

Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski  
pl. Łódzki 2, 10-719 Olsztyn, Poland

Józef Koc, Urszula Szyperek

### Skuteczność barier biogeochemicznych w ograniczaniu spływu azotu w środowisku rolniczym

---

The effect of biogeochemical barriers in limiting nitrogen outflow in agricultural environment

ABSTRACT. Results of the research conducted in the Olsztyn Lake District in the years 1994–2001 showed that the outflow of nitrogen from rural areas amounts on average to 11 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, whereas from drained areas to 28 kg. The load constitutes a threat to surface water and it should be limited by the construction of biogeochemical barriers. The function may be fulfilled by small water reservoirs understood as a composition of water, bottom sediments and littoral plants. It was stated that such a system may store from 1.4 to 344 kg of N per 1 ha of the catchment area. Vegetation and bottom sediments contained 99% of the total stored N. Accumulated N may become released. The magnitude of accumulation depends on the elements (water, bottom sediments and vegetation) within the system, which may be a limiting factor in long-term outflows of N from arable lands.

KEY WORDS: biogeochemical barriers, midfield ponds, nitrogen

Na skutek technicznej działalności człowieka, dążącej do maksymalizowania produkcji rolniczej, do środowiska glebowego wprowadzane są znaczne ilości substancji, które mogą wpływać niekorzystnie na obieg biogenów, a także przyspieszać ich straty spowodowane wymyciem w głąb profilu glebowego. Straty składników pokarmowych należy rozpatrywać nie tylko z punktu widzenia ekonomiki produkcji rolniczej, ale również w aspekcie ich skutków ekologicznych – zagrożenia jakości wód powierzchniowych i podziemnych. Wzrasta więc ostatnio zainteresowanie tzw.

barierami biogeochemicznymi, czyli obszarami posiadającymi zdolność ograniczenia rozprzestrzeniania się lub zatrzymywania zanieczyszczeń (w tym również związków azotu) w środowisku rolniczym. Obok ekosystemów leśnych, zadrzewień śródpolnych i enklaw łąk w krajobrazie młodoglacjalnym ważną barierę biogeochemiczną stanowią śródpolne oczka wodne [Ryszkowski i in. 1994; Koc, Tucholski 1995; Koc 2000; Koc i in. 2001; Spychaj-Fabisiak i in. 2001].

Opierając się na przesłankach z literatury, wysunięto koncepcję, że śródpolne oczka wodne stanowią barierę biogeochemiczną, gdy są rozpatrywane jako układ kompleksowy złożony z wody, osadów dennych i roślinności przybrzeżnej [Szyperek 2003]. Celem badań było określenie ilości azotu akumulowanego w tych układach oraz ocena efektywności ograniczania przez te bariery spływu zanieczyszczeń pochodzących z obszarów rolniczych.

#### METODY

W latach hydrologicznych 1999–2001 przeprowadzono badania nad ograniczeniem spływu azotu w zlewniach śródpolnych oczek wodnych położonych w pobliżu Olsztyna (Pojezierze Olsztyńskie). Do badań wytypowano 6 zbiorników reprezentujących różny sposób zagospodarowania zlewni: las (nr 11); użytek zielony i las (UZ/Ls – nr 16); nieużytki i grunty orne (mieszane – nr 12 i 14) oraz grunty orne: GO (szuwały) – pas szuwarów wokół tafla wody (nr 13) i GO (zadrzewienia) – pas zadrzewień wokół tafla (nr 15). Oczka wodne rozpatrywano kompleksowo jako układ złożony z wody, osadów dennych i roślinności je otaczającej. Próbkę wody pobierano co miesiąc i oznaczono w nich zawartość azotu ogólnego, azotanów i azotu amonowego według Hermanowicza i in. [1999]. Osady denne pobrano z kilku punktów dna każdego oczka wodnego za pomocą multipróbnika firmy Eijkelkamp, próby roślinności zaś pobrano w okresie wytwarzania największej ilości biomasy z powierzchni  $1 \text{ m}^2$ , wysuszono i zmineralizowano na mokro w stężonym kwasie siarkowym. Zawartość N ogólnego w osadach i roślinności oznaczono metodą Kjeldahla. Na podstawie stężeń określono ilość akumulowanego azotu w poszczególnych elementach składowych oczek wodnych. Potencjalne ilości azotu mineralnego, dopływające średnio w roku do oczek wodnych, obliczono na podstawie jego ładunku wprowadzanego z opadami atmosferycznymi na powierzchnię oczka oraz z wodami gruntowymi spływającymi z obszaru zlewni.

#### WYNIKI

Woda jako nośnik materii i energii oraz element łączący różne składniki środowiska stanowi wskaźnik jego zanieczyszczenia. Ilość substancji odpływająca

rocznie ze zlewni zależy od ilości wody odprowadzanej w jednostce czasu z powierzchni zlewni oraz koncentracji rozpuszczonych w wodzie składników. Przeprowadzone badania wykazały duże rozpiętości stężeń mineralnych form azotu w zależności od typu wód, intensywności rolniczego użytkowania zlewni oraz rodzaju gleb w zlewni (tab. 1). Wody drenarskie odpływające z gleb lekkich charakteryzowały się najwyższą koncentracją azotu azotanowego, wody gruntowe natomiast azotu amonowego. Również z wodami drenarskimi gleb lekkich odprowadzany jest największy w ciągu roku łączny ładunek azotu azotanowego i amonowego (czterokrotnie większy niż z opadami), co wskazuje na rolnicze pochodzenie (nawożenie upraw) oraz silne wymywanie tych składników z gleb. Taki stan związany jest z charakterem hydrologicznym wód drenarskich, które mają bardzo krótki okres infiltracji w profilu glebowym. Najmniejsze ładunki analizowanych form azotu odpływają rowami melioracyjnymi. Wyraźny wpływ na wzrost stężeń i ładunków azotanów wywiera intensywna gospodarka rolnicza. Z terenów użytkowanych rolniczo odpływają ponad 30-krotnie większe ilości azotanów niż z wodami źródeł (nieobciążonych jeszcze wpływami antropogenicznymi) oraz 15-krotnie większe niż z obszarów seminaturalnych. Jeżeli wody źródeł uznamy za tło geochemiczne, to seminaturalne użytkowanie terenu (trwała szata roślinna i brak gospodarczej ingerencji człowieka) powoduje 3,5-krotny wzrost odpływu azotu do poziomu 2,3 kg z ha

Tabela 1. Średnie stężenia i ładunki form azotu w opadach atmosferycznych i wodach odpływających w środowisku rolniczym Pojezierza Olsztyńskiego

Table 1. Mean concentrations and load of mineral nitrogen forms in precipitation and outflowing water in agricultural environment of the Olsztyn Lake District

Rodzaj wód Type of water		Stężenie Concentrations mg dm <sup>-3</sup>		Ilości Amount kg ha <sup>-1</sup> rok <sup>-1</sup> kg ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup>		
		N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	razem total
Opady atmosferyczne	Precipitation	0,36	0,78	2,13	4,48	6,61
Rowy melioracyjne	Ditches					
Gleby lekkie	Light soils	1,06	0,51	1,84	0,33	2,17
Gleby średnie	Medium soils	0,63	0,49	0,90	0,25	1,15
Gleby ciężkie	Heavy soils	0,91	0,45	1,65	0,34	1,99
Wody drenarskie	Drain water					
Gleby lekkie	Light soils	13,9	0,28	28,30	0,63	28,93
Gleby średnie	Medium soils	2,38	0,74	4,39	0,72	5,11
Gleby ciężkie	Heavy soils	2,72	0,10	5,05	0,10	5,15
Wody gruntowe	Ground water	0,71	0,99	1,87	2,83	4,70
Wody źródlane	Water of springs	0,20	0,36	0,25	0,42	0,67
Obszary seminaturalne	Seminatural area	0,18	0,60	0,49	1,82	5,25
Obszary użytkowane rolniczo	Agriculturally used area	1,82	0,51	7,60	3,43	11,03

rocznie. Obszar taki działa więc jako filtr oczyszczający wody, gdyż odpływ azotu stanowi 35% jego dopływu z opadami. Rolnicze użytkowanie obszaru powoduje, że procesy oczyszczania wód w środowisku są niewystarczające i odpływ azotu wzrasta czterokrotnie.

Niezbędne więc staje się tworzenie obiektów przyrodniczych, które wiązałyby azot z wód jeszcze na obszarach rolniczych. Rolę taką mogłyby spełniać oczka wodne.

Tabela 2. Potencjalne ilości azotu mineralnego dopływające średnio w roku do oczek wodnych  
Table 2. Potential amounts of mineral nitrogen annually supplying mid-field ponds

Numer oczka Number of pond	Powierzchnia Area		$A_c/A_p^*$	Ładunek N min Load of mineral nitrogen		
	oczko pond m <sup>2</sup>	zlewnia catchment ha		z opadem with precipitation	z wodami gruntowymi with ground water	razem total
				kg na zbiornik	kg per reservoir	
11	375	2,0	53,3	0,24	9,00	9,24
16	970	3,0	30,9	0,62	13,50	14,12
14	300	5,3	176,7	0,19	23,85	24,04
12	260	1,1	42,3	0,17	4,95	5,12
13	1400	2,1	15,0	0,90	9,45	10,35
15	380	6,8	178,9	0,24	30,60	30,84

$A_c$  powierzchnia zlewni catchment area

$A_p$  powierzchnia oczka water table area

Ładunek azotu mineralnego wnoszonego wraz z opadami i wodami gruntowymi do oczek bezodpływowych wynosił od 5,12 do 30,84 kg na zbiornik (tab. 2). Wielkości te są warunkowane powierzchnią lustra wody i zlewni danego oczka wodnego. Największą dostawę tego biogenu stwierdzono w przypadku oczka nr 15, posiadającego największy wskaźnik wyrażający stosunek powierzchni zlewni bezpośredniej do powierzchni lustra wody, najmniejszą zaś dla oczka nr 12 z najmniejszą zlewnią. Takie ilości azotu, trafiające do wód zbiorników, mogą powodować istotne zmiany w funkcjonowaniu tych akwenów, poprzez eutrofizację aż do ich zalądowienia wskutek akumulacji materii i zarastania. Oczko wodne to jednak układ złożony z kilku elementów, w których zachodzi wymiana i magazynowanie składników biogennych. Akumulacja w tak widzianym oczku wodnym zależy m.in. od zawartości składnika w poszczególnych elementach tego układu, jak również od powierzchni lub objętości rozpatrywanego elementu.

Stwierdzono zależność zawartości azotu w wodach śródpolnych oczek wodnych od sposobu użytkowania zlewni (tab. 3), jednak wzrost stężeń tego skład-

Tabela 3. Zawartość azotu w poszczególnych elementach oczek wodnych  
Table 3. Content of nitrogen in particular elements of mid-field ponds

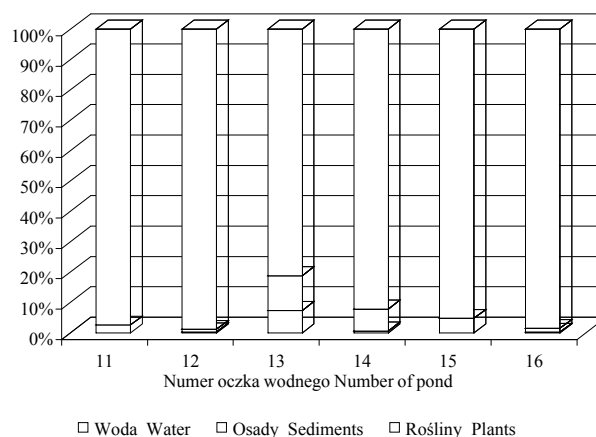
Numer oczka i sposób zagospodarowania jego zlewni Number of ponds and catchment use	Strefa roślinności przybrzeżna Vegetation zones	Element oczka Element of pond		
		woda water mg dm <sup>-3</sup>	osady dennie bottom sedi- ments mg g <sup>-1</sup>	roślinność vegetations % s.m. % d.m.
11 Las Forest	-	4,8	9,45	-
16 UZ/Las Grasslands and forest	łąka meadow	5,7	7,90	2,32
14 Mieszana Mixed area	łąka meadow	4,2	2,94	2,14
12 Mieszana Mixed area	łąka meadow	7,0	5,02	1,87
13 GO Arable area	szuwały rushes	7,7	3,00	2,08
15 GO Arable area	zadrzewienia bushes	5,1	4,06	-

Tabela 4. Akumulacja azotu w wodzie i osadach dennych oczek wodnych oraz w biomase ich litoralu  
Table 4. Accumulation of nitrogen in water and bottom sediments of midfield ponds and in biomass of littoral zones

Numer oczka i sposób zagospodarowania jego zlewni Number of pond and catchment use	Akumulacja azotu Accumulation of nitrogen					
	kg na zbiornik		kg per reservoir		kg m <sup>-2</sup> pow. oczka kg m <sup>-2</sup> of pond area	kg ha <sup>-1</sup> pow. zlewni oczka kg ha <sup>-1</sup> of catchment area
	woda water	osady dennie bottom sediments	biomasa biomass	razem total		
11 Las Forest	0,2	8,7	-	8,9	0,02	4,5
16 UZ/Las Grasslands and forest	2,3	12,9	1016,2	1031,4	1,06	343,8
14 Mieszana Mixed area	0,1	1,8	22,8	24,7	0,08	4,7
12 Mieszana Mixed area	0,6	2,4	263,7	266,7	1,03	242,5
13 GO (szuwały) Arable area (rushes)	4,7	7,3	51,5	63,5	0,05	30,2
15 GO (zadrzewienia) Arable area (bushes)	0,5	9,1	-	9,6	0,03	1,4

nika nie jest zgodny z kierunkiem narastania antropopresji. Najniższe koncentracje azotu obserwowano bowiem w zbiorniku położonym w zlewni mieszanej – nr 14 – a nie w oczku leśnym. Najwyższe natomiast ilości N zawartego w wodzie odnotowano w zbiorniku nr 13, którego zlewnia jest użytkowana rolniczo, a pas roślinności szuwarowej, otaczający taflę wody, nie przeciwdziała skutecznie dopływowi azotu. Woda badanych oczek mogła być również zasilana azotem z rozkładu nagromadzonych w nich osadów (tab. 4). Dotyczyć to może szcze-

gólnie oczek nr 12, 13, 15 i 16. Kiedy rozpatrzemy akumulację tego składnika w całym układzie (woda + osady dennie + roślinność przybrzeżna), szereg ten przedstawia się następująco: 16>12>13>14>15>11. Ta kolejność podkreśla rolę dwu pozostałych elementów bariery biogeochemicznej: osadów dennych i roślinności przybrzeżnej, które akumulują znacznie większe ilości azotu niż woda (tab. 4). Osady stanowią szczególną rolę w tym kompleksowym układzie, gdyż mogą one na skutek uruchamiania składników w nich zawartych stanowić źródło użyzniania wód. Z powyższych badań wynika, że oczka wodne rozpatrywane kompleksowo są w stanie zakumulować od 8,9 do 1031 kg N, w zależności od rozmiarów poszczególnych elementów składowych tego układu. Dzięki akumulacji dużej ilości biogenów w biomase nadziemnej (od 22 do 1016,2 kg N) – tabela 4, pas roślinności łąkowej i szuwarowej stanowi pewnego rodzaju filtr dla dostających się do wody oczka zanieczyszczeń, na co zwracają uwagę również inni badacze [Ryszkowski i in. 1994; Żelazo 1996; Koc, Szyperek 2001]. Obecność pasa roślinności łąkowej (zadarnienia) wpływa na wzrost skuteczności zatrzymywania azotu w całym układzie oczka wodnego, o czym świadczą wysokie wskaźniki akumulacji w przeliczeniu na powierzchnię 1 m<sup>2</sup> oczka czy też na 1 ha zlewni dla zbiorników nr 16 i 12 (odpowiednio: 1,06 i 343,8 oraz 1,03 i 242,5).



Rycina 1. Procentowy udział poszczególnych elementów oczka wodnego w akumulacji azotu  
Figure 1. Share of particular elements of midfield ponds in nitrogen accumulation

Między poszczególnymi akwenami zaobserwowano zróżnicowanie ilości azotu akumulowanego w układzie składającym się z wody, osadów dennych i roślinności przybrzeżnej (ryc. 1). W przypadku zbiorników, wokół których nie występowała roślinność przybrzeżna (11 i 15) ponad 95% azotu gromadziły

osady denne, a pozostałe ilości woda. Z przeprowadzonej analizy wynika, że większe ilości azotu akumulowały się w większych zbiornikach, gdzie również warstwa odkładanych w nich osadów jest grubsza. Osady denne pełnią więc w zbiorniku kluczową rolę magazynu biogenów. Kiedy układ ten jest wzbogacony roślinnością, wtedy to właśnie ona przejmuje rolę największego magazynu azotu, a możliwość jego akumulacji wzrasta wielokrotnie.

Z powyższych danych wynika, że generalnie w kompleksowym ujęciu oczka wodnego, jako układu złożonego z wody, osadów dennych i pasa roślinności przybrzeżnej, największą rolę w ograniczaniu spływu azotu ze zlewni spełniają biomasa i osady, które mogą akumulować nawet do 99% azotu.

Z porównania wielkości rocznego dopływu azotu do oczek wynika, że niektóre z nich są w stanie akumulować wieloletnie spływy tego składnika. Zatem chociaż zatrzymują one biogeny, to nie można traktować oczek wodnych jako jedynych i skutecznych barier biogeochemicznych odbieralników wód odpływających z systemów melioracyjnych, gdyż w krótkim czasie ulegną one degradacji. Dużą rolę w ograniczaniu tego procesu odgrywa roślinność szuwarowa i trawiasta w pasie przybrzeżnym.

#### WNIOSKI

1. Z obszarów rolniczych roczne spływy azotu z wodami powierzchniowymi wynoszą około 11 kg z 1 ha zlewni, a w zlewniach elementarnych zmeliorowanych osiągają 28 kg z ha. Ładunek taki może stanowić istotne zagrożenie wód powierzchniowych. Bariere biogeochemiczną, zmniejszającą ilość azotu w wodach, mogą stanowić oczka wodne rozumiane jako układ złożony ze zbiornika wodnego z unieruchomionymi osadami i roślinności brzegowej.

2. Oczka wodne, rozumiane jako układ złożony z wody, osadów i roślinności przybrzeżnej, stanowią barierę biogeochemiczną, która akumuluje od 9 do 1030 kg azotu na zbiornik, co daje wartości od 1,4 do 344 kg w przeliczeniu na 1 ha powierzchni zlewni.

3. Największą rolę w ograniczaniu odpływu zanieczyszczeń ze zlewni spełniają roślinność i osady denne, które akumulują nawet do 99% azotu zgromadzonego w całym układzie. Zakumulowany azot może ulec uruchamianiu.

4. Ilość akumulowanego azotu zależy od wielkości poszczególnych elementów układu (woda, osady denne, roślinność). Oczka wodne mogą akumulować wieloletnie spływy tego składnika z wodami z terenu upraw rolnych.

## PIŚMIENNICTWO

- Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B., Zerbe J. 1999. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Arkady Warszawa.
- Koc J. 2000. Ekologiczne znaczenie ochrony i renaturyzacji oczek wodnych. W: Renaturyzacja obiektów przyrodniczych – aspekty ekologiczne i gospodarcze (red. Z. Michalczyk), Wydawnictwo UMCS, 123–130.
- Koc J., Tucholski S. 1995. Śródpolne zbiorniki retencyjne jako metoda redukcji zanieczyszczeń obszarowych. Rolnictwo polskie a jakość wody. ODR-RCEE, Przysiek, 43–48.
- Koc J., Cymes I., Skwierawski A., Szyperek U. 2001. Znaczenie ochrony małych zbiorników wodnych w krajobrazie rolniczym. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 476, 397–407.
- Koc J., Szyperek U. 2001. Rola przybrzeżnych pasów roślinności w ochronie śródpolnych oczek wodnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 477, 65–72.
- Ryszkowski L., Bartoszewicz A., Marcinek J. 1994. Bariery biogeochemiczne. W: Obieg wody i bariery biogeochemiczne w krajobrazie rolniczym. UAM w Poznaniu, 167–181.
- Spychaj-Fabisiak E., Murawska A., Janowiak B. 2001. Wpływ czynników antropogenicznych na wymywanie związków azotu mineralnego z gleb. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 476, 311–317.
- Szyperek U. 2003. Oczka wodne jako bariera biogeochemiczna w krajobrazie pojeziernym. Praca doktorska. Maszynopis. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn.
- Żelazo J. 1996. Uwagi o potrzebie i skuteczności roślinnych pasów brzegowych. Gosp. Wodna 3, 86-91.