

Krzysztof Pulikowski, Franciszek Czyżyk, Katarzyna Pawęska, Maria Strzelczyk

**SEZONOWE ZMIANY WIELKOŚCI ŁADUNKU AZOTU
ODPŁYWAJĄCEGO Z MIKROZLEWNI
UŻYTKOWANYCH ROLNICZO**

***SEASONAL CHANGES IN THE SIZE OF NITROGEN LOAD
OUTFLOWED FROM MICRO-CATCHMENTS USED
FOR AGRICULTURAL PURPOSES***

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań wielkości dobowego ładunku azotu ogólnego odpływającego systemami drenarskimi i rowami melioracyjnymi na Dolnym Śląsku. Wielkość dobowego ładunku wykazuje duże zróżnicowanie sezonowe. Maksymalne ładunki dobowe stwierdzano na obiekcie położonym w terenie podgórskim wynosiły one dla sieci drenarskiej $6,27 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$, dla rowu zanotowano aż $12,2 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zdecydowanie niższe wartości stwierdzono na obiekcie nizinym. W warunkach nizinnych zagrożenie zanieczyszczeniem wody odbiornika azotem odpływającym z użytków rolnych występuje głównie w okresie wczesno wiosennym. Na obiekcie położonym na przedgórzu, charakteryzującym się większymi opadami, występuje drugi okres krytyczny przypadający na lipiec i sierpień.

Ładunek azotu wynoszony ze zlewni pogórskiej w okresie roku to aż $75,5 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast ze zlewni nizinnej odpływało znacznie mniej azotu – $12,7 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Przeprowadzone badania i analiza jednoznacznie wskazują, że o wielkości ładunku azotu wynoszonego ze zlewni w znacznym stopniu decyduje przebieg warunków atmosferycznych, a zwłaszcza wysokość opadów.

Słowa kluczowe: zlewnia, woda, azot, ładunek

Summary

The paper presents the results of the survey of the daily load of total nitrogen outflowed with drainage system and ditches in Lower Silesia.

The volume of daily load shows large seasonal variation. The maximum daily loads were found in object located in the submontane area. These loads amounted for the drainage systems $6,27 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ and for the ditches were noted until $12,2 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$. Significantly lower values were found in the lowland object. In lowland area, risk of polluting the receiver with total nitrogen effluents from agricultural areas, occurs mainly during early spring. At the object located in the submontane area, which is characterized by greater rainfall, there is a second critical period attributable to the July and August. Load of nitrogen outflowed from submontane catchment during the year was $75,5 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, while from lowland's catchment outflowed much less nitrogen – $12,7 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Conducted research and analysis clearly show, that the size of nitrogen load outflowed from catchment is determined, to a large extent, the course of weather conditions, particularly amount of rainfall.

Key words: catchment, water, nitrogen, load

WSTĘP

Dbłość o zachowanie wysokiej jakości zasobów wodnych jest jednym w ważniejszych zadań, jakie stoją przed współczesnymi społeczeństwami. Ważną rolę w tym procesie odgrywa działalność rolnicza, która w roku 2009 obejmowała swoim oddziaływaniem 51,6% powierzchni naszego kraju [Ochrona Środowiska 2010]. Jednocześnie produkcja rolnicza jest znaczącym konsumentem wody wysokiej jakości. W związku ze wzrostem populacji ludności, zwiększeniem dochodów, a co za tym idzie zmianą diety należy się liczyć z tym, że zapotrzebowanie na wodę wykorzystaną do nawodnień w przyszłości będzie systematycznie wzrastać, a jej brak może stanowić ważną barierę wzrostu produkcji żywności [De Fraiture, Wichelns 2010].

W wielu przypadkach rolnictwo jest postrzegane jako jedna z głównych przyczyn zanieczyszczenia wód. Główne zagrożenie ze strony rolnictwa związane jest ze wzrostem stężenia związków azotu w wodach odpływających ze zlewni użytkowanych rolniczo [Grazhdani i in. 1996, Hus, Pulikowski 2011]. O wadze problemu świadczą działania podjęte na forum UE, przejawiające się uchwaleniem odpowiednich przepisów mających m. in. przeciwdziałać nadmiernemu odpływowi azotu, ze źródeł rolniczych [Dyrektywa... 1991, Dyrektywa... 2000]. Obecnie prowadzi się wiele prac mających na celu określenia wpływu poszczególnych czynników na zmiany jakości wody w zlewniach użytkowanych rolniczo [Czaban 2009]. Czynnikiemami decydującymi o odpływie zanieczyszczeń z użytków rolnych jest sposób ich użytkowania i prowadzenia produkcji rolniczej [Koc 1998, Rode i in. 2009], wyposażenie w urządzenia melioracyjne [Koc i in. 2007] oraz parametry techniczne tych urządzeń [Breve i in. 1998, Kostrzewa i in. 1999].

Precyzyjne określenie udziału rolnictwa w obniżaniu jakości zasobów wodnych jest nieco utrudnione ponieważ na jakość wód znaczący wpływ ma również nieuporządkowana gospodarka ściekowa na terenach wiejskich [Durkowski, Woroniecki 2001, Jarvie i in. 2010].

Oddzielne zagadnienie stanowi sezonowość występowania zagrożeń bezpośrednio związanych z polową produkcją rolniczą [Pulikowski i in. 2005, Jarvie i in. 2010].

Celem pracy jest analiza zmian dobowych ładunków azotu ogólnego oddziałujących z małych zlewni użytkowanych rolniczo na przestrzeni trzech kolejnych lat hydrologicznych.

METODYKA BADAŃ I CHARAKTERYSTYKA OBIEKTÓW BADAWCZYCH

Badania prowadzono na dwóch obiektach położonych na Dolnym Śląsku – Stare Bogaczowice i Szewce, w latach hydrologicznych 1999-2000, 2000/2001 oraz 2001/2002.

Obiekt badawczy Stare Bogaczowice znajduje się na pograniczu Pogórza Bolkowsko-Wałbrzyskiego i Gór Wałbrzyskich i stanowi zlewnię o łącznej powierzchni 29 ha. Są to grunty orne wraz z drogą dojazdową i rowami melioracyjnymi. Około 50% powierzchni tej zlewni (14,5 ha) zajmują pola orne odwadniane za pomocą drenowania - łącznie pięć działów drenarskich o powierzchni od 1,08 do 8,85 ha. Drenowanie jest wykonane z normatywną rozstawą drenów wynoszącą –11 m (działy 1, 2, 5), natomiast w działach 3 i 4 zastosowano rozstawę podwójną – 22 m [Pulikowski 2004].

Na obiekcie występują gleby o składzie granulometrycznym glin średnich i ciężkich z dużą zawartością szkieletu. Profile glebowe są płytkie, sięgają do 1,2 m, zalegają na rumoszu skalnym. Roczna suma opadów w wielolecia (1972-1991) wynosi 655 mm. Kolejne lata badawcze charakteryzowały się wyższymi opadami i sumy roczne wynosiły w kolejnych latach: 738, 874 i 1044 mm. Tak wysoka suma opadów stwierdzona w ostatnim roku wynika z rekordowego opadu jaki miał miejsce w dniu 31 sierpnia 2002, kiedy w ciągu doby spadło aż 178,6 mm [Pulikowski 2004].

Obiekt Szewce leży na Nizinie Śląskiej, na północny-zachód od Wrocławia. Zlewnia objęta badaniami położona jest na wysokości 114 – 132 m n.p.m. Są to grunty orne o powierzchni 100,7 ha, z których prawie 40% jest odwadniane za pomocą drenowania wykonanego w roku 1973 - dział 1÷4. Rozstawa drenowania wynosi 20 m, głębokość założenia sączków około 1,0 m.

Na obiekcie występują gleby brunatne o składzie granulometrycznym glin lekkich i średnich, stwierdzono również gliny ciężkie i niewielkie ilości dobrze rozłożonych torfów. Profile glebowe są typowe i sięgają do 1,5 m [Pulikowski 2004].

Roczna suma opadów z wielolecia (1951-1980) dla tego obiektu wynosi 587 mm. W ciągu dwóch lat badań występowały opady zbliżone do średniej wieloletniej. Na uwagę zasługuje rok 2000/2001, w którym wystąpiły bardzo wysokie opady roczne wynoszące 714 mm. Spowodowały to między innymi opady, jakie wystąpiły w lipcu (170 mm), jak również we wrześniu (107 mm) [Pulikowski 2004].

Pomiary dobowych odpływów drenarskich (działy 1 i 3 w Bogaczowicach oraz 1 i 4 w Szewcach) wykonywano metodą naczynia podstawionego. Na rowach w każdym przekroju zamykającym zlewnię zainstalowano: trójkątny przelew Thomsona, łatę wodowskazową i limnigraf. W pierwszym roku badań dokonano bezpośrednich pomiarów przepływu na każdym stanowisku (25–30 pomiarów) i dla każdego z przelewów wyznaczono zależność $Q=f(h)$. Wodę do analiz pobierano z ww. wymienionych punktów przeciętnie raz w miesiącu. W ramach badań w Laboratorium Wód i Ścieków Instytutu Kształtowania i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu oznaczono azot: azotanowy, amonowy i organiczny (ze względu na śladowe ilości azotu azotynowego pominięto go w ogólnym bilansie azotu), stosując metody zalecane przez normy PN, PN-EN lub ISO.

Obliczenia ładunku odpływającego z poszczególnych działów drenarskich oraz z całych zlewni wykonano na podstawie codziennych pomiarów wielkości odpływu i okresowych analiz składu odpływającej wody. Dla okresów pomiędzy kolejnymi terminami wykonywania analiz chemicznych stężenia wyznaczono za pomocą interpolacji liniowej:

$$L = \sum_{t=1}^{t=T} (\bar{Q}_t \cdot C_t^I)$$

gdzie:

- L – ładunek zanieczyszczeń odpływający ze zlewni w czasie $T=365$ (366) dni – rok hydrologiczny, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$,
- C_t^I – oznaczona średnia dobowo wartość stężenia azotu ogólnego, dla dni z okresu między wykonaniem 2 kolejnych analiz wyznaczona za pomocą interpolacji liniowej, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
- \bar{Q}_t – dobowo wielkość natężenia odpływu, $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- t – kolejne doby.

WYNIKI I DYSKUSJA

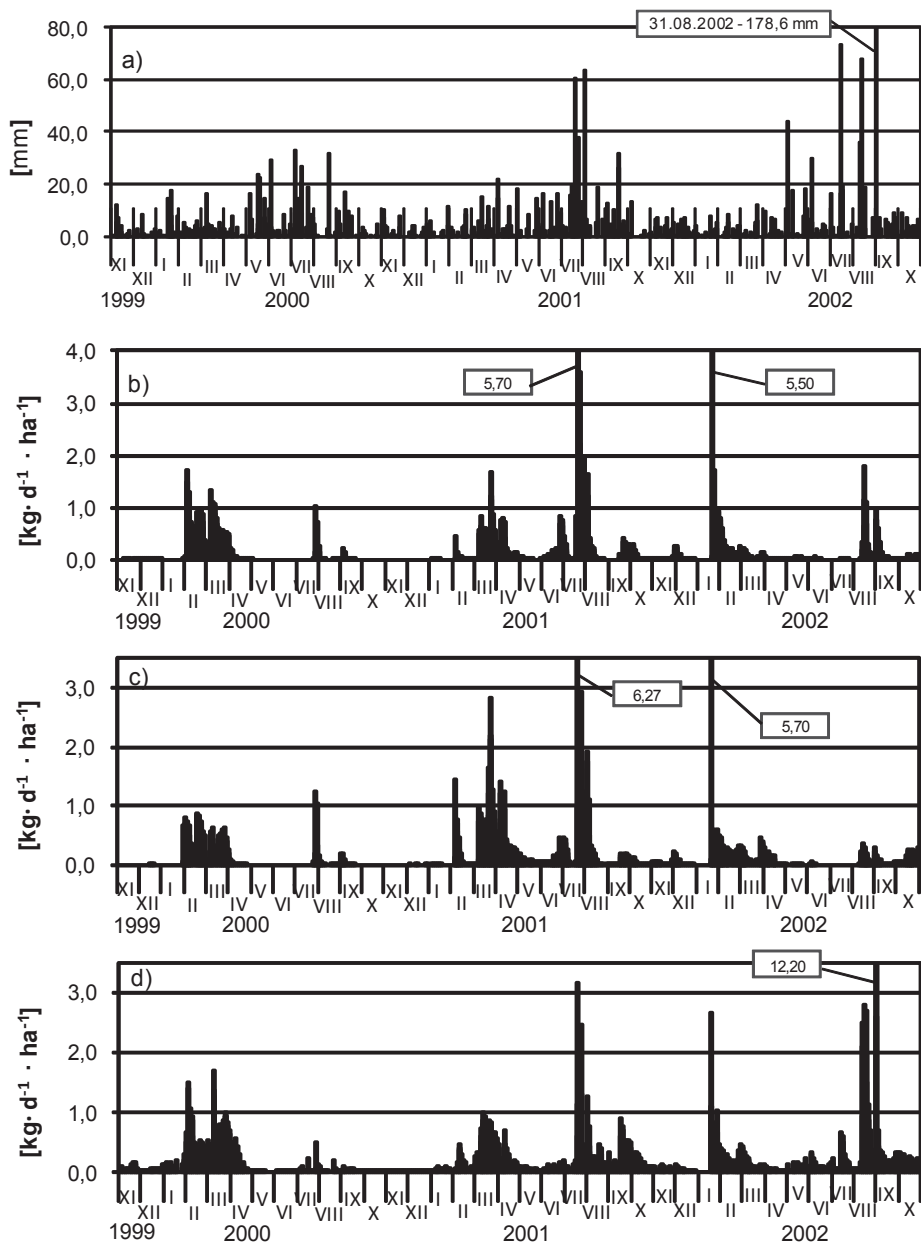
W większości publikacji dotyczących zarówno stężenia, jak i ładunku azotu w wodach odprowadzanych ze zlewni rolniczych podaje się wartości dotyczące roku lub rzadziej półroczy [Grazhdani i in. 1996, Pulikowski 2004, Czyżyk 2006]. Do pełnej analizy wpływu działalności rolniczej, oprócz wartości

rocznych czy okresowych, ważny jest również rozkład tych wartości na przestrzeni np. roku hydrologicznego. Wynika to z wielu powodów, w przypadku systemów drenarskich okres odprowadzania wody jest bardzo krótki, a ładunek roczny jest skumulowany w krótkich okresach. W przypadku systemów drenarskich stwierdzono, że w ciągu roku w warunkach nizinnych przy sumie opadów 550-600 mm systemy te odprowadzają wodę przez 50-100 dni, natomiast w latach mokrych (powyżej 800mm) okres z występowaniem odpływów wynosi 160-220 [Kostrzewa 1977]. Nieco dłuższe okresy występowania odpływów z sieci drenarskiej (180-240 dni w roku) stwierdzono na Przedgórzu Sudeckim [Pulikowski 2004], co jest między innymi związane z wyższymi sumami opadów występującymi na tym terenie.

Drugie ważne zagadnienie związane z odpływem związków azotowych, głównie azotanów, które stanowią do 80% ładunku azotu ogólnego, to sezonowa zmienność stężenia tej formy azotu w wodach odpływających ze zlewni rolniczych i leśnych. Maksymalne stężenia azotanów stwierdza się na przełomie lutego i marca, czyli przed rozpoczęciem prac agrotechnicznych, w okresie występowania największych odpływów, co sprzyja wynoszeniu azotanów z tych zlewni [Pulikowski i in. 2005]. Badania przeprowadzone w Wielkiej Brytanii potwierdzają występowanie maksymalnych stężeń azotanów w okresie wczesnowiosennym [Jarvie i in. 2010]. Analiza sezonowych stężeń zanieczyszczeń pochodzących z poszczególnych źródeł pozwala na hierarchizację źródeł, które w poszczególnych porach roku stwarzają ryzyko eutrofizacji [Jarvie i in. 2010].

Znacznym ważniejszym parametrem od stężenia jest ładunek azotu wynoszony ze zlewni np. w przeliczeniu na 1 ha jej powierzchni. Skoro odpływ i stężenie wykazuje dość istotne zmiany sezonowe, to tym bardziej ładunek, będący ich iloczynem, ma charakter sezonowy. Na rysunku 1 przedstawiono dobowe ładunki odpływające z dwóch działów drenarskich w Bogaczowicach (dział 1 położony w dolnej i dział 3 w środkowej części obiektu) oraz z całej zlewni wyznaczone dla przekroju zamykającego zlewnię, na tle opadów atmosferycznych. Analogicznie na rysunku 2 przedstawiono dwa działki: 1, położony w dolnej i 4 w górnej części obiektu Szewce oraz ładunek odpływający z całej zlewni o powierzchni 100,7 ha.

Ładunki dobowe wykazują bardzo dużą i powtarzalną zmienność sezonową. Na obu obiektach można wydzielić okresy wzmożonego odpływu azotu z systemów drenarskich przypadające na okres wiosennych roztopów obejmujących miesiące od lutego do kwietnia. W przypadku obiektu nizinnego dobowe ładunki tylko nieznacznie przekraczały w tych okresach $2,0 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ (rys. 2.), natomiast na obiekcie wyżynnym były zdecydowanie wyższe. Maksymalny ładunek w okresie wczesno-wiosennym w Bogaczowicach stwierdzono w dziale 1 w dniu 22 stycznia 2002 r. i wynosił on aż $5,70 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ (rys. 1). Spowodowane to było gwałtownym ociepleniem – temperatura powietrza w tym okresie dochodziła nawet do 10°C .

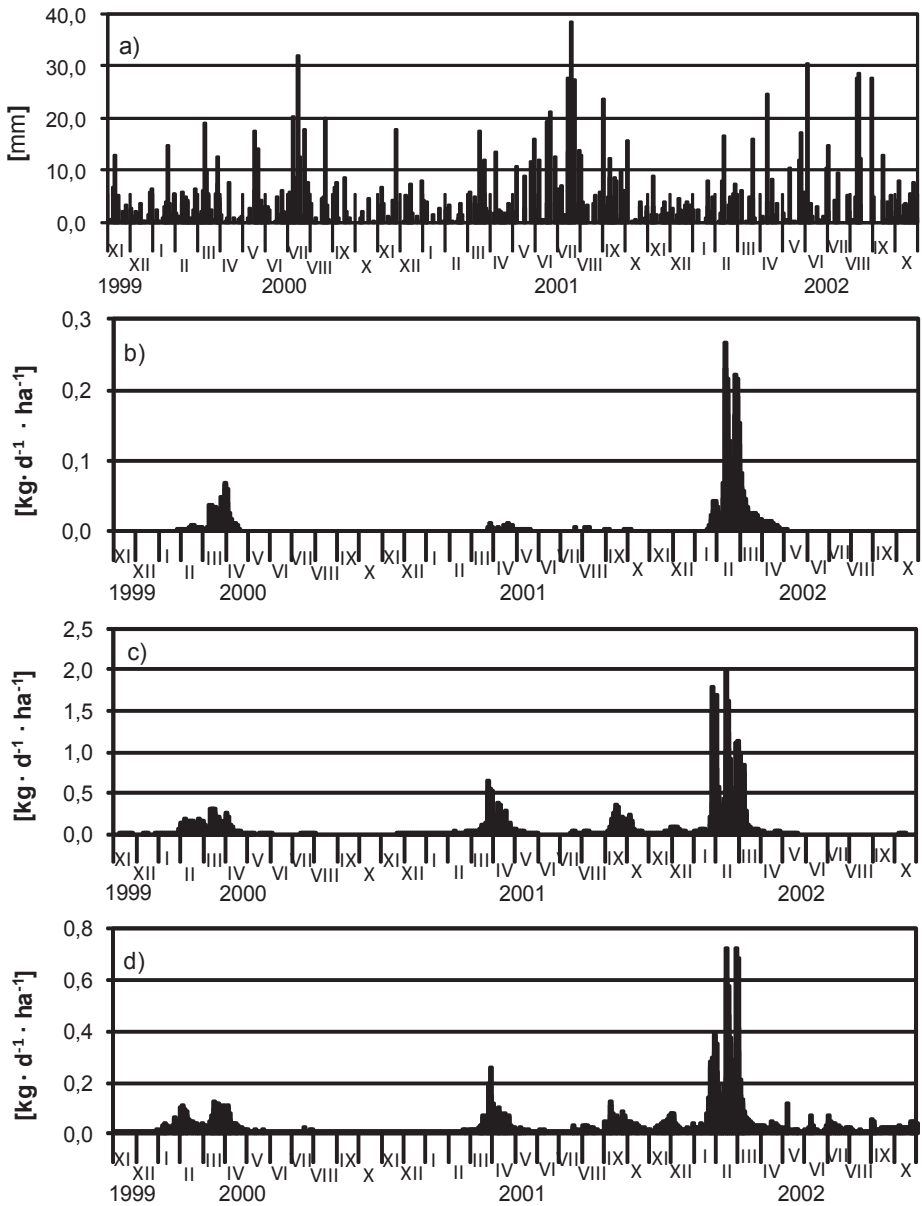


Rysunek 1. Dobowe sumy opadów (a), ładunki azotu odpływające: z działu 3 (b), z działu 1 (c) z całej zlewni (d) w Bogaczowicach
Figure 1. Daily sums of rainfall (a), loads of nitrogen outflowing from: section 3 (a), section 1 (c), catchment (d) in Bogaczowice

Nieco odmienna sytuacja wstępuje na tych obiektach w okresie letnim. W Bogaczowicach regularnie po wysokich opadach w lipcu i sierpniu pojawia się odpływ powodujący wynoszenie azotu. W tym okresie zanotowano maksymalny ładunek dobowy odpływający systemem drenarskim wynoszący $6,27 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ (rys. 1). Na drugim obiekcie odpływ azotu systemami drenarskimi w okresie letnim wystąpił tylko w 2001 roku. Okres ten charakteryzował się wyjątkowo wysokimi opadami a dobowy ładunek azotu nie przekraczał $0,5 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$. Na uwagę zasługuje wyjątkowo duży ładunek azotu odpływający wczesną wiosną w Szewcach w ostatnim roku badań, co jest wynikiem nagromadzenia dużej ilości wody w profilu glebowym w bardzo mokrym roku hydrologicznym 2000/2001.

Ładunki azotu odpływające z całych zlewni są dość dokładnym odzwierciedleniem ładunków stwierdzanych w odniesieniu do odpływu z sieci drenarskiej. Największa masa azotu odpływa w okresach wczesnowiosennych, a ładunki dobowe w Szewcach dochodzą do $0,8 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast w Bogaczowicach do $3 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$. Niezależnie od tego, wartości maksymalne na tym obiekcie wstąpiły w lecie. Rekordowo wysoki wynik $12,20 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ stwierdzono w dniu 30 sierpnia 2002, kiedy to spadło aż 178,6 mm deszczu (rys. 1). Tylko w przypadku tego zdarzenia nie występuje bezpośredni związek wielkości ładunku odprowadzanego systemem drenarskim z ładunkiem odpływającym z całej zlewni. Wynika to z tego, że tak nawalny deszcz wywołał silny spływ powierzchniowy, a ilość wody, która dotarła do drenów była niewspółmiernie mała do tej, jaka spadła w postaci deszczu.

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują na dużą sezonowość odpływu azotu ze zlewni użytkowanych rolniczo. W warunkach nizinnych zagrożenie występuje w okresie wczesno wiosennym. Na obiekcie położonym na przedgórzu, charakteryzującym się większymi opadami, występuje drugi okres krytyczny przypadający na lipiec i sierpień. Znaczenie tego okresu jest dość duże, ponieważ wtedy wysokie opady trafiają do profilu glebowego, w którym występują korzystne warunki dla procesu nitrifikacji, przy jednoczesnym ograniczeniu intensywności poboru tego składnika przez dojrzewające rośliny np. zbożowe. To zjawisko ma potwierdzenie w odnotowywanych w tym okresie pojedynczych, wysokich stężeniach azotanów w wodach odpływających ze zlewni rolniczych [Pulikowski i in. 2005, Jarvie 2010].



Rysunek 2. Dobowe sumy opadów (a), ładunki azotu odpływające: z działu 4 (b), z działu 1 (c) z całej zlewni (d) w Szewcach
Figure 2. Daily sums of rainfall (a), loads of nitrogen outflowing from: section 4 (b), section 1 (c), catchment (d) in Szewce

Dość duże ładunki dobowe spowodowały, że sumaryczne ładunki azotu odpływające systemami drenarskich i rowami na przestrzeni całego roku hydrologicznego osiągały znaczne wartości. Na obiekcie Bogaczowice ładunki odprowadzane z obu działów były zbliżone i zawierały się w przedziale 33,9-72,5 kg N · ha⁻¹, średnio w okresie 12 miesięcy z działu pierwszego odpływało 52,7 kg N · ha⁻¹, a z działu drugiego - 54,6 kg N · ha⁻¹ (tab. 1). Zdecydowanie niższe i bardziej zróżnicowane wartości uzyskano na drugim obiekcie, gdzie z działu pierwszego odpływało średnio 24,6 kg N · ha⁻¹, natomiast z działu 4, położonego w górnej części obiektu zaledwie 2,3 kg N · ha⁻¹. Generalnie badania wykazują, że stosowanie odwodnienia za pomocą drenowania przyczynia się do zwiększenia wynoszonego ładunku azotu, ale jednocześnie tak duże zróżnicowanie pomiędzy obiektami, jak i na jednym obiekcie, nakazuje zachowanie dużej ostrożności przy szacowaniu ładunku azotu wynoszonego ze zlewni rolniczej przy niedostatecznej ilości danych pomiarowych.

Tabela 1. Roczne ładunki azotu ogólnego (N), kg · ha⁻¹
Table 1. Yearly loads of total nitrogen (N), kg · ha⁻¹

Rok hydrologiczny Hydrological year	Bogaczowice			Szewce		
	Dział 1 Section 1	Dział 3 Section 3	Rów Ditch	Dział 1 Section 1	Dział 4 Section 4	Rów Ditch
1999/2000	33,9	45,6	58,2	11,6	1,4	7,5
2000/2001	86,0	72,5	73,1	19,1	0,5	9,2
2001/2002	38,2	45,6	95,1	43,0	5,0	21,5
Średnio- Mean	52,7	54,6	75,5	24,6	2,3	12,7

Ładunek azotu wynoszony z całej zlewni pogórskiej w okresie roku to aż 75,5 kg N · ha⁻¹. Świadczy to o znacznym udziale spływu powierzchniowego (zlewnia o dużych spadkach) w kształtowaniu ładunku azotu odpływającego z tej zlewni. Ze zlewni nizinnej odpływało znacznie mniej azotu – 12,7 kg N · ha⁻¹ (tab. 1), co odpowiada średniej wartości uzyskanej dla obu działów, a więc można wnioskować, że w tej zlewni o wielkości ładunku decyduje ilość azotu odprowadzana przez system drenarski. Tak duże dysproporcje uzyskane pomiędzy zlewnią niziną a podgórską są spowodowane znacznie wyższymi opadami w Bogaczowicach, a co za tym idzie większym odpływem jednostkowym, który w znacznej mierze decyduje o wielkości ładunku odpływającego ze zlewni [Pulikowski 2004]. Wartości uzyskane w Szewcach znajdują potwierdzenie w literaturze, bardzo zbliżone wartości ładunku azotu odprowadzanego systemami drenarskimi oraz rowami ze zlewni użytkowanych rolniczo uzyskano w analogicznych warunkach metrologicznych Pojezierza Olsztyńskiego [Koc i in. 2007; Szymczyk 2010]. Znacznie wyższe wartości uzyskane warunkach obiektu pogórskiego, o znacząco wyższych opadach, również nie odbiegają od wartości podawanych w literaturze. W zlewni o opadach od 790 do 970 mm stwierdzono ładunek azotu w przedziale 38-64 kg · ha⁻¹ [Gentry i in. 1998].

WNIOSKI

1. Wielkość dobowego ładunku opływającego systemami drenarskimi i rowami wykazuje duże zróżnicowanie sezonowe. Maksymalne ładunki dobowe stwierdzano na obiekcie położonym w terenie podgórskim wynosiły one dla sieci drenarskiej $6,27 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$, dla rowu zanotowano aż $12,20 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$.

2. Zarówno w przypadku systemów drenarskich, jak i rowów stwierdzono, że główna masa azotu odpływa w okresie wczesno-wiosennym (luty-kwiecień). Na obiekcie o wyższych opadach regularnie pojawia się drugi wzmożony okres wymywania związków azotu i przypada na okres wysokich opadów letnich (lipiec-sierpień). Na obiekcie nizinnym w okresie letnim wzmożone wynoszenie azotu występuje nieregularnie.

3. Obliczone ładunki azotu dla poszczególnych obiektów zasadniczo się różniły, na obiekcie o zdecydowanie wyższych opadach stwierdzono ładunki azotu czterokrotnie większe w odniesieniu do systemów i prawie sześciokrotnie w przypadku całej zlewni.

4. Przeprowadzone badania i analiza jednoznacznie wskazują, że o wielkości ładunku azotu wynoszonego ze zlewni w znacznym stopniu decyduje przebieg warunków atmosferycznych, a zwłaszcza wysokość opadów.

5. Ocena wpływu ładunku azotu odpływającego z użytków rolnych na jakość wód powierzchniowych wymaga uwzględnienia sezonowości oddziaływania tego źródła na zanieczyszczenie wód związkami azotu.

BIBLIOGRAFIA

- Brevé M.A., Skaggs R.W., Parsons J. E., Gilliam J.W. 1998. *Using the DRAINMOD-N model to study effects of drainage system design and management on crop productivity, profitability and $\text{NO}_3\text{-N}$ losses in drainage water*. Agricultural Water Management 35: 227-243.
- Czaban S. [red.]. 2009. *Assessment of anthropogenic impacts on water bodies in agricultural catchment*. Monografia, seria Współczesne Problemy Inżynierii Środowiska nr 15, Wyd. UP we Wrocławiu: 80.
- Czyżyk F. *Azotany w wodach powierzchniowych na terenie wieloletniego nawożenia gleb ciężkich gnojowicą*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., Warszawa 513: 73-79.
- De Fraiture Ch., Wichelns D. 2010. *Satisfying future water demands for agriculture*. Agricultural Water Management Volume: 97, Issue: 4, April, 2010: 502-511.
- Durkowski T., Woroniecki T. 2001. *Jakość wód powierzchniowych obszarów wiejskich Pomorza Zachodniego*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., Warszawa 476: 365-371.
- Dyrektywa Rady z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (91/676/EWG). Dz. U. UE L z dnia 31 grudnia 1991 r.
- Dyrektywa 2000/60/We Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. Dz. U. UE L z dnia 22 grudnia 2000 r.
- Gentry L.E., David M.B., Smith K.M., Kovacic D.A. 1998. *Nitrogen cycling and tile drainage nitrate loss a corn/soybean watershed*. Agriculture, Ecosystems and Environment 68: 85-97.

- Grazhdani S., Jacquin F., Sulce S. 1996. *Effect of subsurface drainage on nutrient pollution of surface waters in south eastern Albania*. The Science of the Total Environment, 191: 15-21.
- Hus T., Pulikowski K. 2011. *Content of nitrogen compounds in waters flowing out of small agricultural catchments*. Polish J. of Environ. Stud. Vol. 20, No. 4 (2011): 895-902.
- Jarvie H.P., Withers P.J.A., Bowes M.J., Palmer-Felgate E.J., Harper D.M., Wasiak K., Wasiak P., Hodgkinson R.A., Bates A., Stoate C., Neal M., Wickham H.D., Harman S.A., Armstrong L.K. 2010. *Streamwater phosphorus and nitrogen across a gradient in rural-agricultural land use intensity*. Agriculture, Ecosystems and Environment 135 (2010): 238–252.
- Koc J. 1998. *Wpływ intensywności użytkowania terenu na wielkość odpływu biogenów z obszarów rolniczych*. Roczn. AR w Poznaniu – CCCVII (1998), 52: 101-106.-695.
- Koc J. Solarski K, Rochwerger A. 2007. *Effect of land reclamation system on the volume and seasonality of nitrate runoff from croplands*. Journal of Elementology: 12(2): 121–133.
- Kostrzewa S. 1977. *Badania nad ustaleniem norm odpływu drenarskiego w terenach nizinnych południowo-zachodniej Polski*. Zesz. Nauk. AR Wroc., Rozprawy 3: 61.
- Kostrzewa S., Pulikowski K., Strzelczyk M. 1999. *Pipe drainage run-off in the Central Sudety in the period of 1991-1998*. Roczn. AR w Poznaniu – CCCX (1999): 179-189.
- Ochrona Środowiska. GUS 2010. http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/PUBL_se_ochrona_srodowiska_2010r.pdf
- Pulikowski K. 2004. *Zanieczyszczenia obszarowe w małych zlewniach rolniczych*. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, ser. Rozprawy CCXI, 479: 137.
- Pulikowski K., Paluch J., Paruch A., Kostrzewa S. 2005. *Okres pojawiania się maksymalnych stężeń azotanów w wodach powierzchniowych*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., Warszawa 505: 339-345.
- Rode M., Thiel E., Franko U., Wenk G., Hesser F. 2009. *Impact of selected agricultural management options on the reduction of nitrogen loads in three representative meso scale catchments in Central Germany*. Science of the Total Environment 407 (2009): 3459–3472.
- Szymczyk S. 2010. *Influence of the type of soil dewatering and land use on the dynamics of concentrations and volume of nitrogen discharged from agricultural areas*. Journal of Elementology: 15(1): 189–211.

Dr hab. inż. Krzysztof Pulikowski, prof. nadzw.
Dr inż. Katarzyna Pawęska
Instytut Inżynierii Środowiska
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław
tel. 71 320-55-31
krzysztof.pulikowski@up.wroc.pl

Prof. dr hab. inż. Franciszek Czyżyk
Dr inż. Maria Strzelczyk
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Fałentach
Dolnośląski Ośrodek Badawczy we Wrocławiu
ul. Berlinga 7, 51-209 Wrocław
tel. 71 367-80-92
m.strzelczyk@itep.edu.pl

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ryszard Ślizowski