

## WPŁYW INTENSYWNYCH OPADÓW DESZCZU NA WYMYWANIE SUBSTANCJI BIOGENNYCH ZE ZLEWNI ROLNICZEJ

Małgorzata Krasowska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, e-mail: m.krasowska@pb.edu.pl

### STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów wielkości opadów atmosferycznych, natężenia przepływu oraz stężenia azotanów, fosforanów i jonów amonowych w wodach niewielkiego ciek w krajobrazie rolniczym w okolicach Białegostoku. Stwierdzono, że występowanie gwałtownych opadów deszczu może przyczynić się do pogorszenia jakości wód ciek w krajobrazie rolniczym. Stężenie substancji rozpuszczonych rośnie w trakcie zwiększonego natężenia przepływu wody w ciek, a maleje w trakcie niskich stanów wody. Podczas półrocza letniego w 2009 r. wody niewielkiego ciek transportowały około 365 kg ładunku azotanów, 12 kg jonów amonowych i około 5 kg fosforanów. Natomiast w roku 2010 w miesiącach maj – wrzesień, w wodzie ciek odnotowano około 1139 kg ładunku azotanów, 8 kg jonów amonowych i około 19 kg fosforanów. W związku z tym wezbrania wywołane opadami deszczu są okresem intensywnego wymywania biogenów.

**Słowa kluczowe:** substancje biogenne, wezbrania opadowe, zlewnia rolnicza.

### EFFECT OF INTENSE PRECIPITATION ON THE LEACHING OF BIOGENIC COMPOUNDS FROM AGRICULTURAL CATCHMENT

#### ABSTRACT

Studies on the influence of hydrological and meteorological events to leaching of  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  were carried out in the years 2009 and 2010, in a small agricultural catchment near Białystok. The results of measurements of weather conditions, rate of flow and chemical composition of the flow were presented in the work. It was found that a sudden rainfall is a critical period for courses in the agricultural landscape. The concentration of dissolved substances increases during the increased flow of water in the watercourse, whereas it decreases during the low water levels. In the year 2009, during the summer of a small stream of water transported about 365 kg load of nitrate, 12 kg of ammonium ions and about 5 kg of phosphate. However, in the year 2010 in the months of May – September, approximately 1139 kg load of nitrate, 8 kg of ammonium ions and about 19 kg of phosphate. Therefore, the flooding caused by pouring rains is a period of intense leaching of  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{PO}_4^{3-}$ .

**Keywords:** biogenic compounds, flood runoff, agricultural catchment.

#### WSTĘP

Rzeki stanowią nieodłączny element krajobrazu kształtowanego przez człowieka oraz odgrywają ważną rolę w jego gospodarce [Jekatierynczuk-Rudczyk i in., 2006]. Zasób wód i ich jakość zależy od ukształtowania terenu, przepuszczalności gleb, sposobu gospodarowania, stosunków wodnych, a jednym z najważniejszych czynników są warunki klimatyczne [Koc i in., 2003; Oenema i Roest, 1998]. Wydawać się może, iż w obliczu zmian klimatu warunki pogo-

dowe są najważniejsze [Bates i in., 2008]. Modele przyszyłych warunków klimatycznych wskazują na istotne zmiany w temperaturze i opadach deszczu. Wiele wskazuje na to, że klimat ostatniego stulecia zmienił się wyraźnie i że zmiany te będą postępować w czasie. Międzyrządowy Panel ds. Zmian Klimatu ocenia, że w ciągu XX wieku średnia globalna temperatura powietrza wzrosła o około 0,6 °C ( $\pm 0,2$  °C) a w następnym stuleciu nastąpi dalszy jej wzrost o około 1,4–5,8 °C [IPCC 2007]. Prognozy dla wschodniej i środkowej Europy przywidują wzrost temperatury od 3

do 5 °C. Sądzi się, że ociepleniu będzie towarzyszył wzrost sumy opadów. Zgodnie z wynikami Globalnych Modeli Cyrkulacji Atmosferycznej i Oceanicznej ważnym elementem ocieplenia klimatu będzie zwiększenie intensywności obiegu wody w przyrodzie, czego skutkiem może być częstsze występowanie intensywnych opadów atmosferycznych [Frey i in., 2000]. Zwiększenie częstotliwości deszczów nawalnych jest prognozowane nawet w przypadku, gdy ocieplenie klimatu może doprowadzić do zmniejszenia sumy opadów i niedoborów wody w sezonie letnim, czego efektem mogą być przedłużające się susze [Senior i in., 2002]. Intensywny opad na głębę o zmniejszonej w wyniku przesuszenia infiltracji, może skutkować wzrostem znaczenia spływu powierzchniowego, szybszym obiegiem wody w zlewni, czego efektem może być zwiększenie częstotliwości wezbrań [Kysely i Beranová, 2008]. W związku z tym zmiany klimatyczne będą impulsem do wzmożonej denudacji chemicznej i wymywania ze zlewni łatwo rozpuszczalnych związków organicznych i chemicznych [Scholz i in., 2007]. Natężenie migracji może okazać się większe niż dotychczas nie tylko z powodu zmian hydrologicznych, ale także ze względu na zwiększenie się glebowej puli mobilnych związków nagromadzonych w wyniku zaburzeń biologicznych w ekosystemach [Curtis i Simpson, 2007].

W czasie intensywnych opadów deszczu w wyniku których dochodzi do wezbrań opadowych, występuje wzmożone wymywanie składników biogennych, co prowadzi w konsekwencji do zanieczyszczenia wód powierzchniowych [Gromiec i Dojlido, 2006; Banaszuk, 2007; Grygorczuk-Petersons, 2008]. W związku z tym, autorzy postawili sobie za cel określenie wpływu intensywnych opadów deszczu na wymywanie substancji biogennych z małej zlewni rolniczej.

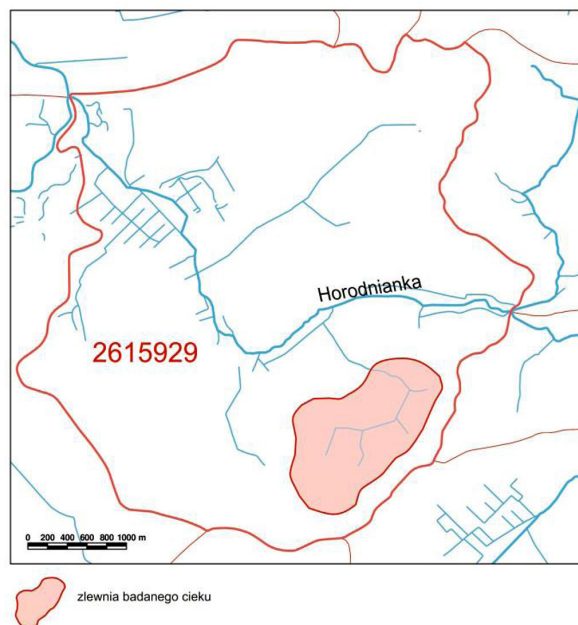
## TEREN BADAŃ

Pod względem administracyjnym teren badań położony jest w północno-wschodniej części Polski, w województwie podlaskim, w gminie Choroszcz, która jest obszarem typowo rolniczym. Sieć hydrograficzna tego terenu jest dobrze rozwinięta, a głównym jej elementem jest rzeka Narrew. Do innych większych cieków należą: rzeka Supraśl, Horodnianka (z licznymi dopływami), Czaplina [Banaszuk i in., 1996].

Prace badawcze prowadzono w części zlewni lewostronnego dopływu Horodnianki (rys. 1).

Powierzchnia zlewni wynosi 187 ha, a jej wysokości bezwzględne zmieniają się od 144 do 118 m n.p.m. Dominującym sposobem użytkowania terenu jest stosunkowo mało intensywne rolnictwo. Grunty orne zajmują około 75% obszaru zlewni (141 ha). Trwałe użytki zielone są w przewadze zlokalizowane w dolinie cieku i występują na 16% powierzchni zlewni. Lasy, głównie drobnowierzchniowe nasadzenia sosnowe i niewielkie kępy olsów zajmują zaledwie 3,5% (6,5 ha), a tereny zabudowane i nieużytki rolne 5,5 % powierzchni. Na przeważającej części zlewni występuje falista i pagórkowata morena denną. Na jej obszarze przeważają średnio głębokie piaski gliniaste i słabo gliniaste zalegające na glinach oraz miejscami gliny lekkie i średnie. Wykształciły się z nich głównie gleby brunatne oraz płowe. Na utworach zwięźlejszych powstały czarne ziemie. Na najwyższych wzniesieniach w zlewni występują utwory lżejsze, piaski słabogliniaste podścielone piaskami luźnymi i żwirami, z których wykształciły się gleby rdzawe. Płytkie utwory deluwialne, silnie zmurszałe torfy i miejscami muły występują w obniżeniach terenu i dnie doliny cieku.

W podziale województwa na krainy klimatyczne, analizowany teren zaliczany jest do Krainy Wysoczyzn Północnopodlaskich. Wiosna, zaczyna się tu później niż w głębi kraju i dłużej występują przymrozki wiosenne. Obszar



**Rys. 1.** Fragment zlewni cieku na tle zlewni Horodnianki od dopływu z Łysiek do ujścia  
**Fig. 1.** The stream catchment fragment on the background of the catchment Horodnianka from Łyski inflow to the issue

ten, charakteryzuje się krótkim okresem wegetacji, wynoszącym około 190 dni. Pierwsze przymrozki pojawiają się w pierwszej dekadzie października, a ostatnie w pierwszej dekadzie maja. Okres bezprzymrozkowy trwa średnio 155 dni, zaś pokrywa śnieżna zalega około 95 dni. Średnia roczna temperatura powietrza atmosferycznego, waha się w granicach od 6,9 do 7,2 °C. Najchłodniejszym miesiącem jest styczeń. Średnia miesięczna temperatura stycznia wynosi ok. -4,8°C. Najcieplejszym miesiącem jest lipiec, ze średnią miesięczną ok. 17,3°C [Górniak, 2000]. W województwie podlaskim 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 (1971); 10–45 mm·h<sup>-1</sup>) i nawalne (45–120 mm·h<sup>-1</sup>) występują od kwietnia do października, z maksimum w czerwcu [Górniak, 2000].

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Prace terenowe i laboratoryjne prowadzono od stycznia 2009 do grudnia 2010 roku. Obejmowały one między innymi pomiary wysokości opadów deszczu i temperatury powietrza za pomocą stacji pogodowej Davis Vantage Pro2, zainstalowanej na terenie analizowanej zlewni w odległości około 800 m od przekroju badawczego. Stany wody w cieku rejestrowano co 30 minut za pomocą miernika CTD Diver, a następnie przeliczano na wartości przepływu na podstawie krzywej przepływu sporządzonej dla monitorowanego przekroju. Próbkę wody z cieku do analiz laboratoryjnych pobierano średnio raz w tygodniu, natomiast intensywniejsze – codzienne badania składu chemicznego prowadzono podczas wezbrań opadowych w okresie letnim. Badania laboratoryjne obejmowały spektrofotometrycz-

ne oznaczanie stężenia wybranych jonów: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.

Ładunki jonów w odpływie rzeczny w ciągu całego roku hydrologicznego oraz w poszczególnych miesiącach półrocza letniego obliczono za pomocą wzoru:

$$I_k(j) = \sum_{i=1}^k \frac{\Delta t_i [c_i(j)Q_i + c_{i+1}(j)Q_{i+1}]}{2}$$

gdzie:  $I_k(j)$  – skumulowany ładunek składnika  $j$  w przedziale czasu  $k$ ,

$\Delta t_i$  – interwał czasowy między pomiarami  $i$  oraz  $i+1$ ,

$c_i(j)$  – chwilowe stężenie składnika  $j$ , w chwili  $i$ ,

$Q_i$  – chwilowe natężenie przepływu w chwili  $i$  [House i in. 2001].

Siłę związku pomiędzy sumą opadów a natężeniem przepływów obliczono za pomocą współczynnika korelacji Pearsona [Łomnicki, 1999].

## WYNIKI BADAŃ

### Warunki klimatyczne

Suma opadów atmosferycznych wynosiła 595 mm w roku 2009 oraz 700 mm w 2010 r. (tab. 1), podczas którego zanotowano aż 216 dni z opadem, a maksymalny dobowy opad wynosił około 50 mm (13 lipca).

W latach 2009 i 2010 miesiącami o najintensywniejszych opadach były maj, czerwiec, lipiec, sierpień, oraz w 2009 r. październik, a w 2010 r., dodatkowo wrzesień i listopad. Znaczne różnice pomiędzy ilością miesięcznych opadów w poszczególnych latach zaobserwowano w czerwcu i wrześniu. Opady deszczu w półroczach letnich, stanowiły około 70% rocznych opadów.

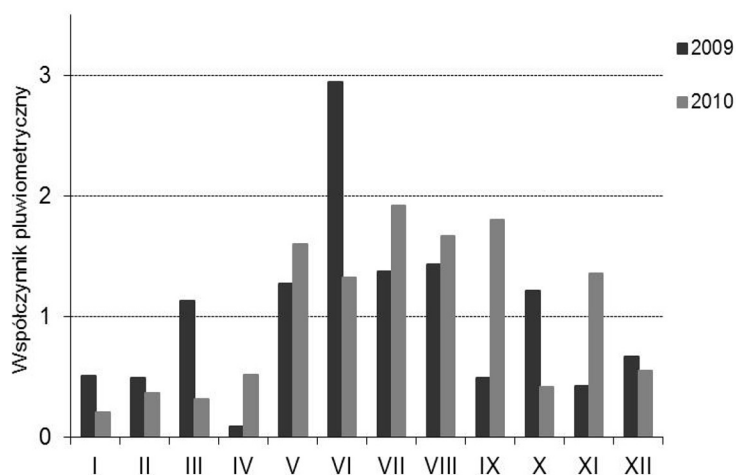
Istotne zróżnicowanie pomiędzy poszczególnymi miesiącami potwierdza analiza rozkładu opadów w ciągu roku (rys. 2).

Dynamikę opadów w ciągu roku najlepiej oddaje współczynnik pluwiometryczny, którego wartość zbliżona do 1 (w zakresie 0,5–1,5) oznacza sumę miesięczną opadu równą 1/12 sumy

**Tabela 1.** Miesięczne i roczne sumy opadów w latach 2009 i 2010

**Table 1.** Monthly and yearly sums of precipitation in 2009 and 2010

Rok	Suma opadów [mm]												Rok
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2009	25	24	56	4	63	146	68	71	24	60	21	33	595
2010	12	21	18	30	93	77	112	97	105	24	79	32	700



**Rys. 2.** Rozkład współczynnika pluwiometrycznego w okresie obserwacji  
**Fig. 2.** Distribution of pluviometric coefficient during the observation period

rocznej, co świadczy o braku zróżnicowania w skali roku. Ponad przeciętne sumy opadów w 2009 r. zanotowano w miesiącach: czerwiec, sierpień, a w 2010 r. w maju, lipcu, sierpniu i wrześniu. Natomiast niedoborem opadów charakteryzowały się przede wszystkim miesiące zimowe, jednak rozkład współczynnika pluwiometrycznego kształtował się różnie w zależności od badanego roku. Ponadto znacznym niedoborem opadów charakteryzował się kwiecień 2009 roku, kiedy odnotowano zaledwie 4 mm opadu w ciągu miesiąca.

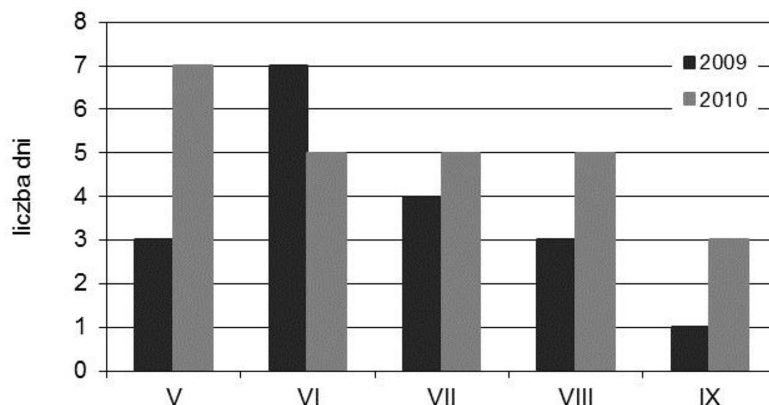
Według klasyfikacji opadów [Kupczyk, 1997] ze względu na natężenie najczęściej występowały deszcze umiarkowane ( $4,0-0,5 \text{ mm h}^{-1}$ ) oraz słabe ( $<0,5 \text{ mm h}^{-1}$ ). Natomiast według skali Chomicza (1971) dominowały deszcze zwykłe. Deszcze o natężeniu silnym ( $5-10 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ) i ulewnym ( $10-45 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ) występowały w miesiącach letnich z różną częstotliwością. Najwięcej, bo aż 16 deszczy o natężeniu silnym stwierdzono w 2010

r. Deszcze ulewne występowały dwukrotnie w lipcu 2009 r. i w sierpniu 2010 r.

Zarówno w roku 2009 i 2010 wystąpiły pojedyncze epizody intensywnego opadu deszczu rejestrowanego w ciągu 30 minut. Maksymalne wartości (11,4 mm) zanotowano 23 czerwca 2009 roku oraz 18 lipca 2010 roku (11,6 mm). Intensywne opady podczas których natężenie opadu wynosiło ponad  $4 \text{ mm h}^{-1}$  występowały znacznie częściej w 2010 roku (rys.3).

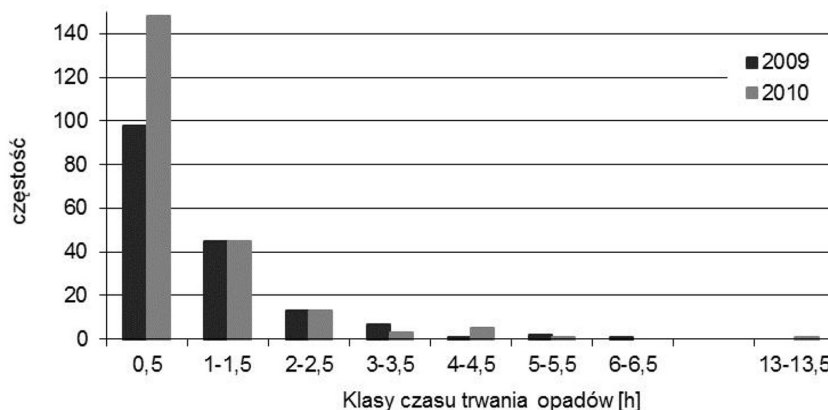
Na przykładzie rozkładu częstości zdarzeń opadowych w wydzielonych klasach czasu trwania opadu, stwierdzono, że najliczniejszą grupę stanowiły opady o czasie trwania do 30 minut (rys. 4).

W roku 2010 takich opadów było znacznie więcej (148) niż w 2009 roku (98). Częstość zmniejszała się w kolejnych przedziałach. Opadów deszczu trwających od 4 do 4,5 godzin było więcej w roku 2010. Ponadto stwierdzono poje-



**Rys. 3.** Liczba dni, w których zanotowano intensywne opady deszczu oraz ulewy (powyżej  $4 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  według klasyfikacji opadów Sumera [1988])

**Fig. 3.** Number of days on which there was heavy and torrential rain (greater than  $4 \text{ mm h}^{-1}$  according to the Sumer's classification of precipitation [1988])



Rys. 4. Częstość występowania opadów atmosferycznych w zależności od czasu trwania epizodu opadowego w latach 2009 i 2010

Fig. 4. The incidence of precipitation depending on the duration of the episode of precipitation in the years 2009 and 2010

dynczy przypadek wystąpienia opadu trwającego ponad 13 godzin, podczas którego spadło 36,8 mm deszczu (1-2.09.2010).

Na podstawie przeprowadzonej charakterystyki opadów atmosferycznych, do analizy wpływu opadów deszczu na wymywanie substancji biogenych ze zlewni wybrano miesiące maj-wrzesień.

### Przebieg zjawisk hydrologicznych

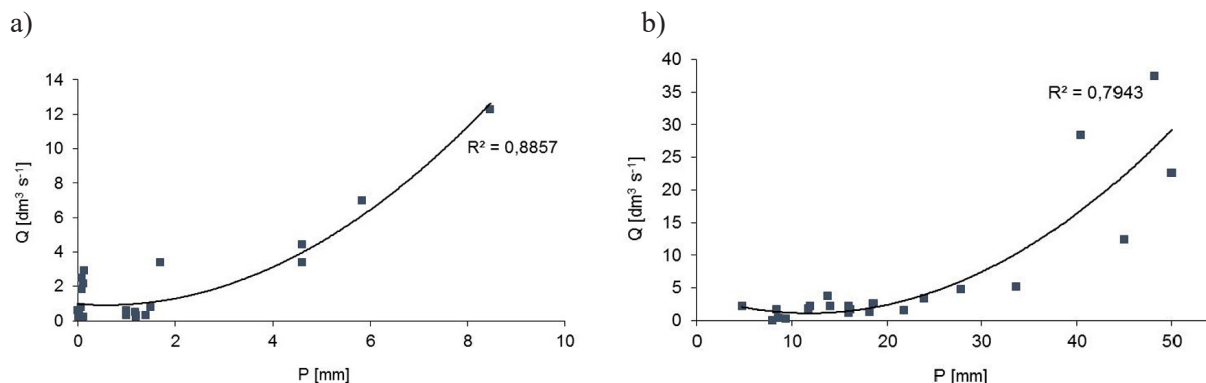
Średnie wartości przepływu wody w cieku były zmienne w czasie i zależne od uwilgotnienia zlewni, na co miały wpływ opady deszczu (rys. 5).

W czerwcu 2009 roku nastąpił gwałtowny wzrost przepływu wody w cieku, którego średnia dobowa wartość wynosiła  $12,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , natomiast we wrześniu odnotowano minimalną wartość  $Q$  równą  $0,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Zupełnie inaczej kształtowało się natężenie przepływu w roku 2010. W czerwcu wartość  $Q$  była najmniejsza. Natomiast w pierw-

szych dniach września, zaobserwowano gwałtowny wzrost natężenia przepływu, który wystąpił po ulewnych opadach deszczu.

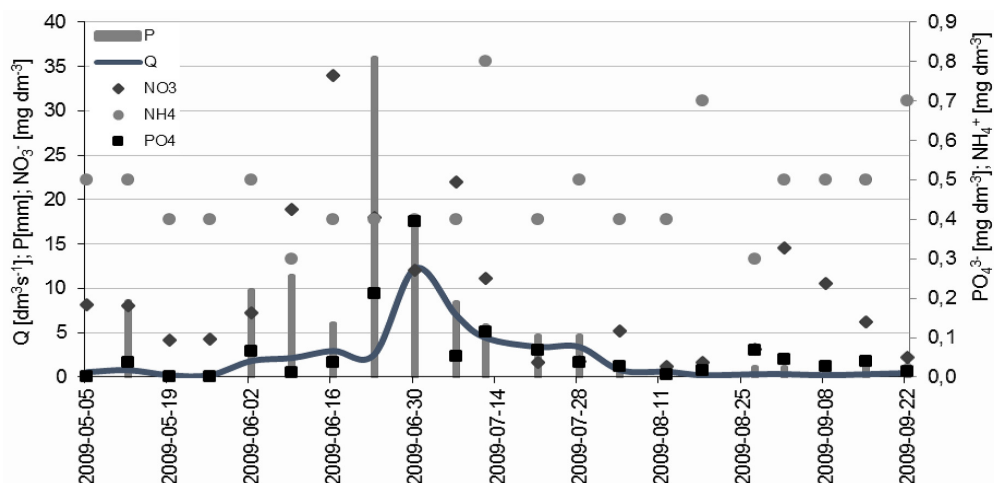
### Dynamika substancji biogenych wymywanych ze zlewni

Stężenie substancji biogenych w wodach cieką była zmienna (rys. 6 i 7). Stwierdzono, że średnie stężenie azotanów, jonów amonowych i fosforanów w wodach cieką było większe w roku 2010 (tab. 2 i 3). W roku 2009 i 2010 stężenie substancji rozpuszczonych, głównie azotanów i fosforanów, rosło w trakcie wezbrań opadowych. Największą dynamiką odznaczała się zawartość azotanów. W roku 2009 maksymalne stężenie azotanów stwierdzono 16 czerwca (tuż przed wezbraniem opadowym), natomiast zawartość jonów amonowych było największe 12 lipca (po wezbraniu opadowym). Podczas zwiększonego przepływu stężenie fosforanów wynosiło około



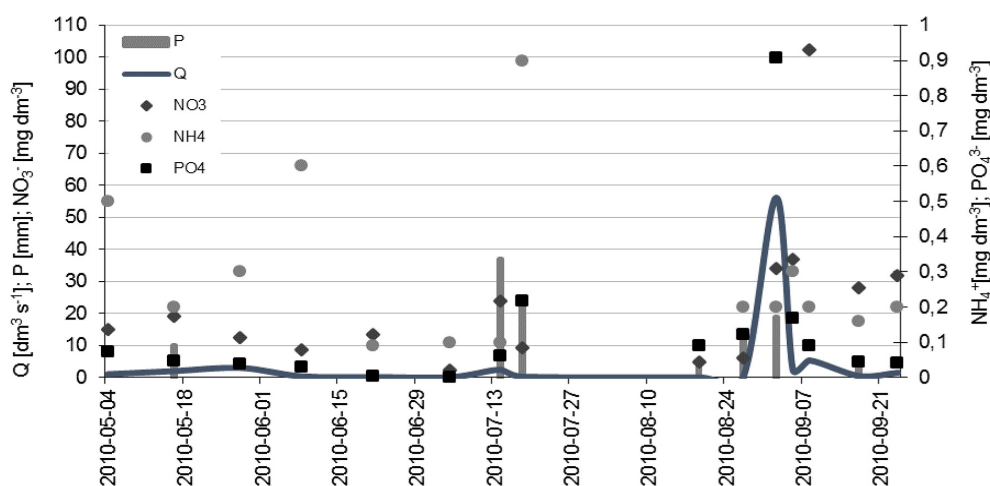
Rys. 5. Zależność między opadem deszczu (P) i natężeniem przepływu wody w cieku (Q) w miesiącach letnich: a) w 2009 roku, b) w 2010 rok

Fig. 5. The relationship between precipitation (P) and stream discharge (Q) in the summer months: a) in 2009, b) in 2010



Rys. 6. Dynamika zawartości substancji biogenych w wodzie cieką na tle wielkości przepływu (Q) i opadów deszczu (P) w okresie od maja do września 2009 r.

Fig. 6. The dynamics of the content of biogenic substances in the streamwater on the background stream discharge (Q) and precipitation (P) in the period from May to September 2009



Rys. 7. Dynamika zawartości substancji biogenych w wodzie cieką na tle wielkości przepływu (Q) i opadów deszczu (P) w okresie od maja do września 2010 r.

Fig. 7. The dynamics of the content of biogenic substances in the stream water on the background stream discharge (Q) and precipitation (P) in the period from May to September 2010

**Tabela 2.** Statystyki parametrów chemicznych w wodach cieką oraz natężenia przepływu Q podczas deszczowych i bezdeszczowych dni w miesiącach maj-wrzesień w 2009 roku (liczba prób n=21; SD – odchylenie standardowe)  
**Table 2.** Statistics of chemical properties of stream water and stream discharge Q during rainy and rainless days in 2009 (number of samples n=21; SD – standard deviation)

Parametr	Wartość			SD
	Min.	Max.	Średnia	
dni z opadem				
Q [dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	1,8	12,3	4,7	7,4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	1,7	34,0	13,2	22,8
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	0,4	0,8	0,5	0,3
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	0,03	0,4	0,1	0,3
dni bez opadu				
Q [dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	0,2	0,8	0,4	0,4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	1,2	14,6	5,7	9,5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	0,7	0,3	0,5	0,3
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	0,0	0,07	0,03	0,05

**Tabela 3.** Statystyki parametrów chemicznych w wodach cieką oraz natężenia przepływu Q podczas deszczowych i bezdeszczowych dni w miesiącach maj-wrzesień w 2010 roku (liczba prób n=21; SD – odchylenie standardowe)  
**Table 3.** Statistics of chemical properties of stream water and stream discharge Q during rainy and rainless days in 2010 (number of samples n=21; SD – standard deviation)

Parametr	Wartość			SD
	Min.	Max.	Średnia	
dni z opadem				
Q [dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	0,2	225,0	5,9	159,1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	14,9	102,0	35,7	61,6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	0,2	0,5	0,3	0,2
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	0,04	0,9	0,2	0,6
dni bez opadu				
Q [dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	0,02	12,3	2,5	8,7
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	2,4	13,3	7,4	7,7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	0,05	0,9	0,3	0,6
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> [mg·dm <sup>-3</sup> ]	0,0	0,2	0,07	0,1

0,4 mg dm<sup>-3</sup>, natomiast podczas niżówek zawartość tych jonów była bliska 0.

W 2010 roku zawartość substancji biogenych wzrastała w trakcie zwiększonego przepływu wody w cieką. Maksymalne stężenie azotanów zaobserwowano 15 września, natomiast najmniejsze 7 lipca, w trakcie niskich stanów wody. Stężenie jonów amonowych było zmienne w czasie i największą wartość osiągnęło 21 lipca, w trakcie zwiększonego natężenia przepływu wywołanego opadem deszczu. Natomiast największe stężenie PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> odnotowano 1 września, podczas intensywnych opadów deszczu.

Ilość składników biogenych transportowanych przez cieką w okresie badań była większa w roku 2010 (tab. 4). W roku 2009 wzrost ładunku NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> i PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> w wodach cieką nastąpił na przełomie czerwca i lipca. W tych miesiącach za-

obserwowano, że wody cieką transportują około 9% rocznego ładunku azotanów, około 22% jonów amonowych i 26% fosforanów. W roku 2010 stwierdzono zwiększone ładunki substancji biogenych na przełomie sierpnia i września, po intensywnych opadach deszczu. W miesiącach tych wody cieką transportowały około 22% rocznego ładunku azotanów, około 10% jonów amonowych i 47% fosforanów.

## DYSKUSJA

Z przeprowadzonych badań wynika, że podczas opadów deszczu ilość substancji biogenych wmywanych ze zlewni rolniczej jest zmienna i zależy od intensywności i czasu ich trwania [Sojka i in., 2008; Popek i in., 2014]. W wyni-

**Tabela 4.** Ładunki składników rozpuszczonych transportowanych przez cieką od maja do września w latach 2009 i 2010  
**Table 4.** Loads of solutes in stream outflow from May to September the years 2009 and 2010

	Rok		Miesiące					Roczna suma [kg]
			V	VI	VII	VIII	IX	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2009	kg	10,3	278,3	66,7	4,1	5,4	3847,2
		%	0,3	7,2	1,7	0,1	0,1	
	2010	kg	87,7	4,4	37,7	413,0	651,0	4926,7
		%	1,8	0,1	0,8	8,4	13,2	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2009	kg	0,7	6,5	4,3	0,4	0,6	49,5
		%	1,4	13,1	8,7	0,9	1,2	
	2010	kg	1,7	0,2	0,5	2,4	2,9	55,3
		%	3,1	0,3	1,0	4,4	5,2	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	2009	kg	0,05	3,9	0,6	0,03	0,02	17,4
		%	0,3	22,6	3,2	0,2	0,1	
	2010	kg	0,3	0,007	0,2	11,0	7,1	38,6
		%	0,7	0,02	0,5	28,6	18,5	

ku nawalnych opadów intensywnie zwiększa się przepływ wody w cieku i następuje wezbranie deszczowe [Pociask-Karteczka, 2006]. Horton wykazał, że nadmiar opadu jest wyłącznym źródłem odpływu powierzchniowego formującego wezbranie. W okresie tym dochodzi do intensywnego wymywania składników rozpuszczonych ze zlewni do cieku [Banaszuk, 2007; Grygorczuk-Petersons, 2008]. W związku z tym zwiększa się zagrożenie wystąpienia procesu eutrofizacji [Górniak i Zieliński, 1999].

W warunkach klimatu Polski półrocze letnie jest okresem występowania ulewnych opadów deszczu. Szczegółowe dane meteorologiczne wskazują, że w lipcu 2009 i we wrześniu w 2010 roku wystąpiły deszcze ulewne II stopnia. Pomimo, że miesiące letnie są okresem wzmożonego pobierania składników pokarmowych przez rośliny, to intensywne opady deszczu powodują wymywanie biogenów z terenu zlewni i szybki ich transport do cieku. Opady o dużym natężeniu, miały ogromny wpływ na dynamikę ilościową i jakościową wody w cieku. Podczas nagłych i intensywnych opadów deszczu, wody w cieku charakteryzowały się największą zmiennością. Reakcja cieku była błyskawiczna, zwiększał się przepływ, woda opadowa nie podlegała retencji, a składniki biogenne były wymywane ze zlewni. Powodowało to gwałtowny wzrost stężenia azotanów, jonów amonowych i fosforanów. Biorąc pod uwagę modele przyszłych warunków klimatycznych, które wskazują na istotne zmiany dotyczące wielkości i intensywności opadów deszczu [Frey i in., 2000], można wnioskować, że zjawiska ulewnych opadów będą powtarzać się coraz częściej.

Ładunki składników rozpuszczonych transportowanych przez wody cieku w półroczu letnim stanowiły w 2009 roku około 9% rocznego ładunku azotanów, 25% jonów amonowych i około 26% fosforanów. W roku 2010 w ciągu dwóch miesięcy (sierpień – wrzesień), podczas których notowane były intensywne i długotrwałe opady deszczu, ładunek substancji biogenych wymywanych ze zlewni stanowił około 22% rocznego ładunku w azotanów, około 7% – jonów amonowych i 47% – fosforanów. Ponadto stwierdzono, że w tym samym czasie w dwóch różnych latach wielkość ładunku substancji biogenych wymywanych ze zlewni może być bardzo zróżnicowana, a powodem tej zmienności są opady atmosferyczne.

Spośród analizowanych jonów, w okresie letnim, największy był udział ładunku fosforanów. Na podstawie badań prowadzonych w środko-

wej części Niziny Wielkopolsko-Kujawskiej, w zlewni Małej Wełny, stwierdzono wzrost udziału ładunku fosforanów z 6% w półroczu zimowym do 22% w półroczu letnim, w ogólnym ładunku biogenów wymywanych ze zlewni [Sojka i in., 2008]. Zmienna zawartość związków biogenych w wodach powierzchniowych, w miesiącach letnich, może wynikać z udziału organicznej frakcji. Ponadto związki te mogą być wymywane na skutek erozji gleb, w okresie intensywnych opadów deszczu [Yano i in., 2004], po których występują spływy powierzchniowe z pól uprawnych [Jaskóła i in., 2015]. W związku z tym, zwiększenie zawartości fosforanów w wodzie cieku w trakcie wezbrań opadowych tłumaczyć można erozją gleb. Również badania prowadzone w 2011 r. w zlewni Wielkiej Strugi i Jeziora Zdwojskiego wykazały maksymalną koncentrację fosforu ogólnego w okresie wezbrań opadowych w lipcu [Popek i in., 2014].

Podsumowując można stwierdzić, że zjawiska meteorologiczno-hydrologiczne powodują nie tylko straty materialne i ekonomiczne ale także przyrodnicze, ponieważ podczas wezbrań opadowych zanieczyszczenia obszarowe pochodzenia rolniczego szybko dostają się do wód cieku. Zwiększenie migracji substancji rozpuszczonych może okazać się większe niż dotychczas, ponieważ zmiany klimatyczne będą impulsem do wzmożonej denudacji chemicznej i wymywania ze zlewni łatwo rozpuszczalnych związków organicznych i chemicznych oraz zwiększenia natężenia erozji i przemieszczania związków chemicznych związanych z cząsteczkami gleby [Scholz i in., 2007].

## WNIOSKI

1. Wezbrania opadowe mogą być okresem krytycznym dla jakości wód cieku w krajobrazie rolniczym, ponieważ po intensywnych opadach deszczu następuje wzrost stężenia substancji biogenych.
2. W półroczu letnim wody niewielkiego cieku charakteryzują się znacznymi wahaniami składu chemicznego, powodem tego jest zmienność warunków atmosferycznych, a przede wszystkim występowanie ulewnych deszczy.
3. W okresie wezbrań opadowych, w półroczu letnim, wody cieku transportowały w roku 2009 około 365 kg ładunku azotanów, 12 kg jonów amonowych i około 5 kg fosforanów. Natomiast w roku 2010 w miesiącach maj –



wrzesień odnotowano około 1139 kg ładunku azotanów, 8 kg jonów amonowych i około 19 kg fosforanów. Przyczyn tej różnicy doszukiwać się można w większych opadach notowanych w 2010 roku.

### Podziękowania

Badania zostały przeprowadzone w ramach pracy statutowej Katedry Ochrony i Kształtowania Środowiska Politechniki Białostockiej (S/WBiIS/1/14).

### LITERATURA

- Banaszuk H., Banaszuk P., Kondratiuk P., 1996. Walory przyrodnicze gminy Choroszcz. W: Banaszuk H. (red.) Środowisko przyrodnicze północno-wschodniej Polski. Stan walory i zagrożenie wybranych ekosystemów. Wyd. PB, 9, 69–80.
- Banaszuk P., 2007. Wodna migracja składników rozpuszczonych do wód powierzchniowych w zlewni górnej Narwi. Wyd. Polit. Białost. Białystok, ss. 18.
- Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J.P., 2008. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ss. 214.
- Chomicz K., 1971. Struktura opadów atmosferycznych w Polsce. Prace PIHM, ss. 101.
- Curtis C., Simpson G., 2007. Freshwater Umbrella – The Effects of Nitrogen Deposition and Climate Change on Freshwaters in the UK. Report to DEFRA under Contract CPEA17, July 2007. ECRC Research Report No. 115, Environmental Change Research Centre, University College London, London, ss. 222.
- Frey C., Davies H.C., Gurtz J., Schär C. 2000. Climate dynamics and extreme precipitation and flood events in Central Europe. Integrated Assessment, 1, 4, 281–299.
- Górniak A., Zieliński P., 1999. Rozpuszczona materia organiczna w wodach rzek północno-wschodniej Polski. W: Ochrona zasobów jakości wód powierzchniowych i podziemnych. Wyd. Ekon. i Środ. Białystok, 127–123.
- Górniak A., 2000. Klimat województwa podlaskiego. IMiGW, Białystok, ss. 119.
- Gromiec M., Dojlido J., 2006. Zmiany jakości wody wybranych zbiorników wodnych. IMiGW, Warszawa.
- Grygorczuk-Petersons E.H., 2008. Wpływ opadów atmosferycznych na skład zbiornika wodnego Zarzeczan woj. podlaskie. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN Kraków Nr 5, 129–137.
- House W.A., Leach D.V., Armitage P.D., 2001. Study of dissolved silicon and nitrate dynamics in a freshwater stream. Water Res. 35, 11, 2749–2757.
- IPCC, 2007. Climate Change. Synthesis Report.
- Jaskuła J., Sojka M., Wicher-Dysarz J., 2015. Analiza tendencji zmian stanu fizykochemicznego wód rzeki Głównej. Inżynieria Ekologiczna 44, 154–161.
- Jekatierynczuk-Rudczyk E., Zieliński P., Górniak A., 2006. Stopień degradacji rzeki wiejskiej w bezpośrednim sąsiedztwie Białegostoku. Woda Środ. Obsz. Wiej. T. 6 z. 2(18), 143–153.
- Koc J., Szymczyk S., Cymes I., 2003. Odpływ substancji z gleb. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 493, 395–400.
- Kupczyk E. 1997. Opad na powierzchni ziemi. W: Soczyńska U. (red.) Hydrologia dynamiczna. PWN, 108–121.
- Kupczyk E., Suligowski R. 1997. Statystyczny opis struktury opadów atmosferycznych jako element wejścia do modeli hydrologicznych. W: Soczyńska U. (red.) Predykcja opadów i wezbrań o zadanym czasie powtarzalności. Warszawa, 21–86.
- Kyselý, J., Beranová, R., 2008. Climate-change effects on extreme precipitation in central Europe: uncertainties of scenarios based on regional climate models. Theoret. Appl. Climatol. 95, 3–4, 361–374.
- Łomnicki A., 1999. Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników. PWN Warszawa, ss. 261.
- 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.
- Pociask-Karteczka J., 2006. Zlewnia właściwości i procesy. Kraków: Wyd. UJ, 145–153.
- Popek Z., Wasilewicz M., Bańkowska A., Boczoń A., 2014. Sezonowa zmienność odpływu wody i ładunków biogenów ze zlewni Wielkiej Strugi do jeziora Zdworskiego. Monografie komitetu gospodarki wodnej PAN, z. XX, tom 2, 341–354.
- Scholz G., Quinton J.N., Strauss P. 2007. Soil erosion from sugar beet in Central Europe in response to climate change induced seasonal precipitation variations. Catena, 10.1016.
- Senior C.A., Jones R.G., Lowe J.A., Durman C.F., Hudson D. 2002. Predictions of extreme precipitation and sea-level rise under climate change. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 360, 1301–1311.
- Sojka M., Murat-Błażejewska S., Kanclerz J., 2008. Wymywanie związków azotu i fosforu ze zlewni rolniczej w zróżnicowanych okresach hydrometeorologicznych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych z. 526, 443–450.