

ANDRZEJ SAPEK, BARBARA SAPEK

## ZMIANY ZAWARTOŚCI AZOTU MINERALNEGO W GLEBIE ŁĄKOWEJ NA TLE ZRÓŻNICOWANEGO NAWOŻENIA AZOTEM

### CHANGES OF THE MINERAL NITROGEN CONTENT IN MEADOW SOIL ON THE BACKGROUND OF DIFFERENTIATED NITROGEN FERTILIZATION

Zakład Chemii Gleby i Wody, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach

*Abstract:* The content of mineral nitrogen has been determined in soil of a long-term field experiment, with sprinkler irrigation applied. The soil samples have been taken from four layers in spring and after each of four grass regrowth. The nitrogen fertilizer rates ranged 120 to 360 kg · ha<sup>-1</sup>. Some objects were partly fertilized with liquid manure. The fertilization level has a significant effect on the N-NO<sub>3</sub> content in whole soil profile. The applied liquid manure did not intensify the content in question. The highest N-NO<sub>3</sub> content was observed during the most intense plant growing, and the lowest before and after the growing season. A drastic increase in N-NO<sub>3</sub> content, particularly in the upper soil layer, has been observed since 2000. This unexpected increase is difficult to explain at the present state of study.

*Słowa kluczowe:* azot amonowy i azotanowy, gleba łąkowa, nawożenie azotem, mineralizacja azotu.

*Key words:* ammonium, grassland soil, nitrate, nitrogen fertilization, nitrogen mineralization.

### WSTĘP

Ilość azotu mineralnego ( $N_{min} = N-NO_3 + N-NH_4$ ) w glebie łąkowej jest niewspółmiernie mała w porównaniu z zawartością azotu organicznego, a często mniejsza od ilości wnoszonych corocznie z nawozami [Ryden i in. 1984; Werner 1990]. Aktualna zawartość azotu mineralnego w glebie, zarówno azotanowego ( $N-NO_3$ ) jak i azotu amonowego ( $N-NH_4$ ), jest wypadkową między ilościami uwalnianymi z glebowej materii organicznej i pobieranymi przez rosnące rośliny i mikroorganizmy glebowe. Ponadto  $N_{min}$  jest wnoszony do gleby z nawozami i opadem atmosferycznym oraz tracony w wyniku emisji gazowych i wymywania do wody gruntowej. Ilości oznaczone w próbkach gleby pobranej w określonym terminie odpowiadają stanowi równowagi zależnej od nasilenia poszczególnych procesów, a zwłaszcza procesu mineralizacji.

Celem niniejszego opracowania było sprawdzenie, w jakim stopniu na aktualną zawartość N<sub>min</sub> w 0–100 cm warstwie profilu gleby łąkowej ma wpływ poziom nawożenia azotem i jak zmienia się ta zawartość w sezonie wegetacyjnym. Badania prowadzono na przykładzie deszczowanej łąki trwałej.

Spodziewano się otrzymania odpowiedzi na następujące pytania:

1. Jaki wpływ ma poziom nawożenia azotem na zawartość N<sub>min</sub> w glebie po kolejnych odrostach runi?
2. Czy aktualna zawartość N<sub>min</sub> w glebie stwarza potencjalne możliwości wymycia azotanów z profilu?
3. W jakim zakresie różnicę w zawartości N-NO<sub>3</sub> w glebie w jesieni i wiosną można wykorzystać do przewidywania wymycia azotanów?
4. Czy stosowanie nawozów naturalnych (gnojówki) bogatych w węgiel sprzyja mineralizacji azotu?

Opisane badania nawiązują do badań podjętych w 1987 roku w ramach projektu zleconego przez Ministerstwo Rolnictwa Stanów Zjednoczonych [Sapek 1994]. Wstępne wyniki dotyczące zawartości N<sub>min</sub> w glebie omówiono w poprzednich pracach [Sapek A. 1997, 2000].

## MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe założono w Zakładzie Doświadczalnym IMUZ w Falentach w 1987 r. na łące trwałej położonej na czarnej ziemi zdegradowanej, o składzie granulometrycznym gliny średniej i o zawartości węgla organicznego 20 g · kg<sup>-1</sup> w warstwie 0–20 cm. Doświadczenie założono metodą bloków losowanych w czterech powtórzeniach na poletkach o powierzchni 60 m<sup>2</sup>. Stosowano nawożenie saletrą amonową 120 (N-120), 240 (N-240) i 360 (N-360) oraz gnojówką 240 (G-240) i 360 (G-360) kg N/ha w odpowiednich dawkach pod każdy pokos (tab. 1). Objętość stosowanej gnojówki ustalano na podstawie zawartości w niej potasu odpowiadającej dawce tego składnika. Brakujący azot uzupełniano saletrą amonową, przeciętnie w ilości 50–60% przyjętej dawki azotu, a fosfor – superfosfatem. Na wszystkich obiektach doświadczenia zbierano początkowo trzy pokosy, a od 1991 r. – cztery.

Łąkę, w celu prowadzenia badań nad wymywaniem składników nawozowych, drenowano na głębokości 180 cm. Stosowano więc nawodnienie deszczowniane od

120 do 240 mm rocznie, w dawkach polewowych 20 mm. Rocznie, w zależności od natężenia i rozkładów opadów, przesiąkało poza strefę korzeniową od 45 do 200 mm [Sapek A. 1997]. Średnie stężenie N-NO<sub>3</sub> w wodzie do nawodnień wynosiło około 5 mg · dm<sup>-3</sup> N [Sapek i in. 2003a]. Z opadami atmosferycznymi

TABELA 1. Dawki azotu stosowane przed kolejnym odrostem [kg · ha<sup>-1</sup>]  
TABLE 1. Nitrogen fertilizer rates applied before each regrowth [kg · ha<sup>-1</sup>]

Odrost Regrowth	Obiekt nawozowy – Fertilization object				
	N-120	N-240	N-360	G-240	G-360
I	40	80	120	80	120
II	30	60	90	60	90
III	30	60	90	60	90
IV	20	40	60	40	60

rycznymi było wnoszone rocznie od 13 do 25 kg azotu na 1 ha, głównie w postaci jonu amonowego [Sapek i in. 2003b].

Próbki gleby pobierano z czterech warstw profilu: 0–10, 10–30, 30–60 i 60–100 cm pięć razy w roku: wiosną przed ruszeniem vegetacji i tuż po zebraniu kolejnych odrostów. Z każdego poletka i warstwy obiektu pobierano próbki pierwotne w czterech powtórzeniach, które po zmieszaniu stanowiły średnią próbkę laboratoryjną używaną do analiz. W sumie zbadano 6250 średnich próbek gleby.

Objętość 25 cm<sup>3</sup> próbki laboratoryjnej odmierzano w specjalnym aparacie stosując nacisk równy 1,3 MPa [Patent Nr P. 344033, 2005]. Objętościowe odmierzanie próbek gleby uniezależnia pomiar od gęstości gleby, wykazującej dużą zmienność na użytkach zielonych, a pozwala obliczyć zawartość N<sub>min</sub> w glebie w przeliczeniu na ha, gdyż 1 mg · dm<sup>-3</sup> N<sub>min</sub> równa się 1 kg · ha<sup>-1</sup> N<sub>min</sub> w 10 cm warstwie gleby.

Oznaczenie N-NO<sub>3</sub> i N-NH<sub>4</sub> wykonywano w wyciągu 1% K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> przygotowanym w stosunku objętościowym 25 cm<sup>3</sup> gleby do 100 cm<sup>3</sup> roztworu K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Analizy wykonywano za pomocą autoanalyzera przepływowego. Azotany oznaczano kolorymetrycznie z N-1-naftyloetylenodwuaminą, a amon kolorymetrycznie z salicylanem sodu, zgodnie z metodyką producenta urządzenia. Wyniki podano w przeliczeniu na zawartość N w mg · dm<sup>-3</sup> gleby. Przedstawione dane zebrano od 1 stycznia 1988 do 31 grudnia 2005 roku.

Średnie wartości porównywano za pomocą testu „t” dla prób zależnych.

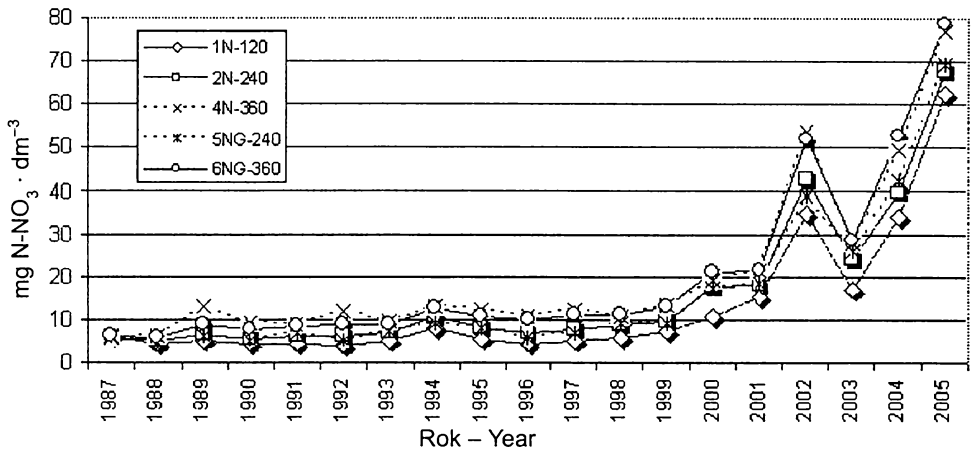
## WYNIKI

O potrzebie pobierania próbek gleby z każdego poletka obiektu nawozowego świadczą duże współczynniki zmienności dla średniej z czterech powtórzeń mieszczące się w przedziale od 5 do 50% niezależnie od obiektu, terminu i głębokości pobrania próbek.

Średnia zawartość N-NO<sub>3</sub> w 0–10 cm warstwie gleby utrzymywała się na wyrównanym poziomie w latach od 1988 do 1999, z tendencją do zwiększania się w kolejnych latach. Od roku 2000 zaobserwowano drastyczne zwiększanie się tej zawartości, zwłaszcza w warstwach 0–10 i 10–30 cm (rys. 1). Duże różnice w zawartości N-NO<sub>3</sub> w tych dwóch przedziałach czasu uniemożliwiały otrzymanie jasnego obrazu zjawisk z całego okresu objętego badaniami. Rozpatrywano, więc osobno wyniki z lat od 1988 do 1999 oraz od 2000 do 2005.

### Lata od 1988 do 1999

Zawartość N-NO<sub>3</sub> we wszystkich warstwach gleby wzrastała istotnie wraz ze zwiększaniem poziomu nawożenia azotem. Nawożenie organiczno-mineralne (z gnojówką), w porównaniu z nawożeniem mineralnym, nie powodowało zróżnicowania zawartości N-NO<sub>3</sub> na obiekcie G-240, a na obiekcie G-360 takie zróżnicowanie obserwowano tylko w głębszych warstwach profilu (tab. 2). Termin pobrania próbek miał istotny wpływ na tę zawartość. Najmniejsze zawartości N-NO<sub>3</sub> obserwowano w próbkach pobieranych przed ruszeniem vegetacji, a największe – w pobieranych w lecie, po II odroście. Zależność ta dotyczyła wszystkich obiektów i warstw profilu (tabele 2 i 3). Zawartość N-NO<sub>3</sub> malała w głąb profilu na wszystkich obiektach i w każdym terminie pobrania próbek (tab. 4).



RYSUNEK 1. Średnia zawartość N-NO<sub>3</sub> w 0–10 cm warstwie gleby z wszystkich terminów pobrania próbek w kolejnych latach doświadczenia  
 FIGURE 1. The mean content of N-NO<sub>3</sub> in 0–10 cm soil layer from all dates of sampling in the subsequent years of experiment

Średnie zawartości N-NH<sub>4</sub> cechował duży współczynnik zmienności (V%), przekraczający na ogół 100%, co utrudniało wykonanie porównań statystycznych. Zawartość N-NH<sub>4</sub> stanowiła przeciętnie od 10 do 17% N<sub>min</sub> w próbce. Stosunkowo największy procent obserwowano w próbkach z obiektu N120, a najmniejszy z obiektów nawożonych gnojówką.

Nie stwierdzono wpływu poziomu nawożenia azotem oraz terminu pobrania próbki na zawartość N-NH<sub>4</sub>. Obserwowano jedynie tendencję zmniejszanie się tej zawartości w głąb profilu gleby (tabele 5 i 6). Zawartość N-NH<sub>4</sub> była słabo skorelowana z zawartością N-NO<sub>3</sub>.

### Lata od 2000 do 2005

Począwszy od 2000 r. nastąpiło zwiększanie zawartości N-NO<sub>3</sub> w całym profilu gleby, aczkolwiek było największe w powierzchniowej warstwie. Duże współczynniki zmienności uniemożliwiły wykonanie porównań statystycznych, mimo że obserwowano wpływ poziomu nawożenia azotem na oznaczaną zawartość w całym profilu gleby (tab. 7). Podobnie obserwowano tendencję do występowania największej zawartości w próbkach gleby pobranych z warstwy 0–10 cm po I i III odroście (tab. 8). Natomiast największe zawartości N-NH<sub>4</sub> znajdowano w próbkach pobranych po II odroście (tab. 9). W profilu najwięcej N-NH<sub>4</sub> znajdowano w warstwie powierzchniowej i obserwowano tylko małe zróżnicowanie tej zawartości w głębszych warstwach (tab. 10).

## DYSKUSJA

Wyniki badań prowadzonych przez pierwsze 11 lat odpowiedziały na podstawowe pytanie, w jakim zakresie poziomu nawożenia azotem kształtuje zawartość N-NO<sub>3</sub> w profilu gleby łąkowej. Średnia zawartość N-NO<sub>3</sub> w każdej warstwie gleby wzrastała w miarę zwiększania dawki nawozu azotowego. Częściowe zastąpienie azotu saletry amonowej azotem gnojówki sprzyjało zmniejszeniu

TABELA 2. Średnia zawartość N-NO<sub>3</sub> [mg · dm<sup>-3</sup>] w próbkach świeżej gleby pobranej z obiektów nawozowych w pięciu terminach każdego roku (1988–1999); liczba próbek pobranych w kolejnych terminach z każdego obiektu i warstwy = 48

TABLE 2. Mean content of N-NO<sub>3</sub> [mg · dm<sup>-3</sup>] in fresh soil samples collected from fertilization objects in five dates yearly (1988–1999). Number of samples taken in subsequent dates from each object and layer = 48

Obiekt – Object	N-120 (a)	N-240 (b)	N-360 (c)	G-240 (d)	G-360 (e)
0–10 cm warstwa gleby – 0–10 cm soil layer					
Przed ruszeniem vegetacji Before beginning of vegetation	4,8 <sup>bce</sup>	6,2 <sup>ace</sup>	8,4 <sup>abd</sup>	5,8 <sup>acc</sup>	7,9 <sup>abd</sup>
I odrost – I regrowth	5,3 <sup>bce</sup>	7,2 <sup>ace</sup>	10,8 <sup>abd</sup>	6,9 <sup>ace</sup>	9,6 <sup>abd</sup>
II odrost – II regrowth	5,9 <sup>bcede</sup>	8,7 <sup>ace</sup>	13,6 <sup>abd</sup>	8,5 <sup>ace</sup>	12,0 <sup>abd</sup>
III odrost – III regrowth	5,2 <sup>bcede</sup>	7,8 <sup>acc</sup>	11,3 <sup>abd</sup>	7,2 <sup>acc</sup>	9,8 <sup>abd</sup>
IV odrost – IV regrowth	5,1 <sup>bcede</sup>	6,9 <sup>ace</sup>	10,7 <sup>abd</sup>	6,9 <sup>ace</sup>	9,5 <sup>abd</sup>
10–30 cm warstwa gleby – 10–30 cm soil layer					
Przed ruszeniem vegetacji Before beginning of vegetation	4,3 <sup>bcede</sup>	5,5 <sup>ace</sup>	7,2 <sup>abd</sup>	5,3 <sup>acc</sup>	6,7 <sup>abd</sup>
I odrost – I regrowth	4,7 <sup>bcede</sup>	6,6 <sup>ace</sup>	9,4 <sup>abde</sup>	6,1 <sup>ace</sup>	8,3 <sup>abcd</sup>
II odrost – II regrowth	5,2 <sup>bcede</sup>	7,6 <sup>ace</sup>	11,4 <sup>abde</sup>	7,0 <sup>ace</sup>	9,9 <sup>abcd</sup>
III odrost – III regrowth	4,8 <sup>bcede</sup>	6,2 <sup>ace</sup>	9,6 <sup>abde</sup>	5,7 <sup>acc</sup>	7,9 <sup>abcd</sup>
IV odrost – IV regrowth	4,7 <sup>bcede</sup>	6,3 <sup>acde</sup>	9,2 <sup>abde</sup>	5,7 <sup>abce</sup>	8,2 <sup>abcd</sup>
30–60 cm warstwa gleby – 30–60 cm soil layer					
Przed ruszeniem vegetacji Before beginning of vegetation	3,6 <sup>bcede</sup>	4,6 <sup>ace</sup>	6,2 <sup>abde</sup>	4,3 <sup>acc</sup>	5,5 <sup>abcd</sup>
I odrost – I regrowth	3,7 <sup>bcede</sup>	5,0 <sup>acde</sup>	7,1 <sup>abde</sup>	4,5 <sup>abce</sup>	6,2 <sup>abcd</sup>
II odrost – II regrowth	4,0 <sup>bcede</sup>	5,8 <sup>acc</sup>	9,6 <sup>abd</sup>	5,6 <sup>ace</sup>	8,6 <sup>abd</sup>
III odrost – III regrowth	3,5 <sup>bcede</sup>	4,8 <sup>acc</sup>	7,4 <sup>abde</sup>	4,5 <sup>acc</sup>	6,3 <sup>abcd</sup>
IV odrost – IV regrowth	3,6 <sup>bcede</sup>	4,8 <sup>acc</sup>	7,2 <sup>abde</sup>	4,6 <sup>acc</sup>	6,4 <sup>abcd</sup>
60–100 cm warstwa gleby – 60–100 cm soil layer					
Przed ruszeniem vegetacji Before beginning of vegetation	3,0 <sup>bcede</sup>	3,5 <sup>ace</sup>	4,7 <sup>abde</sup>	3,7 <sup>acc</sup>	4,1 <sup>abcd</sup>
I odrost – I regrowth	2,9 <sup>bcede</sup>	3,8 <sup>ace</sup>	5,7 <sup>abd</sup>	3,7 <sup>acc</sup>	5,1 <sup>abd</sup>
II odrost – II regrowth	3,0 <sup>bcede</sup>	4,6 <sup>ace</sup>	7,2 <sup>abde</sup>	4,1 <sup>acc</sup>	6,4 <sup>abcd</sup>
III odrost – III regrowth	2,9 <sup>bcede</sup>	3,5 <sup>acc</sup>	6,2 <sup>abde</sup>	3,4 <sup>acc</sup>	5,0 <sup>abcd</sup>
IV odrost – IV regrowth	2,9 <sup>bcede</sup>	3,7 <sup>acc</sup>	5,7 <sup>abde</sup>	3,7 <sup>acc</sup>	4,9 <sup>abcd</sup>

<sup>abcde</sup> – litery oznaczają istotne różnice między obiektami nawozowymi przy  $p < 0,05$

<sup>abcde</sup> – letters mean a significant difference between the fertilization objects by  $p < 0.05$

zawartości N-NO<sub>3</sub>, aczkolwiek istotne różnice obserwowano tylko w niektórych głębszych warstwach gleby. Średnia zawartość N-NO<sub>3</sub> w całym, 0–100 cm, profilu gleby z obiektu N-360 wynosiła 75 kg N · ha<sup>-1</sup> i była mniejsza niż zawartość, którą obserwowano na intensywnych użytkach zielonych w Anglii [Jarvis, Barraclough 1991; Ryden i in. 1984]. Fotyma i in. [2002] stwierdzili podobną średnią zawartość N<sub>min</sub>

TABELA 3. Średnia zawartość N-NO<sub>3</sub> [mg · dm<sup>-3</sup>] w próbkach świeżej gleby pobranej z 0–10 cm warstwy w pięciu terminach każdego roku (1988–1999), liczba próbek pobranych w każdym terminie z każdego obiektu = 20

TABLE 3. Mean content of N-NO<sub>3</sub> [mg · dm<sup>-3</sup>] in fresh soil samples collected from 0–10 cm layer in five dates yearly (1988–1999), number of samples taken in subsequent dates from each object = 20

Obiekt Object	Termin pobrania próbek – Sampling date				
	Przed ruszeniem vegetacji Before beginning of vegetation	I odrost I regrowth	II odrost II regrowth	III odrost III regrowth	IV odrost IV regrowth
N-120	3,9 <sup>c</sup>	4,2 <sup>cde</sup>	4,5 <sup>ade</sup>	4,1 <sup>b</sup>	4,1 <sup>bc</sup>
N-240	4,9 <sup>bcd</sup>	5,6 <sup>acde</sup>	6,6 <sup>abde</sup>	5,6 <sup>abc</sup>	5,4 <sup>abc</sup>
N-360	6,6 <sup>bcd</sup>	8,3 <sup>ac</sup>	10,5 <sup>abde</sup>	8,6 <sup>ac</sup>	8,2 <sup>ac</sup>
G-240	4,8 <sup>bcd</sup>	5,3 <sup>acd</sup>	6,3 <sup>abde</sup>	5,2 <sup>abc</sup>	5,2 <sup>ac</sup>
G-360	6,0 <sup>bcd</sup>	7,3 <sup>ac</sup>	9,2 <sup>abde</sup>	7,3 <sup>ac</sup>	7,3 <sup>a</sup>

<sup>abcde</sup> – litery oznaczają istotne różnice między obiektami nawozowymi przy p<0,05

<sup>abcde</sup> – letters mean a significant difference between the fertilization objects by p<0.05

odpowiadającą ~7 mg · kg<sup>-1</sup> w próbkach z 0–90 cm warstwy gleb ornich pobranych w 276 powiatach, gdzie z nawozami mineralnymi i naturalnymi przeciętnie stosowano azot w ilości około 75 kg · ha<sup>-1</sup> · rok<sup>-1</sup>.

Najmniejsze zawartości N-NO<sub>3</sub> obserwowano w próbkach pobranych wiosną, przed ruszeniem vegetacji, a największe – w pobranych późną wiosną, po drugim odroście, gdy temperatura gleby była już wysoka. W lecie i wczesną jesienią zawartości te malały, mimo że wilgotność gleby była utrzymywana na podobnym poziomie przez nawadnianie deszczowniane. Różnice zawartości w próbkach pobranych przed ruszeniem vegetacji oraz po I i II odroście, a często także po III odroście były istotne. To zjawisko nie zgadza się z ogólnie panującym poglądem, iż najmniejsze zawartości

TABELA 4. Średnia zawartość N-NO<sub>3</sub> [mg · dm<sup>-3</sup>] w próbkach świeżej gleby pobranej z kolejnych warstw w pięciu terminach każdego roku (1988–1999), liczba próbek pobranych z każdego obiektu = 228

TABLE 4. Mean content of N-NO<sub>3</sub> [mg · dm<sup>-3</sup>] in fresh soil samples collected from subsequent layers in five dates (1988–1999), number of samples taken from each object = 228

Obiekt Object	Warstwa gleby – Soil layer [cm]				N-NO <sub>3</sub> [kg · ha <sup>-1</sup> ]
	0–10	10–30	30–60	60–100	
N-120	5,2 <sup>bcd</sup>	4,7 <sup>acd</sup>	3,7 <sup>abd</sup>	2,9 <sup>abc</sup>	37
N-240	7,3 <sup>bcd</sup>	6,4 <sup>acd</sup>	5,0 <sup>abd</sup>	3,8 <sup>abc</sup>	50
N-360	10,9 <sup>bcd</sup>	9,3 <sup>acd</sup>	7,4 <sup>bd</sup>	5,9 <sup>abc</sup>	75
G-240	7,0 <sup>bcd</sup>	5,9 <sup>acd</sup>	4,7 <sup>abd</sup>	3,7 <sup>abc</sup>	48
G-360	9,7 <sup>bcd</sup>	8,1 <sup>acd</sup>	6,5 <sup>abd</sup>	5,1 <sup>abc</sup>	66

<sup>abcde</sup> – litery oznaczają istotne różnice między obiektami nawozowymi przy p<0,05

<sup>abcde</sup> – letters mean a significant difference between the fertilization objects by p<0.05

TABELA 5. Średnia zawartość  $N-NH_4$  [ $mg \cdot dm^{-3}$ ] w próbkach świeżej gleby pobranej z 0–10 cm warstwy w pięciu terminach każdego roku (1988–1999), liczba próbek pobranych w każdym terminie z każdego obiektu = 20

TABLE 5. Mean content of  $N-NH_4$  [ $mg \cdot dm^{-3}$ ] in fresh soil samples collected from 0–10 cm layer in five dates yearly (1988–1999), number of samples taken in subsequent dates from each object = 20

Obiekt	Termin pobrania próbek – Sampling date				
Object	Przed ruszeniem vegetacji Before beginning of vegetation	I odrost I regrowth	II odrost II regrowth	III odrost III regrowth	IV odrost IV regrowth
N-120	1,15	1,31	1,55	1,22	1,41
N-240	1,31	1,46	1,78	1,47	1,62
N-360	1,13	1,21	1,65	1,25	1,33
G-240	1,22	1,21	1,50	1,25	1,31
G-360	1,24	1,27	1,31	1,20	1,22

$N-NO_3$  w glebie występują w czasie najbardziej intensywnego pobierania azotu przez rośliny, występującego na użytkach zielonych w czasie I i II odrostu [Werner 1990]. A także poglądem, że największe nagromadzenie azotanów w glebach uprawnych występuje pod koniec wegetacji na skutek ograniczonego pobierania przez rośliny [Wehrmann i in. 1988]. Wymienione poglądy dotyczą upraw polowych, które mają pełny cykl rozwojowy kończący się stadium pełnej dojrzałości i wstrzymaniem zapotrzebowania na azot. Przedstawione wyniki badań wykazały, że zawartość  $N-NO_3$  w glebie łąkowej jest proporcjonalna do intensywności pobierania azotu przez roślinność łąkową, co może sugerować, iż wydajność mineralizacji ma ten sam rytm co wzrost roślin. Rytm użytkowania łąk w każdym pokosie przerywa rozwój roślin w ich najbardziej energicznym wzroście, a ogłowiona roślinność trawiasta szybko powraca do normalnego rozwoju.

Niewielkie różnice w średniej zawartości  $N-NO_3$  w glebie przed i po zakończeniu wegetacji, mieszczące się w granicach od 0,1 do 2,3  $mg \cdot dm^{-3}$  stanowią zbyt małą podstawę do wyznaczania ilości wymywanego  $N-NO_3$  w okresie zimowym. Wyjaśniają jednak zjawisko znacznie mniejszego wymywania azotanów z użytków zielonych w

TABELA 6. Średnia zawartość  $N-NH_4$  [ $mg \cdot dm^{-3}$ ] w próbkach świeżej gleby pobranej z kolejnych warstw w pięciu terminach każdego roku (1988–1999), liczba próbek pobranych z każdego obiektu = 228

TABLE 6. Mean content of  $N-NH_4$  [ $mg \cdot dm^{-3}$ ] in fresh soil samples collected from subsequent layers in five dates (1988–1999), number of samples taken from each object = 228

Obiekt Object	Warstwa gleby – Soil layer				$N-NH_4$ [ $kg \cdot ha^{-1}$ ]
	0–10 cm	10–30 cm	30–60 cm	60–100 cm	
N-120	1,41	1,17	1,14	1,10	11,6
N-240	1,61	1,20	1,14	1,17	12,1
N-360	2,24	1,44	1,20	1,23	13,6
G-240	1,45	1,25	1,23	1,13	12,2
G-360	1,63	1,33	1,26	1,20	12,9

TABELA 7. Średnia zawartość N-NO<sub>3</sub> [mg · dm<sup>-3</sup>] w próbkach świeżej gleby pobranej z kolejnych warstw w pięciu terminach każdego roku (2000–2005), liczba próbek pobranych z każdego obiektu i warstwy = 120

TABLE 7. Mean content of N-NO<sub>3</sub> [mg · dm<sup>-3</sup>] in fresh soil samples collected from subsequent layers in five dates (2000–2005), number of samples taken in from each object and layer = 120

Obiekt Object	Zawartość N-NO <sub>3</sub> – Content of N-NO <sub>3</sub> [mg · dm <sup>-3</sup> ]				Współczynnik zmienności [%] Variation coefficient [%]			
	Warstwa gleby – Soil layer [cm]				Warstwa gleby – Soil layer [cm]			
	0–10	10–30	30–60	60–100	0–10	10–30	30–60	60–100
N-120	35,6	13,4	7,7	5,0	102	60	86	140
N-240	41,6	16,2	8,8	5,1	81	48	46	64
N-360	48,9	20,8	13,9	8,3	73	70	101	92
G-240	42,4	16,9	8,8	5,5	78	52	54	171
G-360	50,3	19,6	11,0	6,4	68	64	45	46

porównaniu z użytkami ornymi. Dodatkowym potwierdzeniem tego ograniczonego wymywania jest rozkład zawartości N-NO<sub>3</sub> w profilu gleby łąkowej w czasie sezonu wegetacyjnego. Zawartość ta istotnie maleje w głąb profilu przez cały sezon wegetacyjny. Ilości N-NO<sub>3</sub> występujące w głębszych warstwach profilu są zbyt małe, by stanowiły większe zagrożenie dla jakości wody gruntowej. Zastosowanie gnojówki, dobrego i nawozu zalecanego na łąki, miało niewielki i na ogół nieistotny wpływ na zawartość N-NO<sub>3</sub> w porównaniu z wpływem na obiektach nawożonych nawozami mineralnymi. Przyczyny tego zjawiska można doszukiwać się w wolniejszym uwalnianiu się amoniaku z mocznika i pozostałych związków zawartych w gnojówce, a także strat uwolnionego amoniaku na skutek jego emisji.

Przeciętna zawartość N-NH<sub>4</sub> (~12 kg · ha<sup>-1</sup> w 0–100 warstwie gleby) nie przekraczała 15% zawartości N<sub>min</sub> w glebie i nie wykazywała większej zależności od poziomu nawożenia i terminu pobrania próbek (tabele 5–6).

TABELA 8. Średnia zawartość N-NO<sub>3</sub> [mg · dm<sup>-3</sup>] w próbkach świeżej gleby pobranej z 0–10 cm warstwy w pięciu terminach każdego roku (2000–2005), liczba próbek pobranych w każdym terminie z każdego obiektu = 20

TABLE 8. Mean content of N-NO<sub>3</sub> [mg · dm<sup>-3</sup>] in fresh soil samples collected from 0–10 cm layer in five dates yearly (2000–2005), number of samples taken in subsequent dates from each object = 20

Obiekt Object	Termin pobrania próbek – Sampling date				
	Przed ruszeniem wegetacji Before beginning of vegetation	I odrost I regrowth	II odrost II regrowth	III odrost III regrowth	IV odrost IV regrowth
N-120	25	47	22	49	30
N-240	30	54	32	50	37
N-360	44	61	43	57	34
G-240	36	54	39	53	24
G-360	42	63	50	56	34



TABELA 9. Średnia zawartość  $N-NH_4$  [ $mg \cdot dm^{-3}$ ] w próbkach świeżej gleby pobranej z 0–10 cm warstwy w pięciu terminach każdego roku (2000–2005), liczba próbek pobranych w każdym terminie z każdego obiektu = 20

TABLE 9. Mean content of  $N-NH_4$  [ $mg \cdot dm^{-3}$ ] in fresh soil samples collected from 0–10 cm layer in five dates yearly (2000–2005), number of samples taken in subsequent dates from each object = 20

Obiekt Object	Termin pobrania próbek – Sampling date				
	Przed ruszeniem wegetacji Before beginning of vegetation	I odrost I regrowth	II odrost II regrowth	III odrost III regrowth	IV odrost IV regrowth
N-120	2,3	2,6	8,0	4,6	3,7
N-240	2,0	3,1	5,2	3,8	3,6
N-360	3,5	6,0	6,4	5,2	4,8
G-240	1,4	3,3	5,4	3,8	2,9
G-360	1,6	4,2	6,9	5,3	3,3

Obserwowana od 2000 r. zwiększająca się zawartość  $N-NO_3$  w glebie doświadczenia dotyczyła przede wszystkim powierzchniowej warstwy oraz była proporcjonalna do dawek nawozów azotowych (tab. 7) i była największa po I i III odroście (tab. 8). Podobnie kształtowała się zawartość  $N-NH_4$ , która jednak była najmniejsza wiosną przed ruszeniem wegetacji (tab. 9). Zawartość  $N-NH_4$  w całym profilu wynosiła przeciętnie  $18 kg \cdot ha^{-1}$  niezależnie od poziomu nawożenia (tab. 10). Zawartość Nmin w profilu była w granicach od 120 do  $180 kg \cdot ha^{-1}$  i zależała od poziomu nawożenia (tab. 10).

Nieznaną jest przyczyna tej zawyżonej zawartości Nmin w glebie doświadczenia. Wynika ona, być może, z nasilonej mineralizacji glebowej materii organicznej wywołanej stosunkowo wyższą temperaturą i zmniejszoną wilgotnością powietrza obserwowanej czasami w ostatnich latach. Opisane zjawisko jest i będzie przedmiotem wnikliwych obserwacji.

TABELA 10. Średnia zawartość  $N-NH_4$  [ $mg \cdot dm^{-3}$ ] w próbkach świeżej gleby pobranej z kolejnych warstw w pięciu terminach każdego roku (2000–2005), liczba próbek pobranych z każdego obiektu = 120

TABLE 10. Mean content of  $N-NH_4$  [ $mg \cdot dm^{-3}$ ] in fresh soil samples collected from subsequent layers in five dates (2000–2005), number of samples taken from each object = 120

Obiekt Object	Warstwa gleby – Soil layer [cm]				$N-NH_4$ [ $kg \cdot ha^{-1}$ ] (0–100 cm)	
	0–10	10–30	30–60	60–100	$NH_4$	Nmin
N-120	4,4	1,7	1,1	1,2	16	121
N-240	3,7	1,6	1,3	1,3	16	137
N-360	5,3	1,8	1,4	1,3	18	184
G-240	3,5	1,5	1,4	1,5	17	141
G-360	4,5	2,2	1,4	1,4	19	167

## WNIOSKI

1. Zawartość azotu azotanowego w glebie była proporcjonalna do poziomu nawożenia azotem. Wpływ stosowania gnojówki okazał się niewielki i na ogół nieistotny w porównaniu z tą samą dawką azotu zastosowaną w postaci saletry amonu.
2. Najmniejsze zawartości azotu azotanowego obserwowano przed i po zakończeniu wegetacji. To wskazuje na ograniczoną możliwość wymywania azotanów z gleb łąkowych w okresie jesienno-zimowym. Zawartości azotu azotanowego w całym profilu gleby wiosną były najwyżej o  $8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  mniejsze niż po zakończonej wegetacji.
3. Zawartość azotu azotanowego i amonowego wyraźnie malała w głąb profilu. To również potwierdza niewielkie możliwości wymywania azotanów.
4. Zawartość azotu azotanowego wyraźnie wzrastała począwszy od 2000 roku, głównie w wierzchniej warstwie gleby. Przyczyny tego zjawiska są niewyjaśnione.

## LITERATURA

- FOTYMA E., FOTYMA M., PIETRUCH C., HEIN TEN BERLE. 2002: Źródła azotu mineralnego i efektywność ich wykorzystania w rolnictwie polskim. *Nawozy i Nawożenie* 4, 10: 30–49.
- JARVIS S., BARRACLOUGH D. 1991: Variation in mineral nitrogen under grazed grassland swards. *Plant and Soil* 138: 177–188.
- PATENT Nr 190846, 2006: Aparat do objętościowego odmierzenia świeżej masy próbek gleby.
- RYDEN J. C., BALL P. R., GARWOOD E. A. 1984: Nitrate leaching from grassland. *Nature* 311 (5981): 50–53.
- SAPEK A. 1994: Elaboration of agricultural management systems with limited nitrogen losses from soil due to nitrate leaching and denitrification. Final report. IMUZ, Falenty: 1–94.
- SAPEK A. 1997: Nitrogen balances in permanent grassland. W: Gaseous nitrogen emissions from grasslands. (red.) Jarvis, S.C., Pain, B.F. *CAB International* 391–396.
- SAPEK A. 2000: Sezonowe zmiany zawartości azotu azotanowego w glebie łąki trwałej deszczowanej w latach 1987–1998. *Wiadomości IMUZ* 21, 1: 9–19.
- SAPEK A., NAWALANY P., BARSZCZEWSKI J. 2003a: Stężenie składników nawozowych w wodzie do nawodnień i do picia w Falentach. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 3(6): 79–84.
- SAPEK A., NAWALANY P., BARSZCZEWSKI J. 2003b: Ładunek składników nawozowych wnoszony z opadem mokrym na powierzchnię ziemi w Falentach w latach 1995–2001. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 3(6): 69–78.
- WEHRMANN J., SCHARPF H., KUHLMANN H. 1988: The Nmin method – an aid to improve nitrogen efficiency in plant production. W: Nitrogen efficiency in agricultural soils. (red.) Jenkinson D.S., Smith K.A., Elsevier Applied Science: 38–45.
- WERNER. W. 1990: Ökologische Aspekte extensiver Flächennutzung – Problemfeld Nährstoffaustrage. *VDLUFASchriftenreihe* 19–36.

Prof. dr hab. Andrzej Sapek

Zakład Chemii Gleby i Wody, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach  
ul. Hrabaska 3, 05-090 Raszyn,  
e-mail: a.sapek@imuz.edu.pl