

Krzysztof Pulikowski, Franciszek Czyżyk, Katarzyna Paweńska, Maria Strzelczyk

**UDZIAŁ AZOTU AZOTANOWEGO
W OGÓLNEJ ZAWARTOŚCI AZOTU
W WODACH ODPLYWAJĄCYCH ZE ZLEWNI
UŻYTKOWANYCH ROLNICZO**

**PARTICIPATION OF NITRATE NITROGEN
IN TOTAL NITROGEN CONTENT IN WATERS
OUTFLOWING FROM CATCHMENT
WITH AGRICULTURAL USE**

Streszczenie

W pracy przeanalizowano wyniki badań zawartości azotu azotanowego i ogólnego w odciekach drenarskich i wodach powierzchniowych pochodzących z dwóch obiektów położonych na Dolnym Śląsku. Szczegółowej analizie poddano udział azotanów w ogólnej zawartości azotu. Ocieki drenarskie charakteryzowały się znaczną zawartością azotu ogólnego: średnie stężenie w okresie badawczym wynosiło od $22,4 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ do $36,9 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$. W odciekach drenarskich, pochodzących z różnych działów drenarskich, stosunek $\text{N-NO}_3\text{:N}$ nie wykazywał istotnych różnic i zawierał się w granicach 75-88%, mimo, że wody te różniły się istotnie zawartością azotu ogólnego i azotanowego. Odprowadzenie odcieków drenarskich zasobnych w związki azotowe na obu obiektach powodowało wzrost średnich stężeń azotu ogólnego w wodach powierzchniowych. W półroczu letnim wody te wykazywały mniejszy stosunek $\text{N-NO}_3\text{:N}$, co należy tłumaczyć intensywnym pobieraniem tego jonu przez rośliny w okresie wegetacji. Niezależnie od analizowanego półrocza wyższy udział azotanów stwierdzano w wodach poniżej obiektu. Jedynie w przypadku obiektu nizinnego różnice te były istotne dla poziomu istotności $p=0,05$. Mniejszy udział azotu azotanowego w ogólnej zawartości azotu w wodach powierzchniowych sprzyjał większym wahaniom stosunku $\text{N-NO}_3\text{:N}$.

Słowa kluczowe: woda, azot azotanowy, azot ogólny

Summary

In paper analyzed the results of research concerning nitrate and total nitrogen content in drainage effluents as well as surface water coming from facilities located in Lower Silesia area. Detailed analysis were made for participation of nitrate nitrogen in total nitrogen amount. Drainage effluents were characterized by significant content of total nitrogen: average concentration in research period amounted from $22,4 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^3$ to $36,9 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^3$. In drainage effluents, derived from different drainage section, relation $\text{N-NO}_3:\text{N}$ didn't show significant differences and was in the range 75-88%, despite the fact that this water differed significantly of total and nitrate nitrogen content. The increase of average concentration of total nitrogen in surface water for both research objects was cause by outflowing drainage effluents that were reached in nitrogen compounds. In drainage water in summer period showed smaller relation $\text{N-NO}_3:\text{N}$, what should be explain by intensive absorbing this ion by plants in vegetation period. Regardless of the analyzed period, there was found higher proportion of nitrate in water below research object. Only in case of lowland object these differences were significant for significant level $p=0,05$. The more fluctuation of relation N-NO_3 conduce smaller participation of nitrate nitrogen in total nitrogen amount in surface water.

Key words: water, nitrate nitrogen, total nitrogen

WSTĘP

Substancje znajdujące się w wodzie w znaczący sposób mogą ograniczać możliwości wykorzystania jej do różnych celów np. przemysłowych, rolniczych, rekreacyjnych itd. Źródła wszelkich domieszek możemy podzielić na dwie zasadnicze grupy: naturalne i antropogeniczne. Ta pierwsza grupa jest ściśle związana z budową ośrodka, w którym woda przebywa lub przez który przepływa i pozostaje poza zasięgiem naszego oddziaływania. W wielu przypadkach naturalne wzbogacanie wody w substancje mineralne jest zjawiskiem pożądanym i nadaje wodzie właściwości sprzyjające jej wykorzystaniu przez człowieka. Jako przykład można podać wzbogacanie wody związkami wapnia i magnezu, co pozwala wykorzystać ją jako źródło wody do picia, a wzrost zawartości żelaza, czy manganu czyni ją całkowicie nieużyteczną w tym aspekcie.

Znacznie większe znaczenie mają substancje wprowadzane w wyniku działalności człowieka. Główne źródła tych substancji związane są z przemysłem, gospodarką komunalną oraz intensywnym rolnictwem. Czynniki te mogą powodować wprowadzanie zupełnie nowych substancji, rzadko spotykanych w wodach naturalnych lub powszechnie występujących w wodzie, ale w bardzo dużych i niepożądanych stężeniach.

Działalność rolnicza jest postrzegana jako źródło wzrostu zawartości związków azotowych w wodach, zarówno podziemnych, jak i powierzchniowych. Wynika to ze stosowania nadmiernego nawożenia tym składnikiem.

W ogólnej masie związków azotowych szczególną uwagę zwraca się na zawartość formy azotanowej, która jako dobrze rozpuszczalna łatwo migruje wraz z wodą odpływającą z użytków rolnych [Pulikowski 2004, Czyżyk 2006, Hus, Pulikowski 2011]. Wynoszeniu związków azotu z gleb użytkowanych rolniczo sprzyja stosowanie odwodnienia za pomocą drenowania [Koc i in. 2007] i sposób prowadzenia produkcji rolniczej [Rode i in. 2009]. W zlewniach o znaczącym udziale użytków rolnych (ponad 60%) często głównym czynnikiem obniżającym jakość wody jest właśnie nadmierne stężenie azotu azotanowego [Judowa, Janský 2005]. Maksymalne stężenia azotanów w takich zlewniach obserwuje się w lutym i na początku marca [Pulikowski i in. 2005]. Ważnym aspektem jest monitorowanie jakości wody, w tym zawartości związków azotowych, w ciekach zasilających zbiorniki retencyjne [Kowalik i in. 2009; Kanownik, Rajda 2010]. Jeszcze większego znaczenia nabiera ochrona jakości wody w ciekach zasilających zbiorniki stanowiące źródło wody do picia dla dużych aglomeracji [Pawełek, Spytek 2008]. Ważny aspekt stanowią badania analizujące zmiany ładunków związków azotu wynikające ze zmian klimatycznych. Symulacje przeprowadzone dla Gór Izerskich jednoznacznie wskazują na możliwość zwiększania się odpływu azotanów, wynikającego ze wzrostu temperatury w zimie i zwiększeniu opadów w lecie [Martínková i in. 2011].

O wadze problemów wynikających z zanieczyszczenia wód związkami azotu odpływającymi ze zlewni użytkowanych rolniczo świadczy przyjęcie przez Radę Europy stosownej Dyrektywy [1991], jak również prowadzenie szeroko zakrojonych badań, mających na celu określenie udziału poszczególnych czynników w zanieczyszczeniu wody [Czaban i in. 2009] oraz modelowanie wielkości ładunku azotu [Amiri, Nakane 2009] odpływającego z takich zlewni. Obniżaniu jakości zasobów wodnych na terenach wiejskich, oprócz rolnictwa, sprzyja również nie w pełni uporządkowana gospodarka ściekowa [Durkowski, Woroniecki 2001, Jarvie i in. 2010].

Celem niniejszej pracy jest przeanalizowanie udziału azotanów w ogólnej zawartości związków azotowych w wodzie odpływającej z użytków rolnych w zależności od pory roku oraz wpływu odprowadzania odcieków drenarskich do rowów melioracyjnych na stosunek stężenia $N-NO_3:N$.

METODYKA BADAŃ I CHARAKTERYSTYKA OBIEKTÓW BADAWCZYCH

W pracy przeanalizowano wyniki 3-letnich (1999-2002) badań uzyskanych na dwóch obiektach położonych na Dolnym Śląsku : Stare Bogaczowice i Szewce. Obiekt badawczy Stare Bogaczowice znajduje się na pograniczu Pogórza Bolkowsko-Wałbrzyskiego i Gór Wałbrzyskich i stanowi zlewnię o łącznej powierzchni 29 ha. Około 50% powierzchni tej zlewni (14,5 ha) zajmują pola orne odwadniane za pomocą drenowania- łącznie pięć działów drenarskich; powierzchnia poszczególnych działów drenarskich waha się 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 płowe, 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 z 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. Wysoka suma opadów stwierdzona w ostatnim roku wynika z rekordowego opadu, jaki miał miejsce 31 sierpnia 2002, kiedy w ciągu doby spadło 178,6 mm [Pulikowski 2004]. W pracy analizowano skład odcieków drenarskich z działu 1 (B_dz1) i działu 4 (B_dz4) oraz wody z rowu melioracyjnego powyżej gruntów odwadnianych za pomocą drenowania (B_RA) i poniżej obiektu – B_RB.

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 odwadnianie za pomocą drenowania wykonanego w roku 1973 – działły 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 hydrologiczny 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]. Analizie podano skład odcieków drenarskich z działu 1 (SZ_dz1) i działu 4 (SZ_dz4) oraz wody z rowu melioracyjnego powyżej gruntów odwadnianych za pomocą drenowania (SZ_RA) i poniżej obiektu – SZ_RB.

Wodę do analiz pobierano z ww. punktów przeciętnie raz w miesiącu. W ramach badań w Laboratorium Wód i Ścieków Instytutu Kształtowania i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu stosując powszechnie zalecane metody oznaczano: azot azotanowy (metoda spektrofotometryczna z 2,6-dimetylofenlem), ogólny – wg Kjeldahla (mineralizacja z selenem) ze względu na śladowe ilości azotu azotynowego pominięto go w ogólnym bilansie azotu.

WYNIKI

Odcieki drenarskie charakteryzowały się znaczną zawartością azotu ogólnego, średnie stężenie w okresie badawczym wynosiło od $22,4 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ w dziale 1 w Bogaczowicach do $36,9 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ w dziale 4 w Szewcach

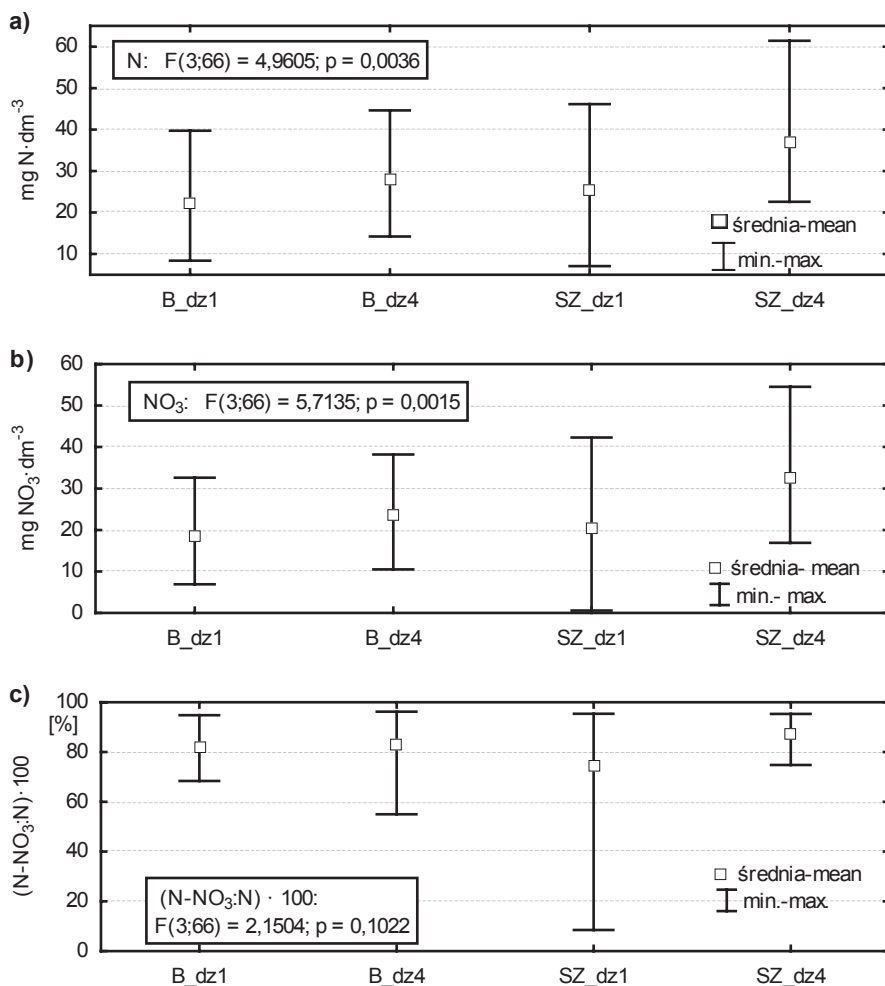
(tab. 1). Stężenie maksymalne przekroczyło $60 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$. Stężenie azotu azotanowego wykazało podobne tendencje i wynosiło odpowiednio od 18,4 do $32,5 \text{ mg N-NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$. Uzyskane wartości stężeń azotu azotanowego należą do typowych wartości podawanych w literaturze [Grazhani i n. 1996; Ng i in. 2002]. W celu porównania uzyskanych wyników przeprowadzono analizę wariancji (rys. 1). Uzyskane wyniki wskazują, że średnie wartości uzyskane dla czterech punktów pomiarowych różnią się istotnie, a poziom istotności $p < 0,01$.

Tabela 1. Stężenia azotu ogólnego oraz azotanowego w odciekach drenarskich i wodach powierzchniowych odpływających ze zlewni użytkowych rolniczo, $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$

Table 1. Concentrations of total nitrogen and nitrate nitrogen in drainage runoff and surface water run off from rural catchment areas, $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$

Obiekt Object	Azot ogólny (N) Total nitrogen (N)			Azot azotanowy (N-NO ₃) Nitrate nitrogen (N-NO ₃)			(N-NO ₃ :N) · 100 [%]		
	min.	max.	średnia mean	min.	max.	średnia mean	min.	max.	średnia mean
Bogaczowice									
dział 1- section 1 B dz1	8,4	39,7	22,4	6,9	32,6	18,4	68	95	82
dział 4 - section 4 B dz4	14,2	44,6	28,2	10,5	38,2	23,8	55	96	83
rów powyżej obiektu ditch above an object B RA	10,3	20,2	13,9	5,9	17,8	9,8	45	90	71
rów poniżej obiektu ditch below the object B RB	7,6	39,1	19,3	5,5	24,7	14,6	45	99	76
Szewce									
dział 1- section 1 SZ dz1	7,1	46,1	25,5	0,6	42,3	20,2	8	95	75
dział 4 - section 4 SZ dz4	22,6	61,4	36,9	16,9	54,5	32,5	75	95	88
rów powyżej obiektu ditch above an object SZ RA	3,5	31,1	8,6	0,1	29,1	3,0	1	94	26
rów poniżej obiektu ditch below the object SZ RB	1,7	27,3	12,0	0,1	24,3	7,0	3	92	46

Udział formy azotanowej w ogólnej zawartości azotu w odciekach drenarskich był wysoki i wynosił od 75 do 88%. O ile w Bogaczowicach dla obu działów uzyskano bardzo zbliżony wynik to na drugim obiekcie zróżnicowanie było znaczne (tab. 1).



Rysunek 1. Stężenia azotu ogólnego (a), azotanowego (b) i stosunek N-NO₃:N (c) w odciekach drenarskich

Figure 1. Total nitrogen concentrations (a), nitrate concentration (b) and relation N-NO₃:N in drainage effluents

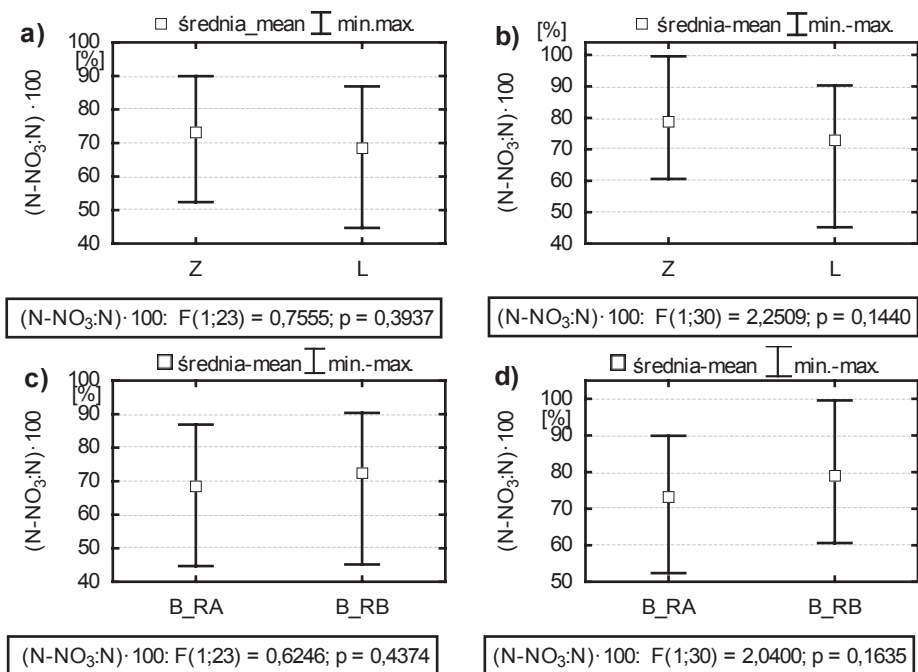
Pewnym zaskoczeniem jest wynik wariacji uzyskany dla procentowego udziału N-NO₃ w ogólnej zawartości azotu, analiza wariacji wykazała brak istotnych różnic ($p=0,10$) mimo, że takowe wystąpiły w odniesieniu do obu form azotu. Wynika z tego, że udział azotu azotanowego w całkowitej zawartości azotu w odciekach drenarskich jest stały i w niewielkiej mierze zależy od samej warto-

ści stężenia. Stwierdzono pewną prawidłowość: wyższe stężenia azotu azotanowego i jego udział w ogólnej zawartości azotu uzyskano w działach położonych w górnej części obiektu. Wynika to najprawdopodobniej ze zdecydowanie mniejszego odpływu jednostkowego w działach odwadniających górne partie obiektu [Pulikowski 2004], co przy jednakowej intensywności procesów nityfikacji prowadzi do uzyskiwania wyższych stężeń azotu azotanowego dla tych punktów pomiarowych. Przy niskiej intensywności przemywania profilu glebowego wodą przemieszczającą się w kierunku drenów ograniczeniu ulega masa wynoszonych innych form azotu, co przyczynia się do uzyskania w tych działach największej wartości stosunku $N-NO_3:N$. Zależność ta jest szczególnie widoczna dla obiektu nizinnego.

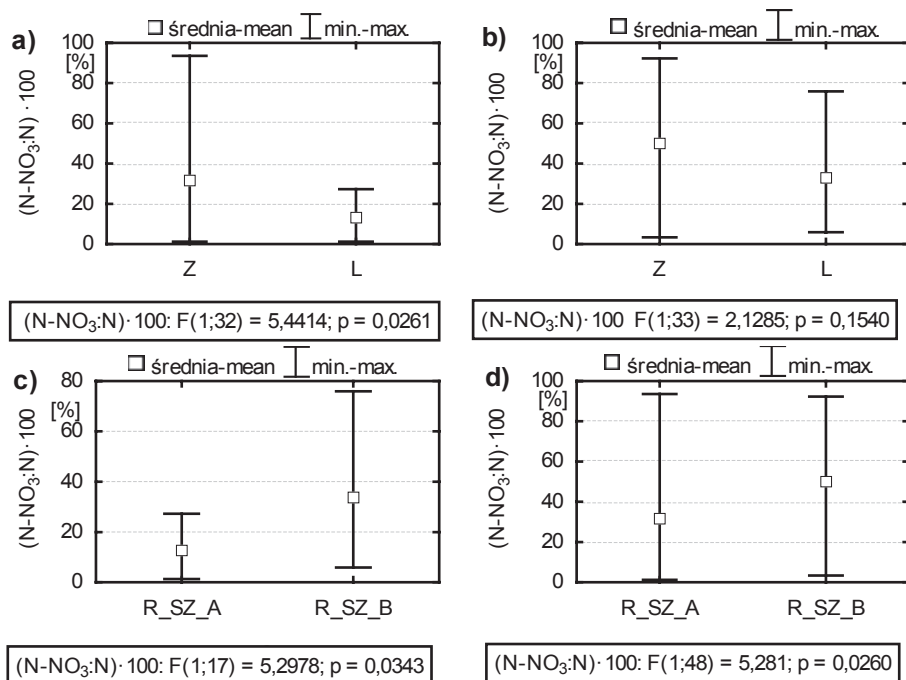
Wody powierzchniowe, zasilane odciekami drenarskimi, odprowadzane rowami melioracyjnymi z tych zlewni, również zawierały znaczne ilości związków azotowych. Odprowadzenie odcieków drenarskich zasobnych w związki azotowe w obu przypadkach powodowało wzrost średnich stężeń azotu ogólnego odpowiednio dla Bogaczowic z $13,9 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ w przekroju powyżej obiektu do $19,3 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ w przekroju poniżej obiektu i dla Szewc z $8,6 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ do $12,0 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ (tab. 1.). Dokładnym odzwierciedleniem tej tendencji były stężenia azotu azotanowego. Uzyskane stężenia azotu ogólnego były wysokie i świadczyły o dużym zanieczyszczeniu wód jego mineralnymi formami. Są to wartości wyższe od uzyskanych przez Durkowskiego i Woronieczkiego [2001] na Pomorzu Zachodnim i znacząco wyższe od tych jakie podaje Koc i współautorzy [2007] dla obiektu położonego na Pojezierzu Olsztyńskim.

Udział azotu azotanowego w ogólnej zawartości związków azotowych w wodach powierzchniowych przedstawiają rysunki 2 i 3. Na obiekcie nizinnym udział azotanów był zdecydowanie niższy niż w terenie podgórskim. Analizując wartości w półroczu zimowym (Z), obejmującym miesiące od listopada do kwietnia, oraz letnim (L), od maja do października, na obu obiektach stwierdzono podobne tendencje. Zarówno w przekroju powyżej, jak i poniżej obiektu niższy udział azotanów stwierdzono w okresie letnim, jednak tylko na obiekcie Szewce ta różnica była istotna dla $p=0,05$. Niższy udział azotanów w okresie letnim sugeruje, że intensywność pobierania tego jonu przez roślinny była wyższa od intensywności procesu nityfikacji. Szczególnie zaskakujący jest brak istotnych różnic w rowach poniżej obiektów (rys. 2b i 3b), ponieważ w półroczu zimowym powyżej przekrojów badawczych wprowadzane są odcieki drenarskie o znacznej zawartości azotanów. W dalszej kolejności porównano udział azotanów w rowach poniżej i powyżej obiektu, oddzielnie dla półroczu letniego (rys. 2c i 3c) oraz zimowego (rys. 2d i 3d). We wszystkich czterech przypadkach

stwierdzono identyczną tendencję, w przekroju poniżej obiektu udział azotanów w ogólnej masie związków azotowych był wyższy. Jednak tylko w przypadku obiektu Szewce uzyskano różnice statystycznie istotne – $p < 0,01$. Wynika to z tego, że na tym obiekcie udział azotu azotanowego w wodach powierzchniowych był zdecydowanie niższy w porównaniu z odciekami (tab. 1), więc wprowadzenie odcieków do rowu miało wpływ na wzrost udziału azotanów w wodzie odprowadzanej z całego obiektu do rowu. W przypadku drugiego obiektu azotany w wodach powierzchniowych i odciekach drenarskich stanowiły podobny odsetek ogólnej zawartości azotu.



Rysunek 2. Udział azotu azotanowego w ogólnej zawartości azotu w Bogaczowicach: w rowie powyżej obiektu (a), w rowie poniżej obiektu (b), w rowie powyżej i poniżej obiektu w półroczu letnim (c), w rowie powyżej i poniżej obiektu w półroczu zimowym (d)
Figure 2. Nitrate nitrogen participation in total nitrogen in Bogaczowice: in ditch above object (a), in ditch below object (b), in ditch above and below object in summer period (c), in ditch above and below object in winter period (d)



Rysunek 3. Udział azotu azotanowego w ogólnej zawartości azotu w Szewcach: w rowie powyżej obiektu (a), w rowie poniżej obiektu (b), w rowie powyżej i poniżej obiektu w półroczu letnim (c), w rowie powyżej i poniżej obiektu w półroczu zimowym (d)

Figure 3. Nitrate nitrogen participation in total nitrogen in Szewce: in ditch above object (a), in ditch below object (b), in ditch above and below object in summer period (c), in ditch above and below object in winter period (d).

WNIOSKI

1. Udział azotu azotanowego w ogólnej zawartości azotu w odciekach drenarskich pochodzących z różnych działów drenarskich nie wykazywał istotnych różnic i zawierał się w granicach 75-88%, mimo, że wody te różniły się istotnie zawartością azotu ogólnego i azotanowego.

2. Wody powierzchniowe wykazywały mniejszy stosunek N-NO₃:N w półroczu letnim, co należy tłumaczyć intensywnym pobieraniem tego jonu przez rośliny w okresie wegetacji.

3. Niezależnie od analizowanego półrocza wyższy udział azotanów stwierdzano w wodach pobieranych poniżej obiektu. Jedynie w przypadku obiektu nizinnego różnice te były istotne dla poziomu istotności p=0,05.

4. Mniejszy udział azotu azotanowego w ogólnej zawartości azotu w wodach powierzchniowych sprzyja większym wahaniom stosunku N-NO₃:N.

BIBLIOGRAFIA

- Amiri B.J., Nakane K. 2009. *Comparative prediction of stream water total nitrogen from land cover using artificial neural network and multiple linear regression approaches*, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 18, No 2 (2009): 151-160.
- 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.
- 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.
- Czyżyk F. 2006. *Azotany w wodach powierzchniowych na terenie wieloletniego nawożenia gleb ciężkich gnojowicą*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., Warszawa 513: 73-79
- 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 Journal of Environmental Study 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.
- Judová P., Janský B. 2005 *Water quality in rural areas of the Czech Republic: Key study Slapanka River catchment*. Limnologica 35 (2005) 160-168.
- Kanownik W., Rajda W. 2010. *Quality indices of waters flowing away from catchments of small retention reservoirs planned in the Krakow region*. EJPAU, Environmental Development, Volume 13, Issue 3: 1-16.
- Kowalik T., Kanownik W., Bogdał A., Ostrowski K., Rajda W. 2009. *Jakość i cechy użytkowe wody potoku Bąbola w aspekcie jej przyszłego magazynowania w zbiorniku retencyjnym*. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiecetus 8 (3-4) 2009. 17-23.
- 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.
- Martínková M., Hesse C, Krysanova V., Vetter T., Hanel M. 2011. *Potential impact of climate change on nitrate load from the Jizera catchment (Czech Republic)*. Physics and Chemistry of the Earth 36: 673-683.
- Ng H.Y.F., Tan C.S., Drury C.F., Gaynor J.D. 2002. *Controlled drainage and subirrigation influences tile nitrate loss and corn yields in sandy loam soil in Southwester Ontario*. Agriculture, Ecosystems and Environment 90: 81-88.
- Pawełek J., Spytek M. 2008. *Stężenie związków biogenych w wodzie potoków dopływających do zbiornika dobczyckiego*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 5: 179-190.
- 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.
- Pulikowski K., Orzepowski W., Pokładek R. 2011. *Water quality in agriculturally used catchments in Lower Silesia*. Monografia, seria Współczesne problemy inżynierii środowiska. Wyd. UP we Wrocławiu /w druku/.

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.

Dr hab. inż. Krzysztof Pulikowski, prof. nadzw.

Dr inż. Katarzyna Pawęska
Instytut Inżynierii Środowiska
Uniwersytet Przyrodniczy
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