

Franciszek Czyżyk¹, Agnieszka Rajmund¹

PRZENIKANIE AZOTU DO ŚRODOWISKA WODNEGO WSKUTEK NAWOŻENIA GLEBY LEKKIEJ

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki sześcioletnich badań przenikania azotu przez glebę piaszczystą (piasek gliniasty), nawożoną corocznie kompostem wytworzonym z osadu ściekowego oraz równorzędnymi dawkami azotu w nawozach mineralnych. Badania obejmowały dwa warianty nawożenia kompostem (K1 – 10 i K2 – 15 g N·m⁻²) oraz dwa warianty nawożenia mineralnego (NPK) z równorzędnymi dawkami azotu w postaci saletry amonowej, z uzupełnieniem PK w postaci superfosfatu i soli potasowej. Mierzono systematycznie objętość wszystkich odcieków oraz badano ich skład chemiczny. Stężenia azotu ogólnego i azotanowego w odciekach zwiększały się wraz ze zwiększaniem dawek nawozów. Stężenie azotu w odciekach z gleby nawożonej saletrą było znacznie większe niż w przypadku nawożenia równorzędnymi dawkami azotu w kompoście. Z gleby wymywane były nie tylko azotany, ale także azot zawarty w rozpuszczalnych związkach organicznych. Udział azotu azotanowego w ogólnej zawartości azotu w odciekach z wariantów nawożenia kompostem wyniósł 41–77%, natomiast w przypadku nawożenia saletrą był znacznie większy i stanowił od około 60 do 95%. Coroczne nawożenie gleby zarówno kompostem jak i nawozami mineralnymi powodowało systematyczne zwiększanie się stężenia azotu w odciekach wraz z upływem lat nawożenia, a tym samym ogólnej jego ilości wymywanej z gleby. Świadczy to o tworzeniu się coraz większych nadmiarów azotu w glebie.

Słowa kluczowe: nawożenie, wymywanie azotu, zanieczyszczenie wód.

WSTĘP

Intensyfikacja produkcji roślinnej w rolnictwie wiąże się ze wzrostem ilości stosowanych nawozów, co skutkuje też zwiększonym przenikaniem rozpuszczalnych ich składników, a zwłaszcza azotu, do środowiska wodnego. Stosowanie bardzo wysokich dawek nawozów, w niektórych krajach zachodnio europejskich, spowodowało potrzebę prawnego ograniczenia poziomu nawożenia w rolnictwie. W 1991 roku opracowano tzw. dyrektywę azotanową [4], określającą zasady ochrony wód przed azotanami pochodzenia rolniczego. W dyrektywie tej oraz w polskiej ustawie o nawozach i nawożeniach jest określona dopuszczalna dawka azotu, w przypadku stosowania nawozów naturalnych (gnojowica, gnojówka, obornik), wynosząca

¹ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Dolnośląski Ośrodek Badawczy we Wrocławiu, ul. Berlinga 7, 51-109 Wrocław, e-mail: f.czyzyk@itep.edu.pl, e-mail: agnieszka_rajmund@o2.pl

170 kg N·ha⁻¹ [12]. Nie ma natomiast przepisów prawnych ograniczających dawki nawozów mineralnych. Wydany przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz Ministerstwo Środowiska kodeks „dobrej praktyki rolniczej” [3] nie jest obowiązującym aktem prawnym, a jego stosowanie w praktyce jest dobrowolne. Nawożenie mineralne, stosowane obecnie w gospodarstwach rolnych prowadzących intensywną produkcję roślinną często odbiega od przyjaznych środowisku praktyk określonych we wspomnianym kodeksie. Stosowane dawki nawozów, zwłaszcza azotowych, często przekraczają poziom zalecany dla rolnictwa zrównoważonego [2].

Azot dostarczany do gleby, zarówno w postaci nawozów mineralnych jak i organicznych, nie jest w całości wykorzystywany przez rośliny. Jego formy mineralne są przyswajalne przez rośliny, ale też wymywane do wód gruntowych, a gazowe formy emitowane do atmosfery. Dostarczany do gleby azot organiczny ulega w niej złożonym i dynamicznym przemianom [5, 11]. W wyniku tych przemian, zwłaszcza nityfikacji, powstają mineralne formy azotu, a przede wszystkim azotany. Uwalniane w procesie mineralizacji N-NO₃ i N-NH₄ są wykorzystywane przez rośliny. Ich nadmiar przenika jednak do wód gruntowych [6, 10].

W obecnej praktyce rolniczej stosuje się coroczne nawożenie, a dawki nawozów ustalane są zwykle według potrzeb pokarmowych roślin, bez uwzględnienia zasobności gleby w przyswajalne składniki pokarmowe. Może to powodować powstawanie nadmiaru rozpuszczalnych składników nawozów glebie oraz zwiększone ich wymywanie i zanieczyszczanie środowiska wodnego. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki 6-letnich badań wykazujących stopień wymywania azotu z gleby lekkiej corocznie nawożonej kompostem z osadów ściekowych i nawozami mineralnymi.

WARUNKI I METODYKA BADAŃ

Badanie przeprowadzono w latach 2002-2007 w lizymetrach o średnich 100 cm (F = 0,785 m²) i głębokości 130 cm, całkowicie zamieszczonych w gruncie. Warunki w lizymetrach były więc zbliżone do naturalnych warunków polowych. Lizymetry wypełnione były piaskiem gliniastym, zawierającym średnio 14% części ziemistych (frakcja <0,02 mm). W poszczególnych latach badań stosowano kompost wytworzony z wiejskich osadów ściekowych i odpadów roślinnych, zawierający przeciętnie ok. 2,5% azotu ogólnego. W każdym roku, przed wiosennym stosowaniem kompostu do nawożenia, oznaczano w nim zawartości głównych składników nawozowych. Kompost mieszano z wierzchnią warstwą gleby. Zastosowano warianty nawożenia kompostem (K1 – 10 i K2 – 15 g N·m⁻²) oraz 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⁻² + 2,5 g P·m⁻² + 6 g K·m⁻², NPK2 – 15 g N·m⁻² + 4 g P·m⁻² + 9 g K·m⁻²). Wszystkie warianty zastosowano w trzech powtórzeniach.

W kolejnych latach badań lizymetry obsadzone były: mieszkanką traw, kukurydzą, burakami cukrowymi, gorczycą białą (na nasiona), pszenżytem i rzepakiem ozimym.

W okresie od kwietnia 2002 do czerwca 2007 systematycznie mierzono ilości opadów atmosferycznych i odcieków z lizymetrów oraz pobierano próbki tych wód do analiz laboratoryjnych. Analizy chemiczne próbek wód wykonano wg metodyki aktualnie obowiązującej i powszechnie stosowanej [7, 13].

WYNIKI BADAŃ

Objętość odcieków z lizymetrów w poszczególnych latach badań była zróżnicowana i zależała głównie od ilości opadów, a w mniejszym stopniu od wariantów nawożenia (tab. 1).

Tabela 1. Roczna suma opadów i objętość odcieków (dm^3) z lizymetrów z poszczególnych wariantów nawożenia w okresie IV 2002- VI 2007

Table 1. Volume of effluents (dm^3) from particular fertilization variants in the period of Apr. 2002 - Jun. 2007

| Rok Year | Opad roczny Annual precipitation [mm] | Objętość odcieków z poszczególnych wariantów; Volume of effluents from particular variants | | | |
|-------------|---|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | K1 | K2 | NPK1 | NPK2 |
| 2002 | 547,0 | 37,1 ¹⁾ | 28,9 ¹⁾ | 41,7 ¹⁾ | 45,2 ¹⁾ |
| 2003 | 461,5 | 66,0 | 64,3 | 64,5 | 54,6 |
| 2004 | 552,1 | 97,1 | 94,3 | 101,1 | 108,0 |
| 2005 | 679,5 | 112,1 | 123,2 | 119,7 | 122,6 |
| 2006 | 613,7 | 95,1 | 88,0 | 109,4 | 105,5 |
| 2007 | 642,0 | 64,8 ²⁾ | 62,0 ²⁾ | 69,7 ²⁾ | 64,4 ²⁾ |

¹⁾ I IV - 31 XII 2002. ²⁾ I I - 30 VI 2007

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

Explanations: K1, K2 – variants of soils fertilized with compost 10 and 15 g $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$, respectively; NPK1 – 10 g $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ + 2,5 g $\text{P}\cdot\text{m}^{-2}$ + 6 g $\text{K}\cdot\text{m}^{-2}$; NPK2 – 15 g $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ + 4 g $\text{P}\cdot\text{m}^{-2}$ + 9 g $\text{K}\cdot\text{m}^{-2}$.

Źródło: wyniki własne. **Source:** own studies.

Ocieki z lizymetrów występowały w większości w okresach późnojesiennych i zimowych. W okresach wegetacyjnych poszczególnych lat objętość odcieków była znacznie mniejsza i występowały one jedynie po obfitych opadach atmosferycznych.

W tabeli 2 podane są średnie roczne stężenia azotu ogólnego i azotanowego w odciekach z lizymetrów, obliczone jako średnia ważona z objętości poszczególnych odcieków i stężenia w nich Nog i N-NO_3 . Stężenia te były wyraźnie zróżnicowane w zależności od wariantów nawożenia. W odciekach z lizymetrów nawożonych kompostem stężenia azotu ogólnego jak i azotanowego były znacznie mniejsze od stężeń w odciekach z lizymetrów nawożonych równorzędnymi dawkami azotu w postaci saletry. We wszystkich wariantach nawożenia stężenie obydwu form azotu zwiększało się zdecydowanie wraz z upływem lat stosowania nawożenia. Z upływem lat zwiększał się też procentowy

udział azotu azotanowego w ogólnej zawartości związków azotowych w odciekach z lizymetrów. Świadczy to wyraźnie o tworzeniu się nadmiaru azotu w glebie wskutek corocznego stosowania jego dawek po 10 i 15 g N·m⁻² czyli po 100 i 150 kg N·h⁻¹. Dawki tej wielkości, w naturalnej praktyce rolniczej, nie są uważane za wysokie i są zalecane oraz stosowane dla większości uprawowych gatunków roślin [1]. Jednoznaczna tendencja zwiększania się stężeń azotu w odciekach w przypadku corocznego stosowania takich jego dawek, wskazuje na konieczność dokładnego ustalania dawek nawozów, z uwzględnieniem nie tylko potrzeb pokarmowych roślin, ale też aktualnej zasobności gleby w przyswajalne składniki pokarmowe. Pominięcie tej zasobności w ustalaniu corocznych dawek nawozów prowadzi do zwiększania stopnia zanieczyszczenia środowiska wodnego rozpuszczalnymi składnikami nawozów, a zwłaszcza azotanami.

Tabela 2. Średnie roczne stężenia azotu ogólnego i azotanowego w odciekach z poszczególnych wariantów nawożenia w okresie IV 2002- VI 2007 w mg·dm⁻³

Table 2. The average annual concentration of total nitrogen and nitrate in the leachate from different variants of fertilization during Apr. 2002 - Jun. 2007 in mg·dm⁻³

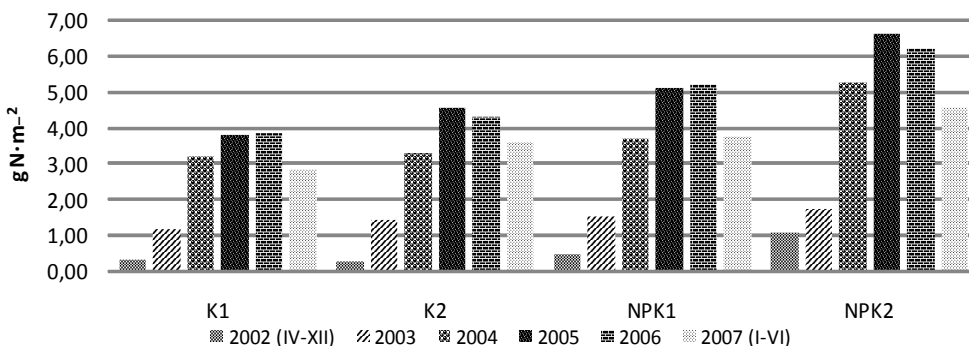
| Rok Year | K1 | | | K2 | | | NPK1 | | | NPK2 | | |
|--------------------|------|-------------------|---------------------------|------|-------------------|---------------------------|------|-------------------|---------------------------|------|-------------------|---------------------------|
| | Nog | N-NO ₃ | N-NO ₃ :N % | Nog | N-NO ₃ | N-NO ₃ :N % | Nog | N-NO ₃ | N-NO ₃ :N % | Nog | N-NO ₃ | N-NO ₃ :N % |
| 2002 ¹⁾ | 5,7 | 3,1 | 54 | 6,3 | 3,8 | 60 | 8,2 | 4,8 | 59 | 17,9 | 13,9 | 78 |
| 2003 | 13,8 | 6,6 | 48 | 16,8 | 6,9 | 41 | 18,4 | 11,2 | 61 | 24,4 | 20,7 | 85 |
| 2004 | 25,5 | 16,7 | 65 | 27,2 | 19,7 | 72 | 28,3 | 20,3 | 72 | 38,1 | 32,4 | 85 |
| 2005 | 26,3 | 17,5 | 67 | 29,0 | 21,0 | 72 | 33,4 | 23,7 | 71 | 42,1 | 39,0 | 93 |
| 2006 | 31,3 | 24,2 | 77 | 38,3 | 29,2 | 76 | 37,3 | 34,4 | 92 | 45,9 | 43,8 | 95 |
| 2007 ²⁾ | 33,9 | 26,0 | 77 | 45,3 | 34,9 | 77 | 41,9 | 36,4 | 87 | 55,1 | 49,3 | 89 |

¹⁾ IV - 31 XII 2002. ²⁾ I I - 30 VI 2007

Źródło: wyniki własne. **Source:** own studies.

We wspomnianej we wstępie dyrektywie azotanowej, a także w literaturze dotyczącej zanieczyszczenia środowiska wodnego przez rolnictwo, podkreśla się głównie zagrożenia dla czystości wód ze strony azotanów pochodzenia rolniczego. Omawiane w niniejszej pracy wyniki badań wskazują jednak, że duże jest również zagrożenie wymywaniem z gleby azotem zawartym w rozpuszczalnych związkach organicznych, zwłaszcza w przypadku jej nawożenia nawozami organicznymi, np. kompostem. Udział azotu azotanowego w ogólnej zawartości azotu w odciekach z gleby nawożonej kompostem wynosił tylko 41–77%, natomiast w warunkach nawożenia mineralnego był znacznie wyższy i wynosił od około 60 do 95%. W przypadku nawożenia mineralnego był to udział podobny jak w wodach drenarskich i powierzchniowych odpływających z obszarów użytkowanych rolniczo [9]. Ilość azotu ogólnego odprowadzanego w odciekach z gleby, podobnie jak jego stężenia, zależna była od dawek i rodzaju nawozów (rys.1). Zwiększała się ze wzrostem dawek nawozów, ale

w przypadku nawożenia mineralnego była też znacznie większa niż w wariantach nawożenia równorzędnymi dawkami azotu w komposcie. Straty azotu, spowodowane jego wymywaniem z gleby, zwiększały się też z stopniowo z napływem lat stosowania nawożenia, co dobitnie wskazuje na tworzenie się coraz większych nadmiarów tego składnika w glebie.



Rys. 1. Roczna suma ładunku N_{og} odprowadzanego w odciekach w okresie IV 2002–VI 2007 w g N na lizymetr; K1, K2, NPK1, NPK2; źródło: wyniki własne

Fig. 1. Annual sum of N_{Tot} loads released in effluents in the period of Apr. 2002–Jun. 2007, g N per 1 lysimeter; K1, K2, NPK1, NPK2 – as in Tab. 2; source: own studies

WNIOSKI

1. Stężenie azotu ogólnego i azotanowego w odciekach z gleby zależne jest od rodzaju oraz wielkości dawek nawozów i zwiększa się ze zwiększeniem stosowanych dawek. Jest ono także znacznie mniejsze w odciekach z gleby nawożonej kompostem niż w przypadku nawożenia równorzędnymi dawkami azotu w postaci saletry.
2. Coroczne nawożenie gleby zarówno kompostem jak i nawozami mineralnymi powodowało systematyczne zwiększanie się stężenia azotu w odciekach wraz z upływem lat nawożenia, a tym samym ogólnej jego ilości wymywanej z gleby. Świadczy to o tworzeniu się coraz większych nadmiarów azotu w glebie.
3. Z gleby wymywane są nie tylko mineralne formy azotu, ale także azot zawarty w rozpuszczalnych związkach organicznych, zwłaszcza w przypadku jej nawożenia kompostem, kiedy do udziału azotu azotanowego w ogólnej zawartości wymywanych związków azotanowych jest znacznie mniejszy niż w przypadku nawożenia równorzędnymi dawkami azotu w postaci saletry.
4. Systematyczna eskalacja ilości wymywanego z gleby azotu, wraz z upływem lat stosowania nawożenia, wskazuje na konieczność dokładnego ustalania dawek nawozów (z uwzględnieniem nie tylko potrzeb pokarmowych roślin, ale także zawartości przyswajalnych składników w glebie) oraz stosowania zabiegów zwiększających stopień ich wykorzystania przez rośliny.

PIŚMIENNICTWO

1. Czuba R. (red.) 1986. Nawożenie. Wyd. II. Warszawa PWRiL 564.
2. Czyżyk F. 2011. Ocena zużycia nawozów mineralnych w gospodarstwach rolnych w aspekcie ochrony środowiska. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 3(73): 69-76.
3. Duer J., Fotyma M. Madej A 2004 Kodeks dobrej praktyki rolniczej. Wyd. 3. Warszawa. MRiRW, MŚ. 93.
4. Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego Dz. U. UE L 375.
5. Fotyma E. 1996. Zastosowanie metody Nmin. Do oceny środowiskowych skutków nawożenia azotem. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 440: 121-129.
6. Gotkiewicz J. 1996. Uwalnianie i przemiany azotu mineralnego w glebach hydrogenicznych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 440: 121-129
7. Hermanowicz W., Dożańska W., Dojlido J., Kosiorowski B., Zerze J. 1999. Fizyczno - chemiczne badania wody i ścieków. Arkady, Warszawa: 540ss.
8. Herse J. (red.) 1980. Szczegółowa uprawa roślin. PWRiL. Warszawa. 622.
9. Pulikowski K, Czyżyk F. Pawęska K., Strzelczyk M. 2012. Udział azotu azotanowego w ogólnej zawartości azotu w wodach odpływowych ze zlewni użytkowanych rolniczo. PAN O/Kraków, Nr. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich.
10. Sapek B. 1996. Potencjalne wymycie azotanów na tle dynamiki mineralizacji azotu w glebach użytków zielonych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 440: 331-341.
11. Scholefield D., Lockyer D. R., Whithead D. C., Tyson K. C. 1991. A model to predict transformations and losses of nitrogen in UK pastures grazed by beef cattle. *Plant and Solid*. Vol. 132, no. 2: 165-171.
12. Ustawa o nawozach i nawożeniu z 10 lipca 2007 r. Dz.U. 2007 Nr 147. poz. 1033.
13. Zestaw Norm 1999. Woda i ścieki. Wyd. Normalizacyjne Alfa – Wero. Warszawa.

PENETRATION OF NITROGEN INTO WATER AS A RESULT OF FERTILIZATION OF LIGHT SOIL

Abstract: In this article there are present the results of six-year study of infiltration of nitrogen through the sand soil (loamy sand). Every year the soil was fertilized by compost (from sewage sludge) and equivalent doses of nitrogen in mineral fertilizers. Two variants of compost fertilization (K1-10 and K2-15 g N·m⁻²) were used. Additionally two variants of NPK with equivalent doses of nitrogen as an ammonium nitrate supplemented with PK as a superphosphate and potassium salt were applied. Systematically there were investigated the volume of all leachates and their chemical composition. With increasing doses of fertilizers the concentrations of total nitrogen and nitrate nitrogen in the leachate were increased. The concentration of nitrogen in the leachate from the soil fertilized by nitrate was much greater than in compost with equivalent dose of nitrogen. Not only nitrates but also nitrogen from soluble organic compounds were rinsed from the soil. In the case of soil fertilized by compost the participation of nitrates in the total value of nitrogen in the leachate was 41-77%. However in the case of fertilization by ammonium sulphate this proportion was significantly higher and was in the range 60-95%. Over the years, a systematic soil fertilization by both ways increased the nitrogen concentrations in leachate. It shows that in the soil there is surplus of nitrogen, increasing during the time.

Keywords: fertilization, leaching of nitrogen, water pollution.