowały się największymi sezonowymi zmianami jednostek struktury hydrograficznej zmienność obliczonych wartości jednostkowych ładunków azotu ogólnego była duża (rys. 7).

Do jednostek hydrograficznych o wysokim stopniu zanieczyszczenia fosforem ogólnym można zaliczyć zlewnie cząstkowe o charakterze egzoreicznym (nr 1, 3, 4). W sezonie wilgotnym największą wartość jednostkowego ładunku fosforu ogólnego zanotowano w zlewni cząstkowej dolnej Borucinki ($1,1 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{miesiąc}^{-1}$), a w sezonie suchym w zlewni nr 4 ($0,7 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{miesiąc}^{-1}$). W obydwu przypadkach zlewnia nr 6 cechowała się najmniejszą wartością jednostkowego ładunku fosforu (rys. 8).

Podobnie jak w przypadku azotu ogólnego, w sezonie wilgotnym zanotowano podwyższone wartości jednostkowego ładunku fosforu ogólnego w stosunku do sezonu suchego (rys. 8).

PODSUMOWANIE

Na obszarach objętych w plejstocenie akumulacyjną działalnością lądolodów skandynawskich należy zwrócić uwagę na to, że duże powierzchnie zlewni nie są połączone do powierzchniowego formowania odpływu. W zlewni Borucinki widać

wyraźne sezonowe zmiany występowania obiektów hydrograficznych oraz sieci hydrograficznej. Zmieniająca się okresowo elementarna struktura hydrograficzna zlewni Borucinki, a z nią udział w powierzchni jednostek strukturalnych pełniących różne funkcje w procesie migracji zanieczyszczeń obszarowych, sprawiają, że proces ten zmienia się przestrzennie wraz z następstwem pór roku. Zanieczyszczenia zakumulowane w porze suchej w obszarach bezodpływowych mogą zostać uruchomione, w wyniku ponownego włączenia ich, przez ciek okresowy, w powierzchniowy system odwadniania [GAMRAT 2006].

W związku z tym dostawa zanieczyszczeń do różnych elementów struktury hydrograficznej ma odmienne konsekwencje. Zanieczyszczenia akumulowane na obszarze zlewni bezodpływowych ewapotranspiracyjnych w niewielkim stopniu uczestniczą w krążeniu materii w całej zlewni i ich eksport poza granice obszarów endoreicznych można uznać za śladowy. Dotyczy to wszystkich form azotu i fosforu. Nieco odmiennie przebiega migracja zanieczyszczeń ze zlewni bezodpływowych chłonnych, które ze względu na zachodzącą w nich alimentację odpływu podziemnego stają się również miejscem alimentacji ładunku rozpuszczalnych form azotu (szczególnie azotanów), natomiast nie eksportują do głównego odbiornika związków fosforu oraz tych form azotu, które łatwo łączą się z cząsteczkami gleby. Największe znaczenie w eksporcie zanieczyszczeń odgrywają zlewnie egzoreiczne, w których związki azotu i fosforu są transportowane ze sływem powierzchniowym, podpowierzchniowym, jak również odpływem podziemnym.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wartości jednostkowych ładunków azotu i fosforu ogólnego w sezonie wilgotnym są większe niż w sezonie suchym. Po wiosennych roztopach pokrywy śnieżnej zasięg zlewni egzoreicznej jest maksymalny. Z tego obszaru zanieczyszczenia mogą bezpośrednio dostawać się do odbiornika. Wytworzona epizodyczna sieć rzeczna, łącząca ze sobą zagłębienia bezodpływowe, może powodować wymywanie akumulowanych w nich zanieczyszczeń. Jednocześnie najmniejsze wartości ładunków jednostkowych charakteryzują zlewnie cząstkowe, w których udział obszarów bezodpływowych jest największy.

Przedstawione badania miały charakter eksperymentalny. Ze względu na brak publikacji dotyczących podjętego tematu powiązania migracji zanieczyszczeń ze zmieniającą się sezonowo strukturą hydrograficzną, niemożliwe stają się badania porównawcze i odniesienie wyników własnych do badań innych autorów. Dalsze badania mogą przyczynić się do poszerzenia wiedzy w tym zakresie.

LITERATURA

- BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E., GOLUS W. 2009. Organizacja sieci hydrograficznej w zlewni pojeziernej przy różnym stanie jej retencji. W: Zasoby i ochrona wód. Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych. Pr. zbior. Red. R. Bogdanowicz, J. Fac-Beneda. Gdańsk. Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego s. 159–166.

- BOGDANOWICZ R., OLSZEWSKA A., DRWAL J., WOŹNIAK E. 2010. Zastosowanie Systemów Informacji Geograficznej (GIS) do oceny hydrograficznych uwarunkowań wielkości dostawy zanieczyszczeń w zlewniach młodoglacjalnych na przykładzie zlewni Borucinki. W: Woda w badaniach geograficznych. Pr. zbior. Red. T. Ciupa, R. Suligowski. Kielce. Wydaw. UJK s. 91–97.
- BROOKS R.T. 2004. Weather – related effects on woodland vernal pool hydrology and hydroperiod. *Wetlands*. Vol. 24. No. 1 s. 104–114.
- BROOKS R.T. 2005. A review of basin morphology and pool hydrology of isolated ponded wetlands: implications for seasonal forest pools of the northeastern United States. *Wetlands Ecology and Management*. Vol. 13 s. 335–348.
- BROOKS R.T., HAYASHI M. 2002. Depth-area-volume and hydroperiod relationships of ephemeral (vernal) forest pools in southern New England. *Wetlands*. Vol. 22. No. 2 s. 247–255.
- DRWAL J. 1982. Wykształcenie i organizacja sieci hydrograficznej jako podstawa oceny struktury odpływu na terenach młodoglacjalnych. Gdańsk. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ser. Rozprawy i monografie. T. 33.
- DRWAL J., GOŁĘBIEWSKI R., LANGE W. 1975. Dorzecze Borucinki jako przykład zlewni reprezentatywnej Pojezierza Kaszubskiego. Gdańsk. Zeszyty Naukowe Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Gdańskiego. Geografia. Vol. 5 s. 53–79.
- FAC-BENEDA J. 2011. Młodoglacjalny system hydrograficzny. Gdańsk. Wydaw. UG. ISBN 978-83-7326-262-3 ss. 213.
- GAMRAT R. 2006. Threat of small midfield ponds of Wełtyń Plain. *International Agrophysics*. Vol. 20 s. 97–100.
- GROCHOWSKA J., TANDYRAK R., DUNALSKA J., GÓRNIAK D. 2004. Drainage basin impact on the hydrochemical conditions in small water reservoirs of the eastern peripheries of Olsztyn. *Limnological Review*. Vol. 4 s. 95–100.
- HAYASHI M., VAN DER KAMP G.G. 2000. Simple equations to represent the volume – area – depth relations of shallow wetlands in small topographic depressions. *Journal of Hydrology*. Vol. 237 s. 74–85.
- JURYS L. 1995. Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 1:50000, arkusz Stężyca. Gdańsk. PIG.
- KIRYLUK A., WIATER J. 2004. Stężenie składników pokarmowych w wodach odpływających z ekstensywnych ekosystemów łąkowych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 4. Z. 2a (11) s. 445–453
- LIPIŃSKI J. 2002. Odpływ składników chemicznych z gleby przez sieć drenarską. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 2. Z. 2 (5) s. 151–170.
- SAPEK A., NAWALNY P., BARSZCZEWSKI J. 2003. Ładunek składników nawozowych wnoszony z opadem mokrym na powierzchnię ziemi w Falentach w latach 1995–2001. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 3. Z. specj. (6) s. 69–77.
- SLOAN E.Ch. 1970. Biotic and hydrologic variables in Prairie Potholes in North Dakota. *Journal of Range Management*. Vol. 23. No. 4 s. 260–263.
- STASZEK W. 2003. Struktura funkcjonalna geosystemu młodoglacjalnego na przykładzie dorzecza Borucinki. Pr. dokt. Gdańsk. UG, Katedra GFİKŚ.
- TINER R.W., BERGQUIST H.C., DEALESSIO G.P., STARR M.J. 2002. Geographically isolated wetlands: a preliminary assessment of their characteristics and status in selected areas of the United States. U.D. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Northeast Region, Hadley, MA.
- WOŹNIAK E., DRWAL J., BOGDANOWICZ R., OLSZEWSKA A. 2009. Hydrograficzne uwarunkowania transportu i akumulacji zanieczyszczeń wód w małej zlewni młodoglacjalnej. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk*. Nr 56 s. 411–420.

Łukasz PIETRUSZYŃSKI, Roman CIEŚLIŃSKI, Ewa WOŹNIAK, Joanna JOKIEL

**TRANSPORT OF NUTRIENTS IN THE YOUNG-GLACIAL CATCHMENT
IN RELATION TO SEASONAL CHANGES IN THE HYDROGRAPHIC STRUCTURE
(THE BORUCINKA CATCHMENT EXAMPLE)**

Key words: *dry and wet season, nutrients, transport, young-glacial basin*

S u m m a r y

The aim of the study was to determine the role of individual hydrographic structure in the differentiation of pollutant migration routes in a small young-glacial catchments. The paper presents the results of research conducted in the catchment of the Borucinka River within the project “Innovative solutions to sewage and sludge management in non-urbanized areas”. The paper presents results for the dry (July) and wet (April) season obtained in the hydrological year 2010. The main work consisted of the query of source materials and fieldwork, during which the measurements of flow and water sampling for total nitrogen and total phosphorus analyses were made. Based on so obtained results it can be concluded that young-glacial catchments, including the Borucinka catchment, experience seasonal changes of elementary hydrographic structure. These changes result in an increase in unit loads of total nitrogen and total phosphorus in wet season compared with the dry season. This is because pollutants accumulated during the dry season in isolated areas can be mobilised by periodical stream and delivered to the surface drainage system.

Adres do korespondencji: mgr Ł. Pietruszyński, Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Geografii, Katedra Hydrologii, ul. Bażyńskiego 4, 80-952 Gdańsk; tel. +48 58 523-65-28, e-mail: pietruszynski@gmail.com