

**Roman Cieśliński, Ewa Komkowska**

Uniwersytet Gdański, Katedra Hydrologii, 80-952 Gdańsk, ul. Bażyńskiego 4

email: georc@univ.gda.pl

**REAKCJA ZLEWNI ROLNICZEJ NA WIELKOŚĆ OPADU  
ATMOSFERYCZNEGO NA PRZYKŁADZIE ZLEWNI RZEKI  
BORUCINKI (POJEZIERZE KASZUBSKIE)**

**The reaction of the agricultural catchment area on atmospheric  
precipitation based on the Borucinka river basin (Kashubian Lakeland)**

**Słowa kluczowe:** zlewnia, rzeka Borucinka, opad atmosferyczny, wezbrania, niżówki

**Key words:** catchment, river Borucinka, precipitation, flood, low water

**WSTĘP**

Zlewnia Borucinki, która uchodzi bezpośrednio do Jeziora Raduńskiego Górnego stanowi przykład zlewni młodoglacjalnej i rolniczej, a jednocześnie jest reprezentatywna dla Pojezierza Kaszubskiego (Drwal 1975). Północną jej część stanowi wysoczyzna, której utwory powierzchniowe tworzą gliny, a południową - powierzchnia sandrowa zbudowana z utworów piaszczystych i żwirowych osadów fluwioglacjalnych. Występują tu liczne zagłębienia pochodzenia wytopiskowego, z których wiele nie jest włączonych do powierzchniowego systemu odwadniania lub włączana jest tylko okresowo. W efekcie obserwuje się silny wpływ rzeźby terenu oraz bezodpływowości na stosunki wodne zlewni. Są one zbliżone do tych obserwowanych w innych rejonach Świata (Brooks, Hayashi 2002, Brooks 2005). Również istotne znaczenie mają uwarunkowania geologiczne, morfologiczne oraz użytkowanie terenu (Hayashi, van der Kamp 2000, Brooks 2004), a także związki pomiędzy warunkami biotycznymi i hydrograficznymi (Sloan 1970, Tiner i in. 2002). Również struktura hydrograficzna ma decydujące znaczenie w rozkładzie odpływu powierzchniowego i podziemnego (Drwal 1982, Pietruszyński i in. 2015). To one decydują o możliwości retencjonowania wód opadowych (Bajkiewicz-Grabowska i Golus 2009, Grochowska i in. 2004).

Celem głównym pracy jest zbadanie zależności pomiędzy wysokością opadów atmosferycznych docierających do powierzchni zlewni Borucinki, a wielkością odpływu wód w tej rzece w roku hydrologicznym 2010. Cele cząstkowe obejmują charakterystykę wezbrań opadowych i odpływu rzeczny, charakterystykę hydrologiczną zlewni Borucinki oraz analizę opadów atmosferycznych, stanów wody

i przepływów Borucinki. Kolejnymi celami realizacyjnymi są analiza wezbrań i niszówek w 2010 roku oraz zbadanie składowych odpływu rzecznego i wykazanie wpływu opadów atmosferycznych na stosunki wodne zlewni Borucinki.

## METODY

W pracy przedstawiono wyniki badań prowadzonych w ramach projektu „Innowacyjne rozwiązania gospodarki ściekowo-osadowej dla terenów niezurbanizowanych” wykonywanego przez Katedrę Hydrologii Uniwersytetu Gdańskiego. Szczegółowe kartowanie hydrograficzne w skali 1:10000 wykonano w kwietniu i sierpniu 2010 roku. Pomiary opadów atmosferycznych były prowadzone z częstotliwością dobową, za pomocą automatycznej stacji meteorologicznej Vantage Pro2 firmy Davis Instruments, zlokalizowanej w niedalekim sąsiedztwie rzeki Borucinki, około 500 m od jej ujścia do jeziora Raduńskiego Górnego.

Pomiary stanów wody z częstotliwością godziną uzyskano z wodowskazu należącego do Stacji Limnologicznej Uniwersytetu Gdańskiego. Przekrój pomiarowy zlokalizowano w odległości około 250 m od ujścia rzeki do jeziora Raduńskiego Górnego. Przy opracowywaniu częstości stanów wody dla rzeki Borucinki zdecydowano się rozpatrywać je w przedziałach co 4 cm. Wynikało to z faktu niewielkiej amplitudy wahań stanów wody na rzece, przez co wybrane do analizy przedziały dawały gwarancję prawidłowej ich oceny.

Pomiar przepływu wykonywano za pomocą prądomierza elektromagnetycznego Valleport w odcinku ujściowym Borucinki. Uzyskano 18 pomiarów natężenia przepływu.

Współczynnik opadów miesięcznych ( $W_m$ ) obliczono według wzoru:

$$W_m = 12 \cdot P_m / P_r \text{ [wzór 1]}$$

gdzie:  $P_m$  – suma opadów z poszczególnych miesięcy (mm),  $P_r$  – roczna suma opadów (mm) (Bajkiewicz–Grabowska, Mikulski 2010).

Współczynnik nieregularności ( $\alpha$ ) to iloraz przepływów maksymalnego i minimalnego (Pociask–Karteczka 2003):

$$\alpha = Q_{\max} / Q_{\min} \text{ [wzór 2]}$$

Amplituda względna ( $A$ ) została obliczona jako:

$$A = (Q_{\max} - Q_{\min}) / Q_{\text{śr}} \text{ [wzór 3]}$$

Miesięczny współczynnik przepływów ( $C_m$ ) obliczono według wzoru:

$$C_m = Q_{\text{mies}} / Q_r \text{ [wzór 4]},$$

gdzie:  $Q_{\text{mies}}$  – średnie natężenie przepływu miesięcznego ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $Q_r$  – średnie roczne natężenie przepływu ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Współczynnik odpływu obliczono natomiast według wzoru:

$$c = H/P \text{ [wzór 5]},$$

gdzie:  $H$  – warstwa odpływu (mm),  $P$  – opad (mm).

Wykorzystane w pracy powyższe miary dawały gwarancję oceny reakcji badanej zlewni na natężenie i wielkość opadu atmosferycznego. Ograniczono się przy

tym wyłącznie do miar hydrometeorologicznych, które były głównymi miarami obliczeniowymi.

W pracy w ramach celów badawczych skonstruowano krzywą natężenia przepływu. Znajomość zależności pomiędzy stanami i przepływami wody pozwala na określanie wielkości przepływów na podstawie obserwacji stanów wody na wodowskazie. Pomiar wykorzystane do skonstruowania krzywej były wykonywane w różnych porach roku i w różnych warunkach hydrometeorologicznych, tak aby uzyskać wyniki dla warunków normalnych jak i ekstremalnych. Tak więc pomiary natężenia przepływu wykonano przy różnych stanach wody. Każdorazowo analizowano przy tym warunki w jakich został wykonany pomiar.

### CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Borucinka jest zlewnią czwartego rzędu: Wisła – Motława – Radunia – Borucinka. Jej zlewnia stanowi 3,8% powierzchni zlewni Raduni, jeżeli przyjmiemy się jako powierzchnię zlewni Borucinki 32,2 km<sup>2</sup> (Bogdanowicz i in. 2009), a za powierzchnię dorzecza Raduni 837 km<sup>2</sup> (Majewski 2005). Zlewnia Borucinki znajduje się w górnej części dorzecza Raduni. Uchodzi bezpośrednio do jeziora Raduńskiego Górnego i stanowi ważniejszy system jego zasilania (Drwal 1975).

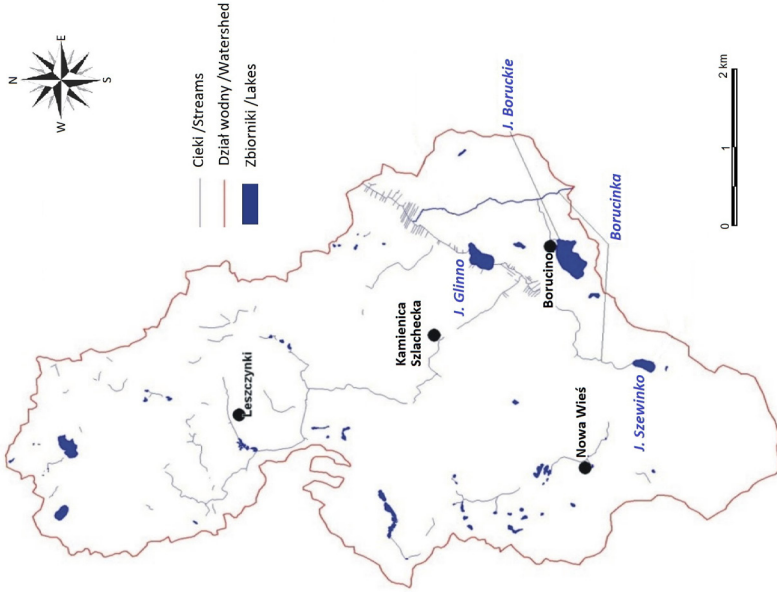
Granice zlewni mają nieregularny kształt, a rozciągłość południkowa jest większa niż równoleżnikowa (Staszek 2005). Na obszarze zlewni znajduje się Rynna Borzestowska, która wraz z Rynną Raduńską i Rynną Lubowicko–Ostrzycką odprowadza wody roztopowe z obszaru Słupi i Wisły (Drwal 1975). Deniwelacje terenu przekraczają 100 m (Jurys 1995) (ryc. 1).

W użytkowaniu terenu badanej zlewni dominują grunty orne (62,4%), a udział łąk i pastwisk jest znaczący (19,2%). Bardzo niewielki jest natomiast udział powierzchni leśnych (9,1%). Wody powierzchniowe zajmują 8,0% powierzchni zlewni, zaś zabudowa 3,3%.

Stała sieć rzeczna występuje we wschodniej części zlewni, czyli na obszarze rynny i w dolinie ujściowego odcinka Borucinki. Na pozostałym obszarze występują ciekі okresowe lub epizodyczne (ryc. 2). We wschodniej części zlewni występują liczne rowy melioracyjne (Bogdanowicz i in. 2011a). Sieć rzeczna charakteryzuje się asymetrią dorzecza, prawa część obejmuje jedynie 3,3 km<sup>2</sup> (Drwal 1975).

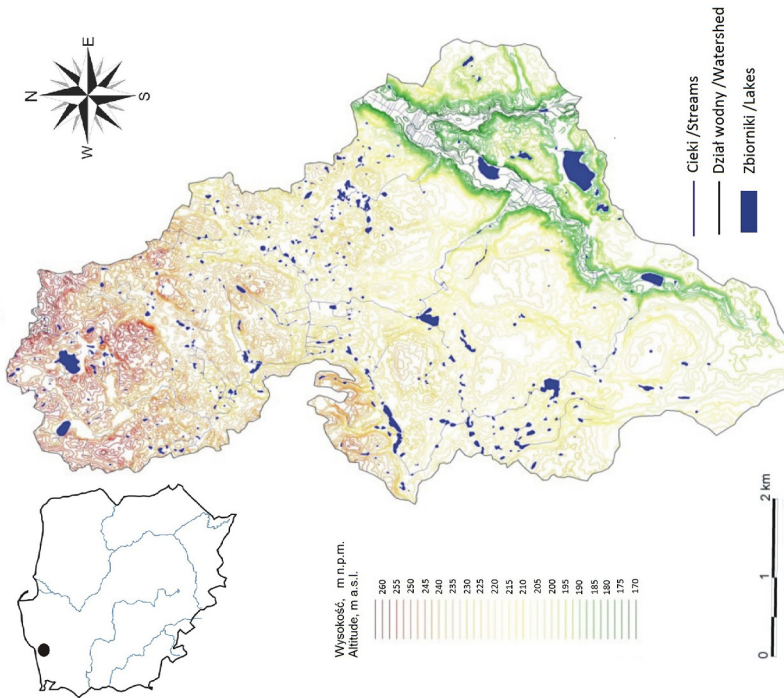
Borucinka - główny ciek w zlewni, wypływa z jeziora Szewinko i od tego miejsca ma długość 6,6 km (Staszek 2005). Przepływa przez jezioro Glinno i uchodzi do Raduńskiego Górnego (ryc. 2). Jej dopływy to przeważnie ciekі okresowe.

Na terenie zlewni występuje około sto naturalnych zbiorników wód powierzchniowych, w większości są to oczka (Drwal 1975). Występują głównie w północnej i zachodniej części zlewni, na terenach o podłożu średnio i słabo przepuszczalnym (Staszek 2005). Bardzo często są to zbiorniki bezodpływowe lub połączone są ciekami okresowymi, spełniają rolę zbiorników retencyjnych. Niektóre są pozostałością dołów potorfowych (Drwal 1975). Większe jeziora występują w południowej



**Ryc. 2.** Sieć hydrograficzna zlewni Borucinki na podstawie mapy topograficznej 1:10 000 (Bogdanowicz i in., 2011a)

**Fig. 2.** The hydrographic network of the Borucinka catchment based on topographic map 1:10 000 (Bogdanowicz et al. 2011a)



**Ryc. 1.** Ukształtowanie powierzchni zlewni Borucinki (Bogdanowicz i in., 2009)

**Fig. 1.** Relief of the Borucinka catchment area (Bogdanowicz i in. 2009)

części zlewni. Są to zbiorniki o wytopiskowej genezie, niewielkich głębokościach i regularnej linii brzegowej.

Na obszarze zlewni Borucinki występują cztery poziomy wodonośne przypowierzchniowy, sandrowy, międzymorenowy górny i międzymorenowy dolny. Poziom międzymorenowy dolny na terenie zlewni Borucinki występuje na głębokości od 50 do 100 m i jest głównym użytkowym poziomem wód podziemnych (Staszek 2005). W okolicach Kamienicy Królewskiej i Łączyna stwierdzono występowanie poziomu międzymorenowego górnego. Znajduje się on na głębokości od 170 do 194 m n.p.m. W południowej, środkowej i północno-zachodniej części zlewni Borucinki występuje poziom wód sandrowych. Zalega on na głębokości 2-8 m p.p.t. Zwierciadło wód powierzchniowych nie przekracza 5 m p.p.t. (Staszek 2005).

Zwierciadło wody gruntowej na obszarach wysoczyznowych mieści się w przedziale 0,1 do 15 m (Drwal 1975). Pomiarów głębokości wody gruntowej w studniach zlokalizowanych na terenie zlewni Borucinki wykazują, że na połowie badanego obszaru woda ta zlega na głębokości niższej niż 2 m (tab. 1). W dolinach rzek i innych obniżeniach zwierciadło wody gruntowej prawie zawsze znajduje się na głębokości mniejszej niż 2 m (Drwal 1975).

**Tabela 1.** Głębokości do poziomu wody gruntowej w studniach (opracowanie na podstawie Drwal 1975)

**Table 1.** Depths to groundwater table in wells (elaboration based on Drwal 1975)

| Klasy głębokości | Liczba studni<br><i>Number of Wells</i> | Udział Share (%) |
|------------------|---|------------------|
| < 2 m            | 60                                      | 48,0             |
| 2-5 m            | 36                                      | 28,8             |
| 5-10 m           | 20                                      | 16,0             |
| ponad 10 m       | 9                                       | 7,2              |
| suma             | 125                                     | 100,0            |

Na terenie zlewni Borucinki znajdują się również naturalne wypływy wody podziemnej. Najczęściej występują one w postaci wysięków, a ich wydajność nie przekracza  $2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  (Drwal 1975). Koncentrują się głównie wzdłuż zboczy rynny Jeziora Glinno oraz w dolinie dolnego biegu Borucinki.

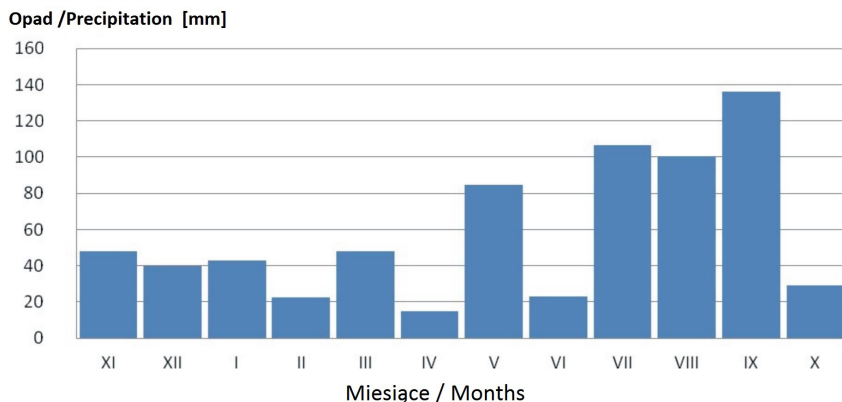
## WYNIKI I DISKUSJA

Roczna suma opadów atmosferycznym w roku hydrologicznym 2010 wynosiła 696 mm. Półrocze letnie było bardziej wilgotne, zanotowano wtedy o 264 mm więcej opadów niż w półroczu zimowym. Na okres od maja do października przypadło prawie 70% rocznej sumy opadów, a na pozostałe miesiące 215 mm.

Najwyższa miesięczna suma opadów w 2010 roku wystąpiła we wrześniu osiągając 136 mm, co stanowiło prawie 20% sumy rocznej. Stosunkowo wysokie opady wystąpiły również w lipcu i sierpniu (odpowiednio 106,4 mm i 100,4 mm). Najbardziej suchym miesiącem był kwiecień. Najniższe opady miały miejsce w kwietniu (15 mm), w lutym (22,3 mm) i w czerwcu (23,2 mm) (ryc. 3).

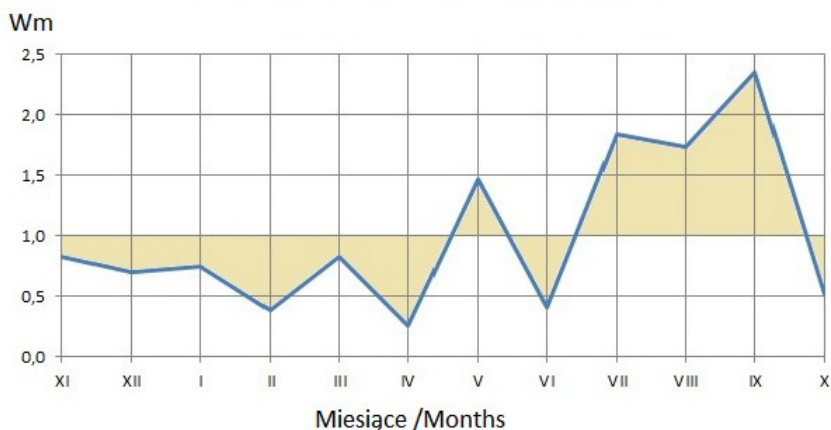
Maksymalny opad atmosferyczny odnotowany w półroczu ciepłym wyniósł 69,4 mm i był to zarazem najwyższy opad w 2010 roku. Zaobserwowano go 27 IX. Najwyższy opad dla półroczia chłodnego wyniósł 15,1 mm (28 I 2010) i stanowił pojedynczy epizod opadowy.

Rozkład opadów w analizowanym roku hydrologicznym był nierównomierny. W maju, lipcu, sierpniu i wrześniu współczynnik opadów miesięcznych był większy niż 1, zatem te miesiące można zaliczyć do miesięcy deszczowych (ryc. 4).



**Ryc. 3.** Miesięczne sumy opadu atmosferycznego w Borucinie w 2010 roku

**Fig. 3.** Monthly total atmospheric precipitation in Borucino in 2010



**Ryc. 4.** Współczynnik opadów miesięcznych (Wm) w 2010 roku

**Fig. 4.** The coefficient of monthly precipitation (Wm) in 2010

Pozostałe miesiące ze współczynnikiem mniejszym od 1 określa się jako miesiące suche.

Sieć hydrograficzna przedstawiona na mapie topograficznej różni się od tej zanotowanej podczas przeprowadzonego w kwietniu i sierpniu 2010 roku kartowania hydrograficznego zlewni Borucinki. Liczba obiektów hydrograficznych na obszarze zlewni Borucinki jest zależna od pory roku. Można wyróżnić okres wilgotny, kiedy widoczna jest największa liczba zbiorników wodnych i maksymalna długość cieków (ryc. 5). Okres suchy charakteryzuje się zmniejszoną liczbą obiektów hydrograficznych (ryc. 6).

Sezon wilgotny trwa od marca do kwietnia i jest spowodowany dużymi dostawami wody na powierzchnię zlewni. W badanym 2010 roku było to związane z topnieniem pokrywy śnieżnej (Bogdanowicz i in. 2011a). Całkowita długość cieków w okresie wilgotnym wynosiła 64 km, a średnia gęstość sieci rzecznej  $2,01 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$  (tab. 1). Podczas wiosennego kartowania zauważono również znaczną ilość małych zbiorników wodnych, które w okresie letnim wysychają. Całkowita powierzchnia zbiorników wodnych wynosiła w kwietniu 2010 roku  $742968 \text{ m}^2$ , a wskaźnik jeziorności osiągnął wartość 2,31% (tab. 2).

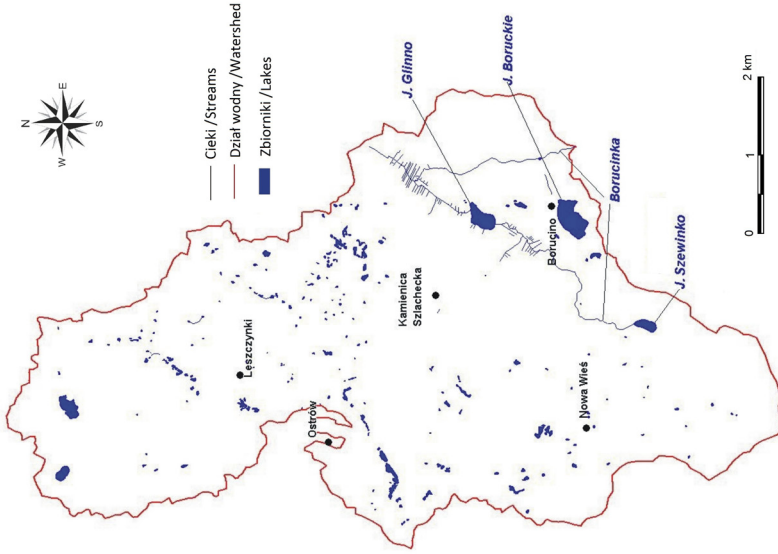
**Tabela 2.** Wybrane parametry sieci hydrograficznej zlewni Borucinki w dwóch okresach kartowań - wilgotnym i suchym (Bogdanowicz i in. 2011a)

**Table 2.** Chosen hydrographic parameters of the Borucinka catchment area in two mapping seasons – wet and dry (Bogdanowicz et al. 2011a)

| Termin<br><i>Term</i> | Długość cieków<br><i>Length of streams</i><br>[km] | Średnia gęstość<br>sieci rzecznej<br><i>Average density of streams</i><br>[ $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ ] | Powierzchnia<br>zbiorników<br><i>Area of lakes</i><br>[ $\text{m}^2$ ] | Współczynnik<br>jeziorności<br><i>Lakes factor</i><br>[%] |
|-----------------------|--|--|--|---|
| IV 2010               | 64,84  | 2,01   | 742968   | 2,31  |
| VIII 2010             | 14,95  | 0,46   | 507276   | 1,57  |

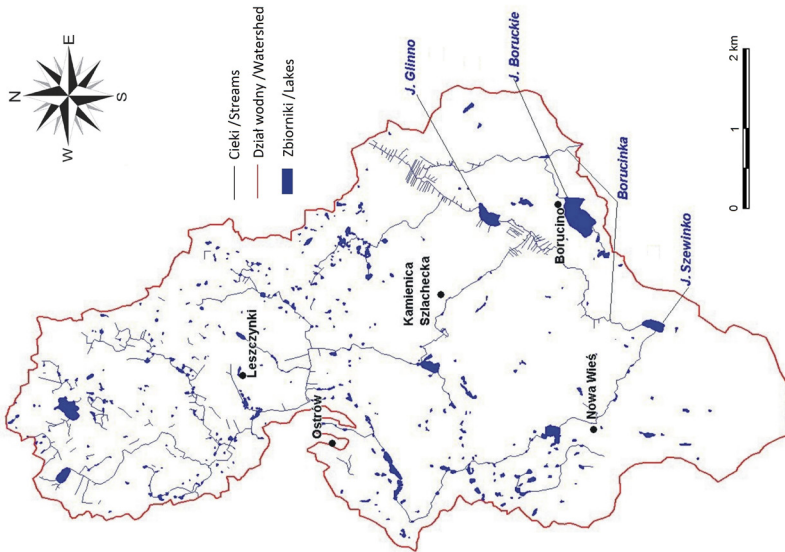
Kartowanie w sierpniu 2010 pokazało zupełnie inny obraz sieci hydrograficznej zlewni Borucinki (ryc. 6). Całkowita długość wszystkich cieków wynosiła niecałe 15 km, co stanowi ponad 4-krotnie mniej niż w okresie wilgotnym. Średnia gęstość sieci rzecznej również zmalała w stosunku do sytuacji w kwietniu 2010 roku i wynosiła zaledwie  $0,46 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$  (tab. 2). Wówczas cała sieć rzeczna koncentrowała się we wschodniej części zlewni. Zbiorniki wodne w sierpniu zajmowały  $507\,276 \text{ m}^2$ , czyli o 32% powierzchni mniej niż w sezonie wilgotnym (tab. 2). Zauważono znaczną różnicę w liczbie zbiorników na obszarze zlewni. Podczas kartowania wiosennego było ich 429, a latem tylko 219. Współczynnik jeziorności w sezonie suchym zmalał do wartości 1,57% (tab. 2).

Obszary bezodpływowe zajmują około połowę powierzchni zlewni Borucinki. W sezonie wilgotnym obszary bezodpływowe chłonne zajmowały 23% po-



**Ryc. 6.** Sieć hydrograficzna zlewni Borucinki w sezonie suchym w 2010 roku (Bogdanowicz i in. 2011a)

**Fig. 6.** The hydrographic network of the Borucinka catchment in the dry season in 2010 (Bogdanowicz et al. 2011a)



**Ryc. 5.** Sieć hydrograficzna zlewni Borucinki w okresie wilgotnym w 2010 roku (Bogdanowicz i in. 2011a)

**Fig. 5.** The hydrographic network of the catchment Borucinka in the wet season in 2010 (Bogdanowicz et al. 2011a)



wierzchni zlewni, a bezodpływowe ewapotranspiracyjne 27% powierzchni zlewni (tab. 3). Występowały one przede wszystkim w północnej, południowo-zachodniej i południowej części zlewni Borucinki.

**Tabela 3.** Udział procentowy powierzchni typów jednostek uproszczonej elementarnej struktury hydrograficznej w zlewni Borucinki w sezonach wilgotnym i suchym 2010 roku (Bogdanowicz i in. 2011a)

**Table 3.** The percentage of surface unit types of the simplified elementary hydrographic structure in the Borucinka catchment in wet and dry seasons of 2010 (Bogdanowicz et al. 2011a)

| Termin<br><i>Term</i> | Egzoreiczne<br><i>Egzoreic</i> | Bezodpływowe<br>chlonne<br><i>Absorbing outflow</i> | Bezodpływowe<br>ewapotranspiracyjne<br><i>Outflow<br/>evapotranspiration</i> |
|-----------------------|--------------------------------|---|--|
| IV 2010               | 50                             | 23  | 27   |
| VIII 2010             | 20                             | 40  | 40   |

W sezonie suchym obszary egzoreiczne stanowiły zaledwie 20% powierzchni zlewni Borucinki (tab. 3). Występowały wzdłuż Borucinki i dolnych odcinków jej dopływów. Bezodpływowa była cała północna oraz zachodnia część zlewni. Obszarem bezodpływowym była również zlewnia jeziora Boruckiego.

Obserwacje stanów wody, w badanym okresie, były prowadzone z częstością godziną. Najniższy roczny stan wody (NNW) w badanym okresie odnotowano 3 VII 2010r. i wynosił on 9,2 cm (ryc. 7). Najwyższy stan roczny (WWW), czyli 36,9 cm zaobserwowano 24 III 2010r (ryc. 7). Można zauważyć, że w półroczu ciepłym wystąpiły niższe średnie stany wody niż w półroczu chłodnym. W półroczu chłodnym, najniższy zaobserwowany stan wody wynosił 11,9 cm (28-30 stycznia 2010r.), natomiast maksymalny jest równy najwyższemu stanowi rocznemu. W półroczu ciepłym (od 1 V do 31 X) najniższy stan wody odpowiada najniższemu stanowi rocznemu, maksymalny wystąpił 28 IX i wynosił 25,9 cm. Średni roczny stan wody to 13,9 cm.

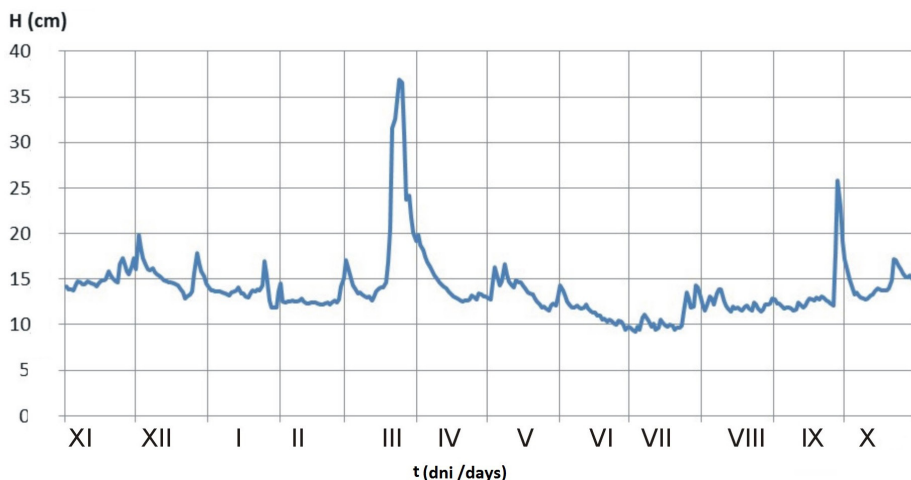
Częstości stanów wody rozpatrywano w przedziałach co 4 cm (ryc. 8). Można zauważyć, że w Borucince 96% stanowią stany wody mniejsze niż 20 cm. W badanym okresie najczęściej występowały stany wody od 12 do 16 cm, zaobserwowano je w ciągu 244 dni. Często odnotowywano również stany wody z przedziału 8-11 cm oraz 16-19 cm, odpowiednio 73 i 35 razy. Stany wody powyżej 20 cm są rzadkością. W danym roku hydrologicznym wystąpiły w ciągu zaledwie 13 dni.

Czas trwania stanów wody określa przez ile dni utrzymywały się wody wyższe lub niższe od wartości charakterystycznej (Dębski 1970). W badanym roku stany wody do wysokości 17 cm trwały 334 dni (ryc. 9). Stany powyżej 17 cm zaobserwowano w ciągu 31 dni, natomiast stany wody powyżej 24 cm tylko w ciągu 8 dni. Punkt przecięcia krzywej czasu trwania stanów niższych (krzywa A) i krzywej czasu trwania stanów wyższych (krzywa B) wskazuje wartość zwyczajnej wody. Jest

to stan wody tyle razy przekroczony, co nie osiągnięty, czyli stan wody środkowy (Bajkiewicz– Grabowska i in. 1993). W roku hydrologicznym 2010 dla Borucinki zwyczajna woda wyniosła 12,8 cm.

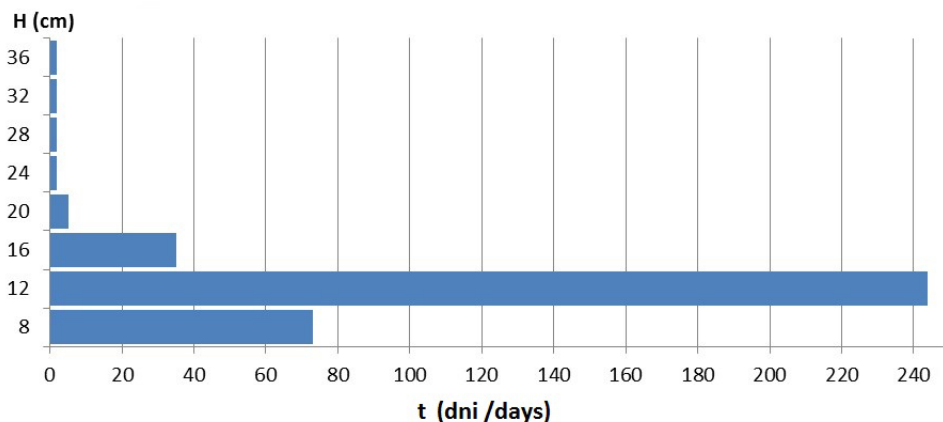
Pomiary natężenia przepływu zostały wykonane przy różnych stanach wody. Z otrzymanych wyników skonstruowano krzywą natężenia przepływu (ryc. 10).

Na podstawie przepływów dobowych wyznaczono ich częstotliwość i czas trwania w roku hydrologicznym 2010. W Borucince najczęściej występowały przepływy



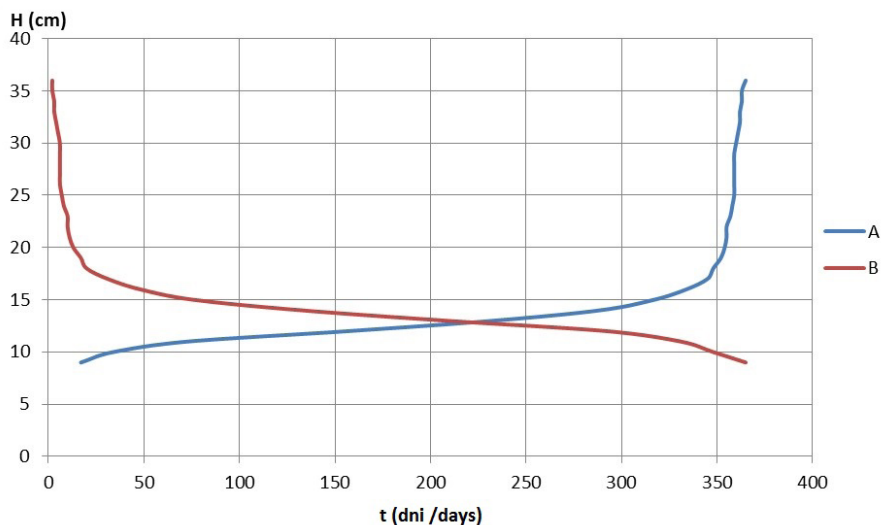
**Ryc. 7.** Dobbowe stany wody w rzece Borucince w 2010 roku

**Fig. 7.** Daily water levels in the Borucinka river in 2010



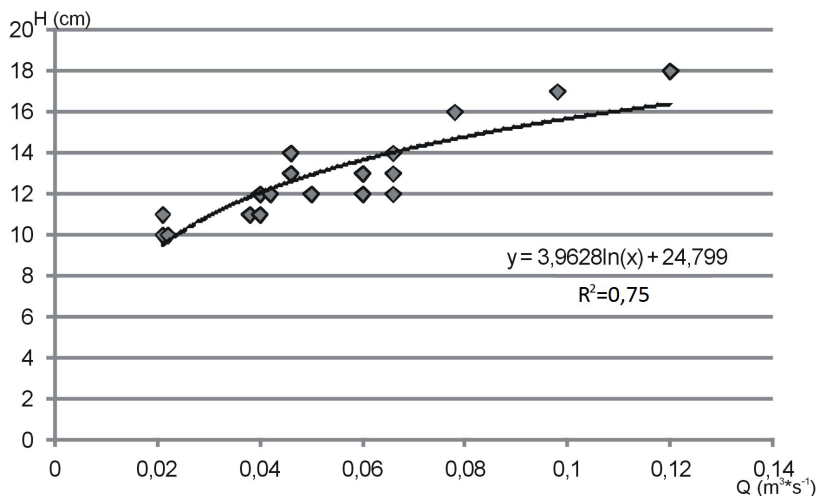
**Ryc. 8.** Częstotliwości stanów wody w rzece Borucince w 2010 roku

**Fig. 8.** The frequencies of water levels in the Borucinka river in 2010



**Ryc. 9.** Krzywa czasów trwania stanów wody w rzece Borucince w 2010 r. A – wraz ze stanami niższymi, B – wraz ze stanami wyższymi

**Fig. 9.** The curve of water levels durations in the Borucinka river in 2010; A - with lower water, B - with higher water



**Ryc. 10.** Krzywa natężenia przepływu rzeki Borucinki w 2010 roku

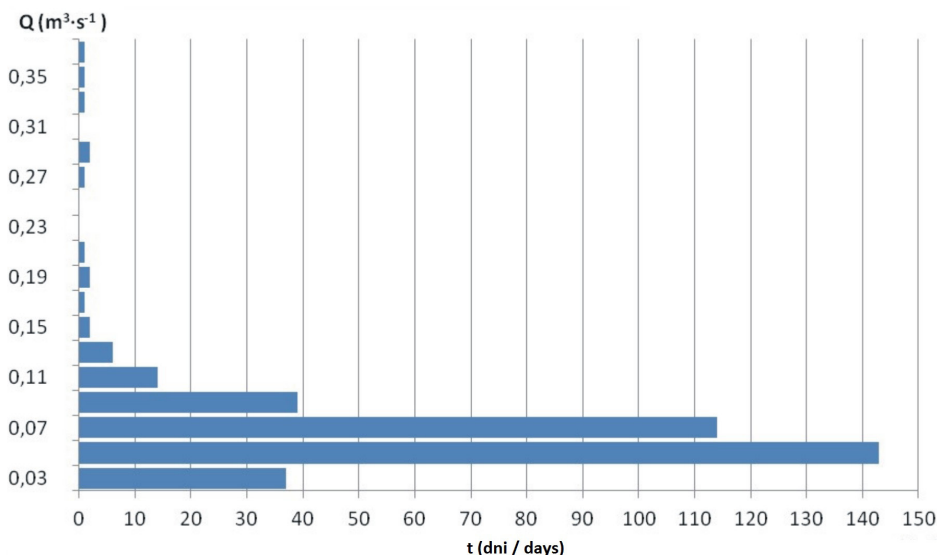
**Fig. 10.** The rating curve of the Borucinka river in 2010

o natężeniu niższym od  $0,08 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  oraz przepływy od  $0,04$  do  $0,059 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Średkowa wartość przedziału, na który przypada największa częstość to przepływ najdłużej trwający. Dla Borucinki, w roku hydrologicznym 2010 wynosił on  $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Przepływy o natężeniu od  $0,06$  do  $0,079 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  odnotowano 114 razy. Z kolei przepływów od  $0,22$  do  $0,259 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  i w przedziale  $0,3 - 0,319 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  nie odnotowano ani razu (ryc. 11).

Największy roczny przepływ o natężeniu  $0,361 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  wystąpił 24 marca 2010 r. (tab. 4), a najniższy 3 lipca 2010 roku ( $0,020 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Średni roczny przepływ Borucinki w roku hydrologicznym 2010 wynosił  $0,06 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (tab. 4). W półroczu chłodnym najniższy był przepływ o natężeniu  $0,046 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  zaś maksymalny był równy największemu rocznemu przepływowi. Minimalny przepływ dla półrocza ciepłego był równy najmniejszemu rocznemu przepływowi, zaś maksymalny wyniósł  $0,207 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Średni przepływ dla półrocza chłodnego był o  $0,027 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  większy niż w półroczu ciepłym.

Współczynnik nieregularności dla roku czyli iloraz przepływu maksymalnego i minimalnego (Pociąg–Karteczka 2003) wyniósł 18,5 (tab. 4). Półrocze ciepłe charakteryzuje się większą zmiennością przepływów w porównaniu do chłodniejszej pory roku. Różnica współczynnika wyniosła 2,7.

Amplituda względna obliczana jako stosunek różnicy WQ i NQ do SQ (Pociąg–Karteczka 2003) dla roku 2010 wyniosła 5,0. Najwyższa była we wrześniu (2,6), zaś najniższa w listopadzie i sierpniu (0,5).



**Ryc. 11.** Częstości przepływów Borucinki w 2010 roku

**Fig. 11.** Frequencies of the Borucinka river discharges in 2010

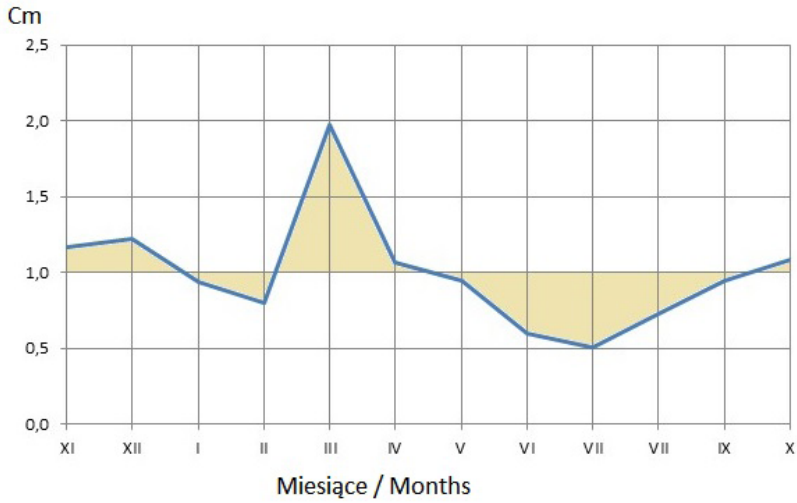
**Tabela 4.** Miary zmienności przepływu Borucinki w 2010 roku**Table 4.** Measures of the discharge variability in the Borucinka river in 2010

|   | <b>NQ</b><br><i>Low discharge</i> | <b>SQ</b><br><i>Average discharge</i> | <b>WQ</b><br><i>High discharge</i> | <b>Współczynnik</b><br><b>nieregularności</b><br><i>Factor irregularities</i> | <b>Amplituda</b><br><b>względna</b><br><i>Relative amplitude</i> |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---|--|
| Rok <i>Year</i>                         | 0,020                             | 0,068                                 | 0,361                              | 18,5  | 5,0  |
| XI                                      | 0,065                             | 0,079                                 | 0,104                              | 1,6   | 0,5  |
| XII                                     | 0,056                             | 0,083                                 | 0,134                              | 2,4   | 0,9  |
| I                                       | 0,046                             | 0,064                                 | 0,101                              | 2,2   | 0,9  |
| II                                      | 0,049                             | 0,054                                 | 0,080                              | 1,6   | 0,6  |
| III                                     | 0,054                             | 0,134                                 | 0,361                              | 6,7   | 2,3  |
| IV                                      | 0,052                             | 0,073                                 | 0,133                              | 2,6   | 1,1  |
| Półrocze<br>chłodne<br><i>Half cold</i> | 0,046                             | 0,082                                 | 0,361                              | 7,9   | 3,9  |
| V                                       | 0,043                             | 0,064                                 | 0,097                              | 2,3   | 0,8  |
| VI                                      | 0,022                             | 0,040                                 | 0,072                              | 3,3   | 1,2  |
| VII                                     | 0,020                             | 0,034                                 | 0,072                              | 3,7   | 1,5  |
| VIII                                    | 0,041                             | 0,049                                 | 0,067                              | 1,6   | 0,5  |
| IX                                      | 0,042                             | 0,064                                 | 0,207                              | 4,9   | 2,6  |
| X                                       | 0,056                             | 0,074                                 | 0,103                              | 1,9   | 0,6  |
| Półrocze<br>cieple<br><i>Half warm</i>  | 0,020                             | 0,054                                 | 0,207                              | 10,6  | 3,5  |

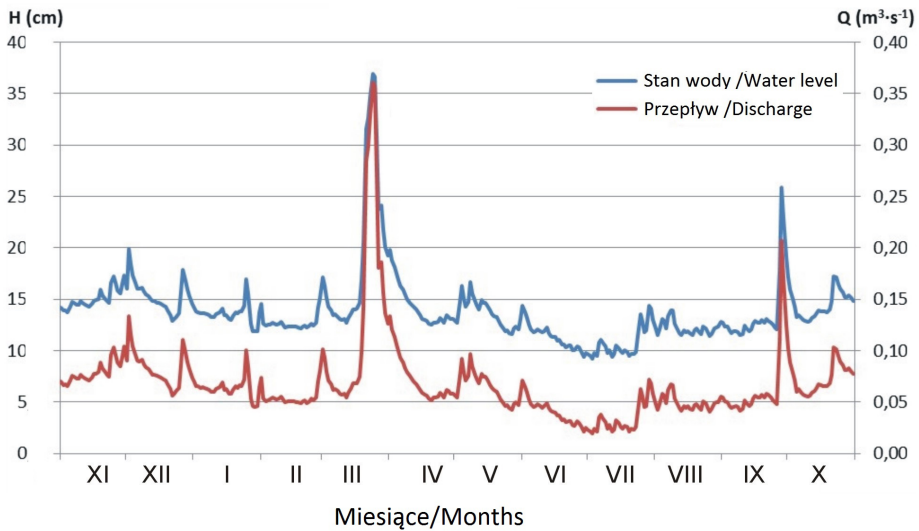
Analizę sezonowego rytmu przepływu umożliwia miesięczny współczynnik przepływów. Współczynnik ten informuje o wielkości przepływu w danym miesiącu w stosunku do przepływu rocznego. W roku hydrologicznym 2010 można zaobserwować dwa okresy wysokich przepływów i dwa okresy niskich przepływów (ryc. 12). Średnie przepływy marca są dwukrotnie wyższe od średniego przepływu rocznego. W grudniu wystąpiły przepływy o 20% wyższe od średniego. Z kolei średnie przepływy w lipcu były o połowę niższe niż średni przepływ roczny. Luty charakteryzował się o 20% mniejszym przepływem w stosunku do średniego rocznego.

W analizowanym okresie obserwowane zmiany stanów wody Borucinki były związane ze zwiększonym bądź zmniejszonym odpływem (ryc. 13), zatem występujące wezbrania i niżówki nie były spowodowane ani zjawiskami lodowymi ani piętrzeniem wody. Na ich przebieg miały więc wpływ przede wszystkim opady atmosferyczne.

Jako kryterium wyznaczenia wezbrań i niżówek przyjęto przepływy graniczne. Dla wezbrań jest to średni przepływ maksymalny, natomiast dla niżówek jest to



**Ryc. 12.** Miesięczny współczynnik przepływów (Cm) Borucinki w 2010 roku  
**Fig. 12.** Monthly flow rate (Cm) in Borucinka river in 2010



**Ryc. 13.** Dobbowe stany wody (H) i dobowe wartości przepływu (Q) Borucinki w 2010 roku  
**Fig. 13.** Daily water levels (H) and the daily flow rate (Q) in river Borucinka in 2010

przepływ średni z minimalnych (Pociask–Karteczka 2003). Przepływy graniczne zostały oddzielnie odliczone dla półrocza chłodnego i ciepłego dzięki temu można uchwycić niżówki i wezbrania spowodowane różnymi czynnikami np. wezbrania roztopowe i deszczowe (Ozga–Zielińska, Brzeziński 1997).

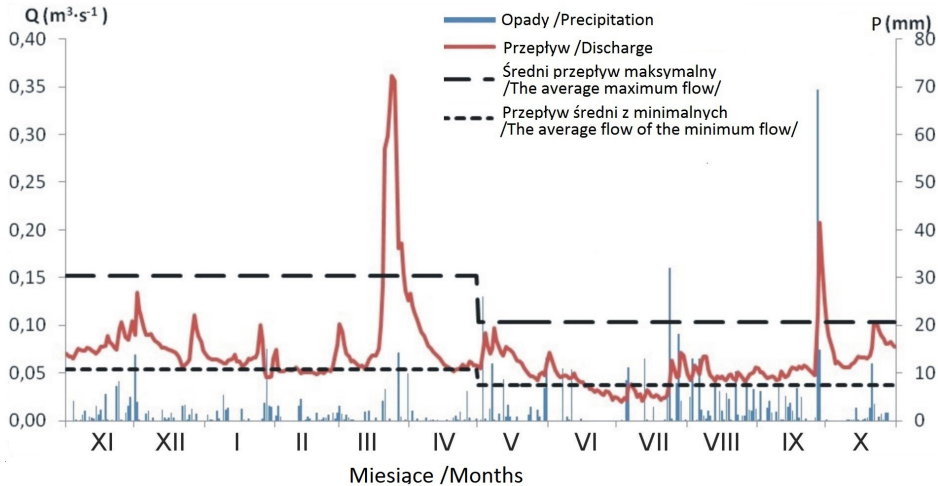
W roku hydrologicznym 2010 zaobserwowano wystąpienie dwóch wezbrań i dwóch niżówek (ryc. 14). Pierwsze wezbranie Borucinki odnotowano w dniach 20-30.03.2010. Przepływ ekstremalny wezbrania został osiągnięty 24 marca i wyniósł  $0,361 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Średni przepływ tego wezbrania to  $0,246 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Wezbranie było spowodowane gwałtownym topnieniem pokrywy śnieżnej (Bogdanowicz i in. 2011b). Drugie wezbranie trwało od 27.09.10 do 1.10.10. z przepływem ekstremalnym  $0,207 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (28.09.10). Przepływ średni wezbrania wyniósł  $0,143 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Przyczyną wystąpienia tego wezbrania były intensywne opady deszczu występujące w tym czasie (Bogdanowicz i in. 2011a).

Niżówki przedzielone okresami o przepływach większych od granicznego, ale trwającymi krócej niż 15 dni są traktowane jako jedna niżówka (Ozga–Zielińska, Brzeziński 1997). Pierwszą niżówkę zaobserwowano w okresie od 27.01.10 do 26.02.10. Przepływ ekstremalny niżówki wyniósł  $0,046 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Zaobserwowano go w dniach 28-30.01.10. Przepływ średni niżówki to  $0,053 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Kolejną niżówkę zaobserwowano w dniach od 17.06 do 24.07.10. Przepływ ekstremalny niżówki wystąpił 3 lipca i wyniósł  $0,020 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , natomiast średni  $0,028 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Wystąpienie niżówek wiązało się z wystąpieniem okresu bezdeszczowego (Bogdanowicz i in. 2011a).

Na podstawie dobowych przepływów obliczono odpływ rzeczny Borucinki dla roku hydrologicznego 2010. W badanym roku ze zlewni Borucinki odpłynęło  $2\,142\,971 \text{ m}^3$  wody. Na półrocze zimowe przypadło 60% rocznego odpływu. Największy odpływ dla wartości miesięcznych przypadł na marzec (ponad 17% rocznego odpływu). Najmniej wody odpłynęło w lipcu i czerwcu – odpowiednio 4 i 5% rocznego odpływu. Z kolei średni odpływ jednostkowy w 2010 roku wynosił  $2,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ . W półroczu chłodnym był wyższy ( $2,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ) niż w półroczu ciepłym ( $1,7 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ). W rozkładzie miesięcznym najwyższą wartość osiągnął w marcu. W tym miesiącu odpływ jednostkowy ze zlewni wynosił  $4,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ . Najniższą wartością odpływu jednostkowego charakteryzował się lipiec ( $1,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ).

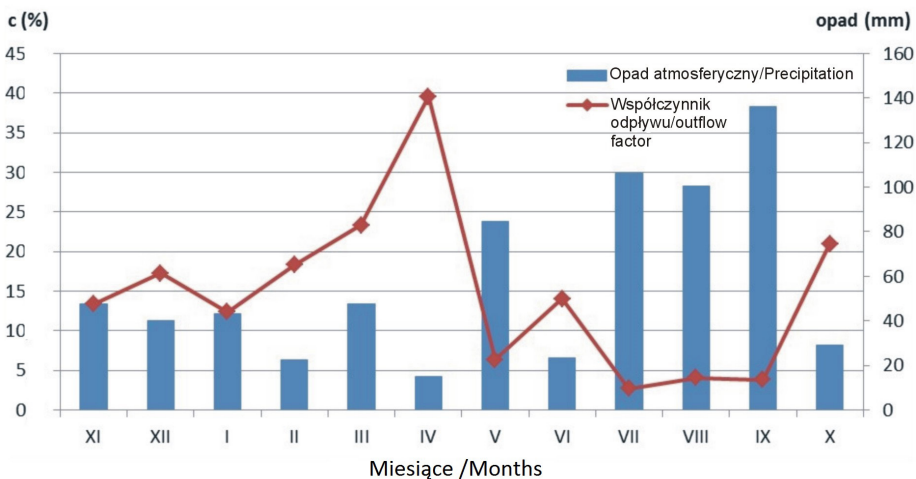
Stosunek odpływu do opadów wyraża współczynnik odpływu, dzięki czemu wiadomo jest, jaka część opadów atmosferycznych uległa transformacji w odpływ rzeczny (Pociask–Karteczka 2003). Im wyższa jest jego wartość, tym mniejsze są straty na parowanie (Dynowska, Tłałka 1982). Roczny współczynnik odpływu w analizowanym roku hydrologicznym wyniósł niecałe 10%. Tak niska wartość współczynnika wskazuje, że około 90% opadów atmosferycznych paruje, wsiąka i zasila wody podziemne, bądź jest zatrzymywana w zbiornikach wodnych (Bogdanowicz i in. 2011a). Dla półrocza chłodnego wskaźnik ten wyniósł ponad 18%, a ciepłego niecałe 6%. Maksymalną wartość osiągnął w kwietniu, prawie 40%. Najniższym współczynnikiem odpływu charakteryzował się lipiec, niespełna 3%.

Niską wartość (ok. 4%) osiągał on również w sierpniu i we wrześniu. Można zauważyć, że miesiąc charakteryzujący się największym odpływem miał najniższą sumę opadów atmosferycznych, zaś w miesiącach o najniższym odpływie występowały wysokie opady (ryc. 15).



Ryc. 14. Wezbrania i niżówki Borucinki w 2010 roku

Fig. 14. Floods and low waters of Borucinka river in 2010



Ryc. 15. Miesięczny współczynnik odpływu (c) i opad atmosferyczny w 2010 roku

Fig. 15. Monthly runoff coefficient (c) and precipitation in 2010



Do oceny wielkości poszczególnych form zasilania cieką stosuje się metodę genetycznego rozdziału hydrogramu, czyli metodę ścięcia fali (Macioszczyk 2006). Odpływ bazowy, czyli najbardziej trwała forma odpływu podziemnego odpowiada wartości minimalnego przepływu rocznego (Pociask–Karteczka 2003). Początek i koniec linii rozdzielającej odpływ podziemny i spływ powierzchniowy wyznaczają charakterystyczne punkty na hydrogramie, początek wezbrania i punkt załomu (Macioszczyk 2006). W roku hydrologicznym 2010 zasilanie wodami pochodzącymi ze spływu powierzchniowego stanowiło 24% całkowitego odpływu Borucinki. Na odpływ podziemny przypadło zatem 76%, z czego 28% stanowił odpływ bazowy.

## WNIOSKI

Ciek Borucinka ma ustrój złożony śnieżno-deszczowy z dwoma wezbraniem w ciągu roku. Główne wezbranie jest wywołane roztopami (wezbranie wiosenne), natomiast drugie jest nieco mniejsze i spowodowane opadami (wezbranie jesienne). Uzyskane wyniki oparte są na badaniach jednorocznych, dlatego też powyższych wniosków nie należy uogólniać.

Wysokość opadów atmosferycznych docierających do powierzchni zlewni Borucinki ma wyraźny wpływ na stosunki wodne rzeki. Jest to typowe zjawisko obserwowane na obszarach młodoglacjalnych. Gęstość sieci rzecznej Borucinki zmienia się zależnie od pory suchej i wilgotniej. W porze suchej nie funkcjonuje część zbiorników wodnych i niektóre z dopływów Borucinki. Natomiast w okresie wilgotnym, po opadach atmosferycznych, cieki przyjmują maksymalną długość i widoczna jest większa ilość zbiorników wodnych. Zauważalny jest zwiększony przepływ cieką dzień po wystąpieniu opadu atmosferycznego. Wystąpienie wezbrań również miało związek z opadami atmosferycznymi. Wezbranie marcowe wywołane było topnieniem pokrywy śnieżnej, a wezbranie wrześniowe bezpośrednio wiązało się z wystąpieniem obfitych opadów atmosferycznych. W zasilaniu rzeki przeważa odpływ podziemny (76%), zatem większość opadów atmosferycznych wsiąka w podłoże i tą drogą dostaje się do sieci rzecznej Borucinki. Dla porównania rzeka Łasica przepływająca przez Kampinoski Park Narodowy charakteryzuje się dominującym zasilaniem opadem atmosferycznym, który kształtuje lokalne warunki wilgotnościowe wierzchnich warstw gleby. Również zmienność sezonowa i wieloletnia odpływu nawiązuje do warunków zasilania zlewni opadem. W aktualnych warunkach w półroczu letnim roku hydrologicznego utrzymują się długo trwające niskie stany wód podziemnych oraz niskie przepływy, zaś w półroczu zimowym następuje wzrost ich wartości (Somorowska i in. 2011). Z kolei T. Bryndal (2011) badający warunki hydrologiczne małych zlewni zlokalizowanych na Pogórzu Dynowskim, Strzyżowskim i Przemyskim stwierdził, że główny wpływ na formowanie się odpływu ma opad atmosferyczny. Małe zlewnie, badana w wyżej wymienionych pogórzach, bardzo dynamicznie reagują na gwałtowne opady desz-

czu. Ich zlewnie mają pokrywą glebową wykształconą na skałach macierzystych zasobnych we frakcję pylastą i ilastą. Są to są najczęściej gliny średnie i ciężkie oraz pyły zwykle i ilaste, o niskim współczynniku filtracji. Takie właściwości gleb sprzyjają formowaniu się spływu powierzchniowego (Romkens i in. 1995) powodując, że podczas intensywnych opadów deszczu tylko niewielka część wody opadowej przemieszcza się w głąb gleby (Gil 1999). W strukturze użytkowania dominują grunty orne, na których szybciej następuje spływ powierzchniowy (Gil, 1998). Natomiast D. Brykała (2009) analizując rzekę Skrwę Lewą zauważył, że poza zasilaniem opadem atmosferycznym, drugim głównym źródłem jest dopływ drogą podziemną. Zasilanie wodami podziemnymi ocenił on w poszczególnych sezonach w zakresie od 40 do 75% sumy zasilania całkowitego rzeki. Zaznaczył dodatkowo, że elementem zakłócającym może być antropogenizacja sieci hydrograficznej wynikająca z rozwoju melioracji, czy budowy urządzeń hydrotechnicznych. Z kolei J. Drwal (1982) dla obszarów pojeziernych ocenił, że wielkość zasilania drogą podziemną waha się w zależności od badanej zlewni od 50 do nawet 90% sumy zasilania całkowitego. M. Major (2012) natomiast badając rzekę Wartę określił, że najwyższe stany wody obserwuje się dla tej rzeki w okresie wiosennym (luty, marzec), co związane jest z roztopami. Notuje się również wezbrania letnie (np. w lipcu) po większych opadach deszczu. Najniższe stany wody występują z kolei wczesną jesienią (wrzesień), kiedy dominuje gruntowe zasilanie rzek. Taki przebieg zmienności stanów wody jest charakterystyczny dla rzek o gruntowo-deszczowo-śnieżnym ustroju zasilania.

## Literatura

- Bajkiewicz–Grabowska E., Golus W., 2009, Organizacja sieci hydrograficznej w zlewni pojezierniej przy różnym stanie jej retencji, [w:] R. Bogdanowicz, J. Fac-Beneda (red.) *Zasoby i ochrona wód. Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych*, Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 159–166.
- Bajkiewicz–Grabowska E., Mikulski Z., 2010, *Hydrologia ogólna*, PWN, Warszawa, 340 s.
- Bajkiewicz–Grabowska E., Magnuszewski A., Mikulski Z., 1993, *Hydrometria*, PWN, Warszawa, 313 s.
- Bogdanowicz R., Drwal J., Woźniak E., 2009, Innowacyjne rozwiązania gospodarki ściekowej – osadowej dla terenów niezurbanizowanych. Raport z zadania drugiego: Określenie zagrożeń i presji w zlewniach pilotażowych. Lokalizacja punktów monitoringowych, Gdańsk (maszynopis).
- Bogdanowicz R., Drwal J., Woźniak E., Fac –Beneda J., Cysewski A., Krajewska Z., Jokiel J., Pietruszyński Ł., 2011a, Innowacyjne rozwiązania gospodarki ściekowej – osadowej dla terenów niezurbanizowanych. Raport z zadania piątego: Realizacja rozwiązań ograniczających wpływ zanieczyszczeń na wybranych obszarach pilotowych, Gdańsk (maszynopis).
- Bogdanowicz R., Drwal J., Olszewska A., Woźniak E., 2011b, Innowacyjne rozwiązania gospodarki ściekowej-osadowej dla terenów niezurbanizowanych. Raport z zadania szóstego: Metody oparte na GIS, monitoring i analiza modelowa, Gdańsk (maszynopis).
- Brooks T.R., 2004, Weather – related effects on woodland vernal pool hydrology and hydroperiod, *Wetlands* 24 (1), 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* 13, 335-348.
- Brooks T.R., Hayashi M., 2002, Depth-area-volume and hydroperiod relationships of ephemeral (vernal) forest pools in southern New England, *Wetlands* 22 (2), 247-255.
- Brykała D., 2009, Przestrzenne i czasowe zróżnicowanie odpływu rzecznego w dorzeczu Skrwy Lewej, *Prace Geograficzne* 221, 155 s.
- Bryndal T., 2011, Identyfikacja małych zlewni podatnych na formowanie gwałtownych wezbrań (na przykładzie Pogórza Dynowskiego, Strzyżowskiego i Przemyskiego), *Przegląd Geograficzny* 83 (1), 27-49.
- Dębski K., 1970, *Hydrologia*, ARKADY, Warszawa, 368 s.
- Drwal J., 1975, Zagadnienie bezodpływowości na obszarach młodoglacjalnych, *Zeszyty Naukowe Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Gdańskiego* 3, 7-26.
- 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* 33, 1-130.
- Dynowska I., Tłałka A., 1982, *Hydrografia*, PWN, Warszawa, 300 s.
- Gil E., 1998, Splyw wody i procesy geomorfologiczne w zlewniach fliszowych podczas gwałtownej ulewy w Szymbarku w dniu 7 czerwca 1985 roku, *Dokumentacja Geograficzna* 11, 85-107.
- Gil E., 1999, Obieg wody i splukiwanie na fliszowych stokach użytkowanych rolniczo w latach 1980-1990, *Zeszyty Naukowe IGiPZ PAN* 60, 21-33.
- Grochowska J., Tandaryk 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* 4, 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* 237, 74-85.
- Jurys L., 1995, Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 1:50000, arkusz Stężyca, PIG, Gdańsk.
- Macioszczyk A. (red.), 2006, *Podstawy hydrometeorologii stosowanej*, PWN, Warszawa, 570 s.
- Majewski W. (red.), 2005, *Charakterystyka Raduni i jej zlewni w świetle Ramowej Dyrektywy Wodnej UE*, IBW PAN, Gdańsk, 193 s.
- Major M., 2012, Charakterystyka zasilania roztopowego w dorzeczu Warty na obszarze Niziny Wielkopolskiej jako głównej składowej fal wezbraniowych, *Przegląd Geograficzny* 84 (1), 105-121.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1997, *Hydrologia stosowana*, PWN, Warszawa, 323 s.
- Pietruszyński Ł., Ciesliński R., Woźniak E., Jokiel J., 2015, Transport substancji biogenicnych w zlewni młodoglacjalnej na tle sezonowych zmian struktury hydrograficznej (na przykładzie zlewni Borucinki), *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 15 (3), 75-88.
- Pociask-Karteczka J. (red.), 2003, *Zlewnia: właściwości i procesy*, IGiP UJ, Kraków, 283 s.
- Romkens M.J.M., Luk S.H., Poesen J.W.A., Mermut A.R., 1995, Rain infiltration into losses soil from different geographic regions, *Catena* 25, 21-32.
- Sloan E.Ch., 1970, Biotic and hydrologic variables in Prairie Potholes in North Dakota, *Journal of Range Management* 23 (4), 260-263.

- Somorowska U., Gutry-Korycka M., Lenartowicz M., Chormański J., Szporak S., 2011, Charakterystyka uwarunkowań hydrologicznych, [w:] T. Okruszko, W. Mioduszeński, L. Kucharski (red.), *Ochrona i renaturyzacja mokradeł Kampinoskiego Parku Narodowego*, Wyd. SGGW, Warszawa, 45-72.
- Staszek W., 2005, Struktura funkcjonalna geosystemu młodoglacjalnego na przykładzie dorzecza Borucinki, praca doktorska wykonana w Uniwersytecie Gdańskim w Katedrze Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska, Gdańsk (<http://www.wgstr.uw.edu.pl/pub/uploads/pis05/pis36/08staszek.pdf>), 6.11.2011
- 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, 355 s.

### Summary

The aim of the study is to examine the relationship between the amount of precipitation reaching the surface of the Borucinka river basin, which is a typical example of the agriculture catchment, and the volume of the water outflow in the river in the hydrological year 2010. Additional goals include characterization of the rain flooding and river outflow and analysis of precipitation, water levels and discharges of the Borucinka river. The work is based on the results of the project „Innovative economy sewage - sludge for non-urbanized areas” performed by the Department of Hydrology at the University of Gdansk. Detailed hydrographic mapping was performed in April and August 2010. Measurements of atmospheric precipitation were carried out with the daily frequency, using automatic meteorological station Vantage Pro2 from Davis Instruments. Measurements of water levels at a frequency of one hour was obtained from gauges belonging to Limnological Station of the University of Gdansk and located about 250 m upstream from the river mouth to the Raduńskie Górne Lake. River discharge was measured with a use of an electromagnetic flowmeter of Vallepport. The amount of precipitation reaching the ground surface in the Borucinka catchment area has a clear impact on hydrological conditions of the river.

The stream density of the Borucinka river network changes depending on the dry and wet seasons. In the dry season part of the water bodies and some of the Borucinka tributaries do not function. In the wet season, streams develop to their maximum lengths and greater number of water reservoirs are observed. River discharge significantly increases a day after the onset of the precipitation event. Occurrences of floods also correlate with increased precipitation. High water of March was caused by the snow melt, and the high water of September was a direct result of heavy precipitation. The water recharge of the river is dominated by the underground flow (76%), so most of atmospheric precipitation infiltrates into the ground and later recharges the Borucinka river network..