

# WYMYWANIE MINERALNYCH FORM AZOTU Z GLEBY LEKKIEJ NAWOŻONEJ COROCZNIE KOMPOSTEM Z OSADÓW ŚCIEKOWYCH I NAWOZAMI MINERALNYMI

**Franciszek CZYŻYK<sup>1)</sup>, Krzysztof PULIKOWSKI<sup>2)</sup>,  
Maria STRZELCZYK<sup>1)</sup>, Katarzyna PAWĘSKA<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Dolnośląski Ośrodek Badawczy ITP we Wrocławiu

<sup>2)</sup> Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Środowiska

*Słowa kluczowe: nawożenie, straty azotu, zanieczyszczenie wód*

## Streszczenie

W pracy przedstawiono ocenę odpływu mineralnych form azotu z gleby lekkiej na podstawie wyników 6-letnich badań z jej corocznym nawożeniem kompostem z osadu ściekowego oraz równorzędnymi dawkami azotu w nawozach mineralnych. Badania prowadzono w lizymetrach wypełnionych piaskiem gliniastym, zawierającym średnio 14% części ziemistych. W badaniach zastosowano dwa warianty nawożenia kompostem (K1 – 10 i K2 – 15 g N·m<sup>-2</sup>) oraz dwa warianty nawożenia mineralnego (NPK) z równorzędnymi dawkami azotu w postaci saletry amonowej, z uzupełnieniem PK w postaci superfosfatu i soli potasowej. Wyniki badań wykazały zwiększanie się stężenia N-NO<sub>3</sub> w odciekach z gleby, wraz ze zwiększaniem dawek nawozów. Wystąpiło też zdecydowane zwiększenie się tego stężenia wraz z upływem lat stosowania nawozów. Stężenie azotanów w odciekach z gleby nawożonej saletrą było w przybliżeniu dwukrotnie większe niż w wariantach z nawożeniem równorzędnymi dawkami azotu w kompoście. Zawartości N-NH<sub>4</sub> w odciekach były większe w przypadku nawożenia kompostem niż stosowania nawozów mineralnych. Łączne ilości mineralnych form azotu odprowadzone w odciekach z gleby wyniosły 12% ogólnej ilości azotu dostarczonej do gleby w wariantach z nawożeniem kompostem i 20–27% w wariantach z nawożeniem mineralnym.

## WSTĘP

Azot dostarczony do gleby, zarówno w postaci nawozów organicznych, jak i mineralnych, nie jest w całości wykorzystywany przez rośliny. Jego mineralne formy są przyswajane przez rośliny, ale też wymywane z gleby do wód gruntowych, a gazowe formy emitowane do atmosfery. Mineralizacja organicznej materii w glebie oraz stosowane mineralne nawozy azotowe stanowią o wydajności mikrobiologicznych procesów nityfikacji i denityfikacji w glebie [SAPEK 2008].

Azot dostarczony do gleby w nawozach mineralnych, zwłaszcza saletrzanych, jest łatwo rozpuszczalny i łatwo dostępny dla roślin [GORLACH, MAZUR 2002]. Jest on więc także łatwo wymywany z gleby do wód gruntowych, a w warunkach beztlenowych ulega procesowi denityfikacji i powstawaniu jego form gazowych ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  i  $\text{N}_2$ ), ułatwiających się do atmosfery. Azot w nawozach organicznych, np. w kompostach z osadów ściekowych, w większości występuje w formie organicznej, a mineralne jego formy stanowią od kilku do nieco ponad 20% zawartości azotu całkowitego [CZYŻYK, KOZDRAŚ 2004; KRZYWY-GAWROŃSKA 2006]. Dostarczony do gleby azot organiczny ulega w niej złożonym i dynamicznym przemianom [FOTYMA 1996; SCHOLEFIELD i in. 1991]. W wyniku tych przemian, zwłaszcza nityfikacji, powstają mineralne formy azotu, a przede wszystkim azotany. Uwalniane w procesie mineralizacji  $\text{N-NO}_3$  i  $\text{N-NH}_4$  są wykorzystywane przez rośliny i wpływają na wysokość plonu. Ich nadmiar przenika jednak do wód gruntowych [GOTKIEWICZ 1996; SAPEK 1996]. Nawożenie gleb kompostem z osadów ściekowych, zasobnych w substancję organiczną i azot organiczny, stwarza zagrożenie zanieczyszczenia wód mineralnymi formami azotu, podobnie jak nawożenie innymi nawozami. Stopień tego zagrożenia zależy od wielkości stosowanych dawek kompostu, lecz jest znacznie mniejszy niż w warunkach nawożenia równorzędnymi dawkami nawozów mineralnych [CZYŻYK, KOZDRAŚ 2003; 2008].

W celu zmniejszenia wytwarzania nadmiernej ilości mineralnych form azotu w glebie oraz ich przenikania w głąb i zanieczyszczania wód gruntowych konieczne jest prawidłowe ustalanie stosowanych dawek nawozów, z uwzględnieniem właściwości fizykochemicznych gleby, rodzaju nawozu oraz potrzeb pokarmowych roślin. Jest to szczególnie konieczne w warunkach corocznego nawożenia, które może powodować znaczne nadmiary składników nawozowych w glebie i ich przenikanie do wód gruntowych. W praktyce rolniczego wykorzystania osadów ściekowych, a także wytwarzanych z nich kompostów, często stosuje się je corocznie (zwykle w pobliżu oczyszczalni). Budzi to obawy dotyczące możliwości zwiększenia zanieczyszczania wód gruntowych składnikami kompostu, zwłaszcza azotanami, w warunkach corocznego stosowania jego dawek określanych tylko na podstawie zapotrzebowania roślin na azot. Odnosi się to w szczególności do gleb lekkich, w których substancja organiczna ulega szybkiej mineralizacji, a produkty tego procesu są łatwo przemieszczane w głąb profilu glebowego. W polskiej literatu-

rze brak publikacji, prezentujących wyniki badań wpływu corocznego stosowania kompostów osadowych na środowisko wodne.

Celem pracy jest określenie wpływu corocznego stosowania kompostów z osadów ściekowych na wymywanie mineralnych form azotu z gleby lekkiej oraz wykazanie potrzeby ustalania racjonalnych dawek nawożenia (z uwzględnieniem zapasów azotu w glebie), niepowodujących eskalacji odpływu tego składnika do wód.

## WARUNKI I METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono w latach 2002–2007 w lizymetrach wypełnionych piaskiem gliniastym, zawierającym średnio 14% części ziemistych (frakcja <0,02) oraz 0,7% węgla organicznego i 0,1% azotu całkowitego. Warunki w lizymetrach są zbliżone do naturalnych warunków polowych. Lizymetry o średnicy 100 cm i głębokości 130 cm są całkowicie zanurzone w gruncie. W poszczególnych latach badań stosowano kompost wytworzony z wiejskich osadów ściekowych i odpadów roślinnych, zawierający przeciętnie ok. 2,5% azotu ogólnego, 20% węgla organicznego i 63% substancji organicznej. Kompost mieszano z wierzchnią warstwą gleby. W każdym roku, przed wiosennym stosowaniem kompostu do nawożenia, oznaczono w nim zawartość głównych składników nawozowych. Zastosowano dwa warianty nawożenia kompostem (K1 – 10 i K2 – 15 g N·m<sup>-2</sup>) oraz dwa warianty nawożenia mineralnego (NPK) z równorzędnymi dawkami azotu w postaci saletry amonowej, z uzupełnieniem PK w postaci superfosfatu i soli potasowej (NPK1 – 10 g N·m<sup>-2</sup> + 2,5 g P·m<sup>-2</sup> + 6 g K·m<sup>-2</sup>, NPK2 – 15 g N·m<sup>-2</sup> + 4 g P·m<sup>-2</sup> + 9 g K·m<sup>-2</sup>). Wszystkie warianty zastosowano w trzech powtórzeniach.

W kolejnych latach badań lizymetry obsiane były: mieszkanką traw, kukurydzą, burakami cukrowymi, gorczycą białą (na nasiona), pszenżytem i rzepakiem ozimym. W okresie od kwietnia 2002 do czerwca 2007 r. systematycznie mierzono ilość opadów atmosferycznych i odcieków z lizymetrów oraz pobierano próbki tych wód do analiz laboratoryjnych. Analizy chemiczne wykonywano wg metodyki aktualnie obowiązującej i powszechnie stosowanej [HERMANOWICZ i in. 1999; Zestaw norm 1999].

## WYNIKI BADAŃ

Poszczególne lata badań różniły się znacznie pod względem ilości opadów (tab. 1). Zróżnicowana była też objętość odcieków z lizymetrów, zależna głównie od ilości opadu, a w mniejszym stopniu od wariantów nawożenia i rodzaju nawozów (tab. 2). Odcieki z lizymetrów występowały głównie w okresach późnojesiennych i zimowych. W okresach wegetacyjnych objętość odcieków była znacznie

**Tabela 1.** Opady atmosferyczne (mm) na stacji badawczej ITP w Kamieńcu Wrocławskim w latach 2002–2007**Table 1.** Precipitations (mm) at the research station ITP in Kamieniec Wrocławski in the years 2002–2007

Rok Year	Opad w poszczególnych miesiącach Precipitations in months												Opad roczny Annual precipitation
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2002	23,8	59,2	15,7	32,9	37,1	68,2	49,5	78,7	52,2	61,2	52,3	16,2	547,0
2003	40,0	2,8	18,7	11,9	80,5	24,3	58,8	55,3	42,4	51,5	27,8	47,3	461,5
2004	31,2	60,6	56,6	24,5	35,2	40,5	88,5	50,8	21,8	45,6	81,4	15,4	552,1
2005	46,2	51,2	11,5	27,0	150,8	46,8	122,6	54,4	24,9	6,7	31,0	106,4	679,5
2006	28,9	43,7	26,1	54,2	21,9	56,6	12,0	179,3	20,3	68,4	65,6	36,7	613,7
2007	64,6	53,3	55,5	3,6	57,6	79,5	124,1	42,0	51,6	26,5	56,0	27,9	642,0

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

**Tabela 2.** Objętość odcieków ( $\text{dm}^3$ ) z lizymetrów z poszczególnych wariantów nawożenia w okresie IV 2002–VI 2007**Table 2.** Volume of effluents ( $\text{dm}^3$ ) from particular fertilisation variants in the period of Apr. 2002–Jun. 2007

Rok Year	Objętość odcieków z poszczególnych wariantów Volume of effluents from particular variants			
	K1	K2	NPK1	NPK2
2002	37,1 <sup>1)</sup>	28,9 <sup>1)</sup>	41,7 <sup>1)</sup>	45,2 <sup>1)</sup>
2003	66,0	64,3	64,5	54,6
2004	97,1	94,3	101,1	108,0
2005	112,1	123,2	119,7	122,6
2006	95,1	88,0	109,4	105,5
2007	64,8 <sup>2)</sup>	62,0 <sup>2)</sup>	69,7 <sup>2)</sup>	64,4 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> I IV–31 XII 2002. <sup>2)</sup> I I–30 VI 2007.

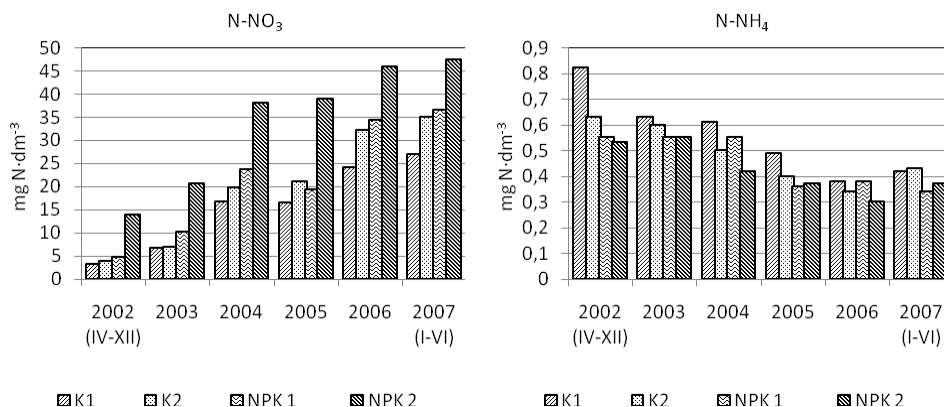
Objaśnienia: K1, K2 – warianty nawożenia kompostem, odpowiednio 10 i 15  $\text{g N}\cdot\text{m}^{-2}$ ; NPK1 – 10  $\text{g N}\cdot\text{m}^{-2}$  + 2,5  $\text{g P}\cdot\text{m}^{-2}$  + 6  $\text{g K}\cdot\text{m}^{-2}$ ; NPK2 – 15  $\text{g N}\cdot\text{m}^{-2}$  + 4,0  $\text{g P}\cdot\text{m}^{-2}$  + 9  $\text{g K}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Explanations: K1, K2 – variants of soils fertilised with compost 10 and 15  $\text{g N}\cdot\text{m}^{-2}$ , respectively; NPK1 – 10  $\text{g N}\cdot\text{m}^{-2}$  + 2.5  $\text{g P}\cdot\text{m}^{-2}$  + 6  $\text{g K}\cdot\text{m}^{-2}$ ; NPK2 – 15  $\text{g N}\cdot\text{m}^{-2}$  + 4.0  $\text{g P}\cdot\text{m}^{-2}$  + 9  $\text{g K}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

mniejsza i występowały one jedynie po obfitych opadach atmosferycznych, np. w maju i lipcu 2005 r. oraz sierpniu 2006 r. Odcieki pojawiały się zwykle po upływie od kilkunastu godzin do dwóch dni od wystąpienia intensywnych opadów, w zależności od poprzedzającego je stanu uwilgotnienia gleby.

Średnie stężenie mineralnych form azotu w odciekach z lizymetrów (rys. 1), obliczone jako średnia ważona z objętości odcieków i stężenia w nich  $\text{N-NO}_3$  i  $\text{N-NH}_4$ , było zróżnicowane w zależności od wariantów nawożenia. Stężenie  $\text{N-NO}_3$  w odciekach z lizymetrów nawożonych kompostem było zdecydowanie mniejsze niż w odciekach z lizymetrów nawożonych równorzędnymi dawkami azotu w postaci saletry. Stężenie azotu azotanowego w odciekach zwiększało się ze zwiększaniem dawek nawozów, ale też wyraźnie zwiększało się wraz z upływem lat stosowania nawożenia, co wskazuje na tworzenie się nadmiaru azotu w glebie wskutek corocznego stosowania jego dużych dawek. W pierwszym roku badań (2002 r.) stężenie  $\text{N-NO}_3$  w odciekach z poszczególnych wariantów było następujące: K1 – 3,1; K2 – 3,8; NPK1 – 4,8 i NPK2 – 13,9  $\text{mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ . W przeliczeniu na azotany są to odpowiednio wartości: 13,7; 16,8; 21,3 i 61,6  $\text{mg NO}_3\cdot\text{dm}^{-3}$ . Porównując te wartości z granicznymi wartościami dla klas czystości wód podziemnych [Rozporządzenie..., 2008] można stwierdzić, że w wariantach K1, K2 i NPK1 odpowiadały one II, a NPK2 – IV klasie czystości. Stężenie azotanowej formy azotu w odciekach z lizymetrów nawożonych nawozami mineralnymi przekroczyło wartość progową dla klasy IV jakości wód podziemnych w trzecim roku badań, a w wariantach z nawożeniem kompostem – o dwa lata później.



Rys. 1. Średnie roczne stężenie N-NO<sub>3</sub> i N-NH<sub>4</sub> w odciekach z poszczególnych wariantów nawożenia w okresie IV 2002–VI 2007; K1, K2, NPK1, NPK2 – jak w tabeli 2.; źródło: wyniki własne

Fig. 1. Mean annual concentrations of N-NO<sub>3</sub> and N-NH<sub>4</sub> in effluents from particular fertilisation variants in the period of Apr. 2002–Jun. 2007; K1, K2, NPK1, NPK2 – as in Tab. 2; source: own studies

Stężenie azotu amonowego (N-NH<sub>4</sub>) w odciekach kształtowało się odmiennie niż azotanowego (N-NO<sub>3</sub>). W odciekach z gleby nawożonej kompostem było ono na ogół większe niż w odciekach z lizymetrów nawożonych równorzędnymi dawkami azotu w postaci saletry. We wszystkich wariantach nawożenia były to małe wartości, nieprzekraczające granicznych dla I i II klasy jakości wód podziemnych. Z upływem lat badań wystąpiła wyraźna tendencja zmniejszania się stężenia N-NH<sub>4</sub> w odciekach. Azot amonowy, podobnie jak azotanowy, jest przyswajany przez rośliny. Jony azotu amonowego, w przeciwieństwie do azotanowego, są jednak absorbowane i wiązane przez kompleks sorpcyjny gleby. Azot amonowy, w korzystnych warunkach wilgotnościowych, powietrznych i termicznych, jest też stosunkowo szybko utleniany w procesie nitrifikacji do formy azotanowej, zwłaszcza w glebach lekkich, charakteryzujących się dobrymi warunkami tlenowymi. W miarę polepszania się właściwości fizykochemicznych gleby i zwiększania się pojemności sorpcyjnej zatrzymuje się w niej większa ilość różnych składników, w tym także jonów NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Stwierdzone w przeprowadzonych badaniach znaczne zwiększenie się zawartości węgla organicznego (tab. 3), a tym samym substancji organicznej w glebie, wskazują na poprawę tych właściwości.

Ilość (ładunek) N-NO<sub>3</sub> odprowadzona w odciekach w okresie badań (rys. 2) wykazała, podobnie jak stężenie, tendencje rosnące się z upływem lat stosowania nawozów. Świadczy to o powstawaniu coraz większych nadwyżek azotu azotanowego w glebie, w stosunku do zapotrzebowania roślin na ten składnik. Nieco odmiennie wyniki uzyskano w przypadku azotu amonowego. Największe jego ilości odplęły z odciekami w latach 2004 i 2005. Powodowane to było większymi opa-

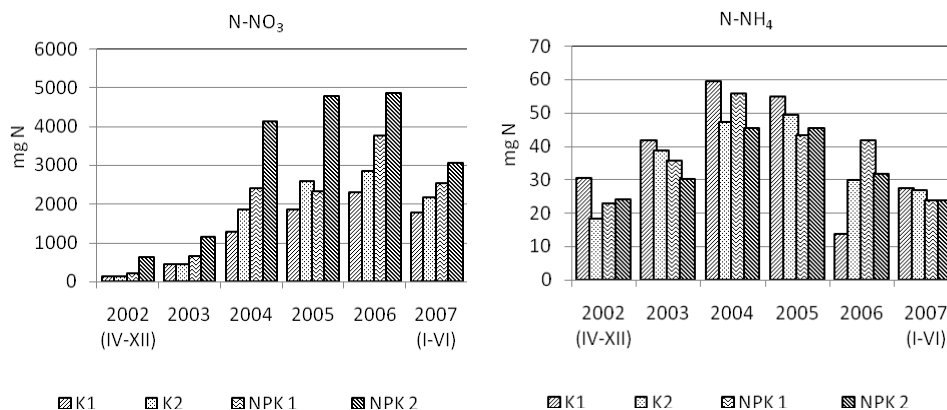
**Tabela 3.** Zawartość węgla organicznego i azotu w glebie przed nawożeniem (2002 r.) i po sześciu latach corocznego nawożenia (2007 r.),  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  s.m.

**Table 3.** The content of organic carbon and total nitrogen ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  DW) in soil before fertilisation (2002) and after 6 years of every year fertilisation (2007)

Składnik Component	Zawartość składników w glebie Contents of components in soil				
	przed nawożeniem before fertilisation	nawożonej fertilised			
		K1	K2	NPK1	NPK2
Węgiel organiczny Organic carbon	6,6	11,2	12,8	10,0	10,6
Azot ogólny Total nitrogen	1,03	1,23	1,37	1,33	2,32

Objaśnienia, jak pod tabelą 2. Explanations as in Tab. 2

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.



Rys. 2. Roczne sumy ładunku N-NO<sub>3</sub> i N-NH<sub>4</sub> odprowadzanego w odciekach w okresie IV 2002–VI 2007 w mg N na lizymetr; K1, K2, NPK1, NPK2 – jak w tabeli 2.; źródło: wyniki własne

Fig. 2. Annual sums of N-NO<sub>3</sub> and N-NH<sub>4</sub> loads released in effluents in the period of Apr. 2002–Jun. 2007, mg N per 1 lysimeter; K1, K2, NPK1, NPK2 – as in Tab. 2; source: own studies

dami i większą objętością odcieków w tych latach, ale prawdopodobnie też korzystniejszymi warunkami (wilgotnościowymi i termicznymi) dla procesu amonifikacji azotu organicznego w glebie.

Łączna ilość mineralnych form azotu odprowadzonych w odciekach z gleby (z poszczególnych wariantów nawożenia) zależała od dawek nawozów, jak też od ich rodzaju (tab. 4). Ilość ta zwiększała się ze wzrostem dawek nawozów, ale w odciekach z lizymetrów nawożonych nawozami mineralnymi była przeciętnie ok. dwukrotnie większa niż z nawożonych równorzędnymi dawkami azotu w kompoście. Azot w nawozach mineralnych występuje jednak w całości w formie roz-

**Tabela 4.** Ilość mineralnych form azotu (N-NO<sub>3</sub> + N-NH<sub>4</sub>) odprowadzonego w odciekach z gleby z poszczególnych wariantów nawożenia w okresie IV 2002–VI 2007, mg·m<sup>-2</sup>

**Table 4.** The amount of mineral forms of nitrogen (N-NO<sub>3</sub> + N-NH<sub>4</sub>) drained in the effluent from particular fertilisation variants in the period of Apr. 2002–Jun. 2007, mg·m<sup>-2</sup>

Rok Year	Ilość z poszczególnych wariantów		Amount from particular variants	
	K1	K2	NPK 1	NPK 2
2002	185,2 <sup>1)</sup>	163,1 <sup>1)</sup>	284,2 <sup>1)</sup>	818,3 <sup>1)</sup>
2003	608,0	614,3	883,4	1 478,1
2004	1 682,7	2 426,7	3 123,3	5 300,1
2005	2 426,8	3 358,9	2 998,1	6 149,3
2006	2 949,4	3 648,1	4 847,6	6 209,6
2007	2 271,8 <sup>2)</sup>	2 790,7 <sup>2)</sup>	3 262,5 <sup>2)</sup>	3 911,0 <sup>2)</sup>
<b>Suma Sum</b>	<b>10 123,9</b>	<b>13 001,8</b>	<b>15 399,1</b>	<b>23 866,4</b>

Objaśnienia, jak pod tabelą 2. Explanations as in Tab. 2

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

puszczalnej i łatwo wymywanej z gleby, natomiast w kompoście – w większości w formie organicznej, która w glebie ulega stopniowej mineralizacji.

Obliczono całkowitą ilość azotu dostarczonego do gleby w nawozach i opadach atmosferycznych oraz odprowadzonego w formie mineralnej z odciekami (tab. 5). Ilość azotu wnoszonego do gleby z opadami atmosferycznymi, obliczona jako średnia ważona ilość opadów i stężenia w nich azotu ogólnego, wynosiła przeciętnie 3,4 g·m<sup>-2</sup> rocznie. Ilość mineralnych form azotu odprowadzonego z odciekami w ciągu całego okresu badań zależała od wielkości dawek nawozów i od ich rodzaju. Była znacznie większa w wariantach z nawożeniem mineralnym niż z nawożeniem równorzędnymi dawkami azotu w kompoście. Procentowy odpływ azotu mineralnego, stwierdzony w wariantach nawożenia kompostem, był w przybliżeniu

**Tabela 5.** Ilość azotu dostarczonego do gleby i odprowadzonego w formie mineralnej z odciekami w okresie IV 2002–VI 2007

**Table 5.** The amount of nitrogen supplied to the soil and drained in a mineral form in the period of Apr. 2002– Jun. 2007

Rodzaj azotu Form of nitrogen	Jednostka Unit	Ilość z poszczególnych wariantów Amount from particular variants			
		K1	K2	NPK 1	NPK 2
Azot w nawozach Nitrogen in fertilisers	g N·m <sup>-2</sup>	60	90	60	90
Azot z opadów Nitrogen from precipitation	g N·m <sup>-2</sup>	20,5	20,5	20,5	20,5
Azot ogółem Total nitrogen	g N·m <sup>-2</sup>	80,5	110,5	80,5	110,5
Azot mineralny odprowadzony z odciekami Mineral nitrogen drained with effluents	g N·m <sup>-2</sup>	10,1	13,3	15,4	23,9
	% N <sub>og</sub> %N <sub>tot</sub>	12,5	12,0	19,1	27,6

Objaśnienia, jak pod tabelą 2. Explanations as in Tab. 2

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.



jednakowy i wynosił ok. 12% ogólnej ilości azotu dostarczonego do gleby. Wynika z tego, że przebieg nitrifikacji azotu dostarczonego do gleby z kompostem nie zależy od wielkości jego dawek. Przebieg i wydajność mineralizacji organicznych związków azotu w głównej mierze kształtują: wilgotność, temperatura, odczyn i gatunek gleby, zawartość węgla organicznego oraz forma stosowanego nawozu azotowego [SAPEK 2010]. W przypadku nawożenia mineralnego procentowy odpływ azotu zwiększał się proporcjonalnie do zwiększenia dawek nawozu. Był też przeciętnie dwukrotnie większy niż w wariantach z równorzędnymi dawkami azotu dostarczonego do gleby w kompoście.

Przedstawione powyżej wyniki badań wykazują, że straty azotu, powodowane wymywaniem mineralnych jego form do wód gruntowych, wynoszą przeciętnie 12% w przypadku nawożenia kompostem i 20–27% ogólnej ilości azotu dostarczonego do gleby w postaci nawozów mineralnych. Są to ilości większe niż przeciętne straty wynikające z procesu denitryfikacji i emisji tlenków azotu do atmosfery. Według licznych danych, podawanych przez SAPKA [2008], emisja tlenków azotu do atmosfery wynosi zwykle kilka procent całkowitej ilości azotu dostarczonego do gleby w nawozach. W glebach zwężonych i wilgotnych, charakteryzujących się niedostatkami tlenu, straty azotu wskutek denitryfikacji i emisji tlenków mogą być wielokrotnie większe [LITYŃSKI, JURKOWSKA 1982].

## PODSUMOWANIE

Stwierdzono wpływ corocznego nawożenia, zarówno kompostem, jak i nawozami mineralnymi, na zwiększanie ilości mineralnych form azotu wymywanych z gleby przez wody opadowe. Stężenie tych form azotu w odciekach z gleby było zależne od wielkości stosowanych dawek nawozów i zwiększało się ze zwiększaniem dawek. Coroczne nawożenie gleby, zarówno kompostem, jak i nawozami mineralnymi, spowodowało systematyczne zwiększanie się stężenia azotanów w odciekach, a tym samym ogólnej ich ilości odpływającej z gleby. Jednoznaczna tendencja do zwiększenia stężenia wystąpiła nawet w przypadku dawki wynoszącej  $10 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-2}$  ( $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), która jest zalecana jako optymalna dla większości roślin uprawnych [CZUBA 1986]. Świadczy to o konieczności dokładnego ustalania dawek nawozów, stosownie do potrzeb pokarmowych roślin, ale też z uwzględnieniem aktualnej zasobności gleby w przyswajalne składniki pokarmowe. Pominięcie tej zasobności w ustalaniu dawek nawozów skutkuje eskalacją strat rozpuszczalnych form nawozów, zwłaszcza azotanów, co wyraźnie wykazały przedstawione wyżej wyniki badań. W warunkach corocznego stosowania nawozów azotowych, w dawkach ustalanych tylko według podawanych w literaturze potrzeb pokarmowych roślin, zwiększają się w glebie nadmiary mineralnych form azotu i ich odpływ do wód gruntowych. Dzieje się tak zarówno w przypadku stosowania nawozów mineralnych, jak i organicznych. Straty mineralnych form azotu, wyrażone

w procentach stosowanych dawek, były jednak dwukrotnie większe w przypadku nawożenia mineralnego niż równorzędnych dawek kompostu. Odpływ mineralnych form azotu do wód gruntowych można zmniejszyć nie tylko przez dokładne ustalenie dawek nawozów, ale też utrzymanie odczynu gleby optymalnego dla roślin uprawnych i regulowanie warunków wodnych gleby. Czynniki te zapewniają lepsze wykorzystanie nawozów przez rośliny. Jedną ze skutecznych metod ograniczenia wymywania azotu z gleby jest też stosowanie poplonów, które zmniejsza to wymywanie o 36–62% [CONSTANTIN i in. 2010].

W latach z dużą ilością opadów, zwłaszcza w okresie wegetacyjnym (np. w 2005 i 2006 r.), odpływ azotu z odciekami wynosił ponad  $6 \text{ g N}\cdot\text{m}^{-2}$  ( $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) w przypadku nawożenia gleby saletrą amonową i ponad  $3 \text{ g N}\cdot\text{m}^{-2}$  ( $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), gdy nawożono kompostem. W warunkach naturalnych, na obszarach niezbyt intensywnie nawożonych, średni odpływ azotu z gleby jest zwykle mniejszy. Na przykład w warunkach nizinnych Dolnego Śląska, ze zlewni użytkowanych rolniczo, odpływ azotu azotanowego wynosił średnio od 2,3 do  $9,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a głównym czynnikiem decydującym o jego wielkości było jednostkowe natężenie odpływu [PULIKOWSKI 2004]. Według Lityńskiego i Jurkowskiej [1982], straty azotu wskutek wymywania azotanów z gleby mogą wynosić nawet kilkadziesiąt kg N na ha. W wyniku stosowania wyższego poziomu nawożenia azotem należy liczyć się z dalszym ich zwiększeniem. W celu uniknięcia takiej sytuacji należy wykonywać badania aktualnej zasobności gleby w przyswajalne formy azotu i uwzględniać ją w ustalaniu dawek nawożeniowych oraz stosować działania, zwiększające stopień wykorzystania nawozów przez rośliny. Dawki azotu dla uprawianych gatunków roślin, z uwzględnieniem aktualnej zasobności gleby w jego mineralne formy, można wyznaczać metodami Nmin. lub bilansową [GRZEBISZ 2009]. Biorąc pod uwagę podane wyżej straty azotu, można przypuszczać, że zastosowanie tych metod umożliwi znaczne zmniejszenie stosowanych corocznie jego dawek i uniknięcie eskalacji zanieczyszczenia wód tym składnikiem. Koszty badań będą zapewne niższe od wartości zaoszczędzonych nawozów, bez uwzględnienia niewymiernych korzyści dla środowiska wodnego.

## LITERATURA

- CONSTANTIN J., MARY B., LAURENT F., AUBRION G., FONTAINE A., KERVELLANT P., BEAUDOIN N. 2010. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long – term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol. 135 iss. 2 ss. 268–278.
- CZUBA R. (red.) 1986. Nawożenie. Wyd. II. Warszawa. PWRiL ss. 564.
- CZYŻYK F., KOZDRAŚ M. 2003. Wpływ nawożenia traw kompostem z osadów ściekowych na skład chemiczny odcieków z gleby. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 494 s. 85–92.
- CZYŻYK F., KOZDRAŚ M. 2004. Właściwości chemiczne i kompostowanie osadów z wiejskich oczyszczalni ścieków. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*. T. 4 z. 2a (11) s. 559–569.

- CZYŻYK F., KOZDRAŚ M. 2008. Azot i fosfor w odciekach z gleby lekkiej nawożonej kompostem z osadów ściekowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 526 s. 311–317.
- FOTYMA E. 1996. Zastosowanie metody N min. Do oceny środowiskowych skutków nawożenia azotem. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 440 s. 89–99.
- GORLACH E., MAZUR T. 2002. *Chemia rolna*. Warszawa. PWN ss. 347.
- GOTKIEWICZ J. 1996. Uwalnianie i przemiany azotu mineralnego w glebach hydrogenicznnych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 440 s. 121–129.
- GRZEBISZ W. 2009. Nawożenie roślin uprawnych. Cz. 2. Nawozy i systemy nawożenia. Warszawa. PWRiL ss. 376.
- KRZYWY-GAWROŃSKA E. 2006. Zmiany zawartości azotu ogólnego, azotanowego i amonowego w masie kompostów z komunalnego osadu ściekowego i wycierki ziemniaczanej podczas rozkładu. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 513 s. 243–249.
- LITYŃSKI T., JURKOWSKA H. 1982. Żyzność gleby i odżywianie się roślin. Warszawa. PWN ss. 643.
- PULIKOWSKI K. 2004. Zanieczyszczenia obszarowe w małych zlewniach rolniczych. *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu. Ser. Rozprawy CXXI*. Nr 479 ss. 137.
- SAPEK A. 2008. Emisja tlenków azotu ( $\text{NO}_x$ ) z gleb uprawnych i ekosystemów naturalnych do atmosfery. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*. T. 8 z. 1 (22) s. 283–304.
- SAPEK B. 1996. Potencjalne wymycie azotanów na tle dynamiki mineralizacji azotu w glebach użytków zielonych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 440 s. 331–341.
- SAPEK B. 2010. Uwalnianie azotu i fosforu z materii organicznej gleby. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*. T. 10 z. 3 (31) s. 229–256.
- SCHOLEFIELD D., LOCKYER D. R., WHITEHEAD D. C., TYSON K. C. 1991. A model to predict transformations and losses of nitrogen in UK pastures grazed by beef cattle. *Plant and Soil*. Vol. 132 no. 2 s. 165–171.
- Zestaw norm. Woda i ścieki 1999. Warszawa. Wydaw. Normalizacyjne Alfa-Wero.

*Franciszek CZYŻYK, Krzysztof PULIKOWSKI, Maria STRZELCZYK, Katarzyna PAWĘSKA*

### **OUTFLOW OF MINERAL FORMS OF NITROGEN FROM A LIGHT SOIL FERTILISED EVERY YEAR WITH COMPOST FROM SEWAGE SLUDGE AND MINERAL FERTILISERS**

*Key words: fertilisation, nitrogen loss, water contamination*

#### **S u m m a r y**

Presented in the paper is the assessment of the outflow of mineral forms of nitrogen from a light soil, based on 6-year studies on its every year fertilisation with compost from sewage sludge along with equivalent doses of nitrogen in mineral fertilizers. The tests were conducted in lysimeters filled with clayey sand containing 14% of earthy particles on average. The tests comprised two variants of compost fertilization ( $K_1 - 10 \text{ g N}\cdot\text{m}^{-2}$  and  $K_2 - 15 \text{ g N}\cdot\text{m}^{-2}$ ) and two variants of NPK with equivalent doses of nitrogen in the form of ammonium nitrate supplemented with PK in the form of superphosphate and potash salt. The results showed an increase of  $\text{N-NO}_3$  in the effluents from soil with the rise of fertiliser's doses. Concentrations of  $\text{N-NO}_3$  increased with the time of fertiliser application. Concentrations of nitrates in outflows from soil fertilised with saltpetre were approximately two-times higher than in variants fertilised with respective doses of nitrogen in compost.  $\text{N-NH}_4$  concentration in outflows was higher in the case of fertilisation with compost than with mineral fertilizers. Total amounts of mineral forms of nitrogen discharged in outflows amounted 12% of total nitrogen applied to the soil in variants with compost fertilisation and 20–27% in variants with mineral fertilisation.

Praca wpłynęła do Redakcji 03.08.2011 r.