

BARBARA SAPEK, DANUTA KALIŃSKA

MINERALIZACJA ZWIĄZKÓW AZOTU I FOSFORU W GLEBIE UŻYTKOWANEJ I NIEUŻYTKOWANEJ ŁĄKI*

MINERALIZATION OF NITROGEN AND PHOSPHORUS COMPOUNDS IN THE SOIL OF AGRICULTURALLY USED AND NOT USED MEADOW

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

Abstract: The preliminary estimation of dynamics and efficiency of the nitrogen and phosphorus compounds mineralization was made in mineral soil of used and not used meadow, in the latter after termination of the fertilization and harvesting. The 15 cm sward was left on the meadow surface. The setting aside of agricultural use of meadow has resulted in higher intensity and efficiency of nitrogen and phosphorus mineralization. The progressive intensification of mineralization that was observed for several years after abandonment of the agricultural use of the meadow requires the farther investigation.

Słowa kluczowe: mineralizacja, gleba łąkowa, nawożenie, azot, fosfor, zaniechanie użytkowania.

Key words: mineralization, meadow soil, fertilization, nitrogen, phosphorus, the setting aside of agricultural use of meadow.

WSTĘP

Zaniechanie funkcji produkcyjnej znaczącego areału użytków zielonych w nowych warunkach ekonomicznych zarówno w kraju, jak i innych państwach UE stwarza na nowo potrzebę badań procesów glebowych przebiegających w takich warunkach. Do nich należą między innymi przemiany organicznych związków węgla oraz azotu i fosforu. Od sposobu użytkowania gleby, a zwłaszcza jego intensywności zależy przebieg wymienionych procesów i związane z tym zwiększone ryzyko wymywania tych składników z gleby [Turtola 1993; Meissner, Seeger, Rupp 1998]. Na użytkach zielonych, gdzie zaniechano ich rolniczego wykorzystania i pozostawiono bądź to jako nieużytki lub tzw. użytki ekologiczne, można się spodziewać zarówno odmiennego kierunku, jak i intensywności przebiegu procesu mineralizacji [Sapek, Kalińska 2004].

*Praca wykonana w ramach badań statutowych w temacie 2.1, w Problemie 2.

Celem badań była wstępna ocena dynamiki i wydajności procesu mineralizacji organicznych związków azotu i fosforu w glebie mineralnej w warunkach użytkowania łąki kośnej i po jego zaniechaniu na tle przebiegu tego procesu w ciągu dziesięciu lat.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie łąkowe usytuowane w miejscowości Laszczki (doświadczenie L – gmina Raszyn woj. mazowieckie) założono metodą bloków losowanych w czterech powtórzeniach, w 1982 r. na glebie mineralnej, czarnej ziemi zdegradowanej [Sapek, Barszczewski 2000]. Począwszy od roku 2004, przeznaczono je na poligon do badań wpływu zaniechania użytkowania łąki kośnej na przebieg i wydajność procesu mineralizacji organicznych związków azotu i fosforu. Ocenę dynamiki mineralizacji przeprowadzono na podstawie zmian zawartości azotu mineralnego i fosforu w glebie. Zmiany te rozpatrzono na tle 10-letniego okresu badań – 1995–2005, w którym w latach 2004–2005 zaniechano nawożenia i zbioru plonu, pozostawiając na pokosie skoszoną 15 cm ruń. W rejonie Falent jedynym dodatkowym źródłem azotu i fosforu był opad atmosferyczny, który wnosi je na powierzchnię ziemi w ilości średnio rocznie odpowiednio 18 i 0,36 kg · ha⁻¹ [Sapek, Nawalany, Barszczewski 2003]. Badania mineralizacji wykonywano metodą inkubacji gleby *in situ*. Metoda ta polega na oznaczeniu zawartości mineralnego azotu ($N_{\min} = N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$) w próbkach gleby z plastikowych rurek. Rurki, o średnicy wewnętrznej 28,0 mm, umieszczano w glebie do głębokości 10 cm i przykrywano wieczkiem o średnicy wewnętrznej 32,0 mm, perforowanym na bokach, w celu odizolowania wpływu roślinności i bezpośredniego opadu. Rurki rozmieszczano w czterech powtórzeniach na każdym poletku obiektu nawozowego wiosną, przed ruszeniem wegetacji (II termin badań) oraz po każdym pokosie, lecz przed zastosowaniem nawozów (III i IV termin badań) i po zakończonej wegetacji. Wtedy pozostawiano je w glebie na okres późnej jesieni i zimy (I termin badań). Rurki wyjmowano z gleby tuż przed sprzętem kolejnego pokosu. Pozostawiano je w glebie w czasie kolejnych odrostów runi. Inkubowaną w warunkach *in situ* próbkę gleby z rurki (R) po wymieszaniu odczytywano do oznaczeń objętościowo w specjalnym aparacie stosując nacisk równy 1,3 MPa. Metodę, wraz z cytowanym piśmiennictwem autorów zagranicznych, opisano we wcześniejszych pracach [Sapek 1999; Sapek, Kalińska 2004]. Równolegle badano próbkę gleby z tej samej warstwy (0–10 cm) i miejsca, lecz pobraną spod roślinności (T). Określono wydajność mineralizacji *in situ* oraz tzw. mineralizacji różnicowej (R-T).

Badania mineralizacji w doświadczeniu L prowadzono na 4 obiektach nawozowych:

- i. niewapnowanych i nawożonych saletrą amonową od początku doświadczenia, tj. od 1982 r. (ANCa₀) oraz od 1993 r. równolegle saletrą wapniową (CNCa₀),
- ii. wapnowanych jednorazowo na początku dawką wg 2Hh i podobnie nawożonych dwoma rodzajami saletry – ANCa₂, CNCa₂, na których stosowano azot w rocznej dawce 240 kg · ha⁻¹. Pozostałe składniki nawozowe stosowano w następującej ilości P – 35 kg · ha⁻¹ i K – 150 kg · ha⁻¹. Począwszy od 2001 r. okresowo zaniechano nawożenia fosforem.

Zawartość azotu azotanowego (N-NO_3) i amonowego (N-NH_4) oraz fosforu (P-PO_4) w próbkach gleby po inkubacji oraz pobranych bezpośrednio spod roślinności oznaczano w wyciągu po ekstrakcji gleby za pomocą 1% K_2SO_4 . Oznaczanie N-NO_3 , N-NH_4 i P-PO_4 wykonywano metodą kolorymetryczną – azotany z N-1-naftyloetylenodwuaminą, jon amonowy z salicylanem sodu, a fosfor z molibdenianem amonu stosując autoanalyzer przepływowy SCALAR. [Skalar Method 2000]. Dynamikę i wydajność mineralizacji oceniano na tle zróżnicowanego odczynu i stosowanej formy nawozu azotowego (AN i CN). Współzależność uwolnionych w procesie mineralizacji składników i lat badań oraz opadu atmosferycznego i uwilgotnienia gleby oceniono na podstawie obliczonych współczynników korelacji Pearsona. Różnice między średnimi wynikami z porównań terminów badań mineralizacji oraz okresów użytkowania – 2002–2003 (U) i zaniechania tego zabiegu – 2004–2005 (Z) oceniono za pomocą rozstępu Newmana-Keulusa, w tym różnice we wpływie obiektu nawozowego, a także rodzaju stosowanego nawozu azotowego za pomocą kontrastów ortogonalnych. Wyniki oznaczeń wyrażono w $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Te wartości odpowiadają ilości składnika w $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w 10 cm warstwie gleby.

WYNIKI BADAŃ

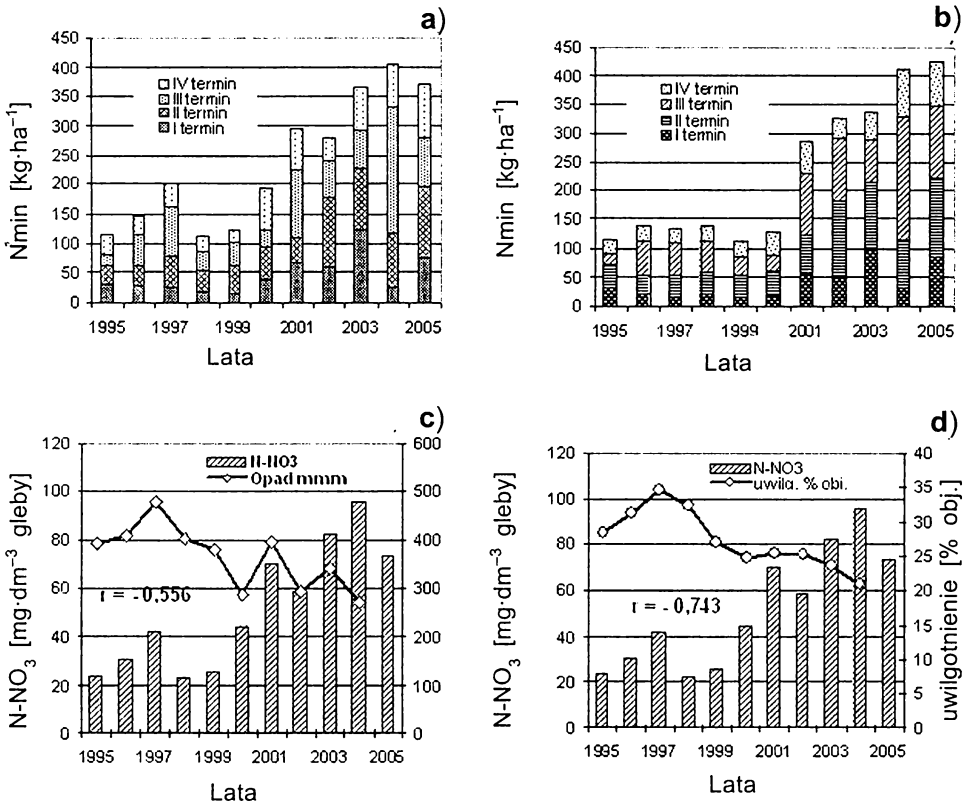
Mineralizacja związków azotu i fosforu w latach 1995–2005

Należy zaznaczyć, że w ciągu dwóch ostatnich lat badań – 2004–2005 zaniechano zabiegów związanych z użytkowaniem łąki, tj. nawożenia i zbioru 3 pokosów runi.

Azot. Zmiany zawartości N_{min} , zwłaszcza N-NO_3 , uwolnionego w glebie w procesie mineralizacji w okresie 1995–2005 r., w kolejnych terminach badań (I–IV), opisane na przykładzie obiektów nawozowych ANCa_0 i CNCa_2 wskazują na postępujące zwiększenie wydajności tego procesu wraz z upływem lat, w warunkach zarówno odczynu kwaśnego ($\text{pH} = 3,8\text{--}4,7$), jak i bliskiego obojętnemu ($\text{pH} = 6,9$). Taki przebieg zmian obserwuje się w przypadku wszystkich czterech terminów badań, jednak ich intensywność jest odrębna w kolejnych terminach i na dwóch prezentowanych obiektach nawozowych, a także częściowo w odniesieniu do formy azotu. Wyraźnie większą intensywność mineralizacji związków azotu w inkubowanej glebie stwierdzono począwszy od 2000 r., zwłaszcza w terminach II i III (rys. 1 a,b, tab. 1 i 2). W tych warunkach, zmiany średnich zawartości N-NO_3 kształtowały się podobnie wraz z upływem lat badań (rys. 1 c, d).

Wykazano istotność współczynników korelacji Pearsona dla N-NO_3 i lat badań we wszystkich ocenianych przypadkach, w tym z uwzględnieniem obiektów nawozowych doświadczenia, jak i terminów pobrania próbek. W terminach I i II stwierdzono zwiększenie wydajności amonifikacji wraz z upływem lat badań, w tym również w warunkach odczynu gleby bliskiego obojętnemu (tab. 1 i 2). Ponadto, udowodniono ujemną współzależność między ilością mineralnych związków azotu, zwłaszcza N-NO_3 a wielkością opadu ($r = -0,556^*$), a także uwilgotnieniem gleby ($r = -0,743^{**}$) w czasie wegetacji (rys. 1 c, d).

Porównano przebieg procesu mineralizacji związków azotu w warunkach rolniczego użytkowania łąki w latach 2002 i 2003 (U) oraz po zaniechaniu tych zabiegów (Z) w latach 2004 i 2005. W większości wykonanych porównań udowodniono większą wydajność mineralizacji (R), zwłaszcza nityfikacji oraz większą zawartość N-NO_3 w



RYSUNEK 1. Uwolniony azot mineralny (N_{min}) w 0–10 cm warstwie gleby po inkubacji *in situ* w terminach I–IV z obiektu nawozowego ANCa₀ (a) i CNCa₂ (b); współzależność zmian zawartości N-NO₃ w glebie z obiektu ANCa₀ i wielkości opadu (c) oraz uwilgotnienia gleby (d)

FIGURE 1. Mineral nitrogen (N_{min}) released in 0–10 cm soil layer after *in situ* incubation in terms I–IV from fertilized object ANCa₀ (a) and CNCa₂ (b); the correlation between the changes of N-NO₃ content in the soil from ANCa₀ treatment and precipitation (c) and soil humidity (d)

glebie spod roślinności (T) po zaniechaniu rolniczego użytkowania łąki (Z) (tab. 3). Średnio, w inkubowanej glebie uwalnia się więcej N_{min} po zaniechaniu użytkowania łąki, czemu sprzyjało uprzednie nawożenie CN (rys. 2c).

Różnice w wydajności mineralizacji związków azotu między porównywanymi okresami U i Z były swoiste w kolejnych terminach badań, w różniącej się odczynem gleby porównywanych obiektów nawozowych doświadczenia. Jednak, bez względu na odczyn, znacznie więcej N-NO₃ uwalniało się w terminach III i IV, po zaniechaniu użytkowania, a odczyn gleby bliski obojętnemu (CNCa₂) sprzyjał nityfikacji (rys. 2 a,c). Mimo obserwowanych tendencji następczy wpływ wapnowania oraz działania różnych form saletry i wynikający stąd wpływ odczynu nie były statystycznie udowodnione. Kwaśny odczyn i nawożenie gleby saletrą amonową (ANCa₀ i ANCa₁) sprzyjały większej wydajności amonifikacji, zwłaszcza w II terminie badań. Zaniechanie użytkowania łąki

TABELA 1. Średnie wartości pH_{KCl} w 0–10 cm warstwie gleby z doświadczenia
 TABLE 1. The average pH_{KCl} values in 0–10 cm soil layer from the experiments

Lata – Years	Obiekt nawozowy – Fertilization object				Średnio – Average
	ANCa ₀	ANCa ₂	CNCA ₀	CNCA ₂	
2003	4,4	5,6	5,5	6,8	5,6
2004	4,7	5,9	5,6	6,9	5,8
2005	3,8	5,1	5,3	7,0	5,3

zwiększało uwalnianie N-NH_4 w glebie, zwłaszcza w III i IV terminie badań (tab. 1, rys. 2 b). Dodatni wpływ kwaśnego odczynu na wydajność amonifikacji potwierdza wykazana istotność różnic średnich zawartości N-NH_4 z czterech terminów badań, w glebie po inkubacji (R), jak i w glebie pod roślinnością (T). W tym ostatnim przypadku udowodniono różnicę wynikającą z następczego wpływu wapnowania (tab. 4).

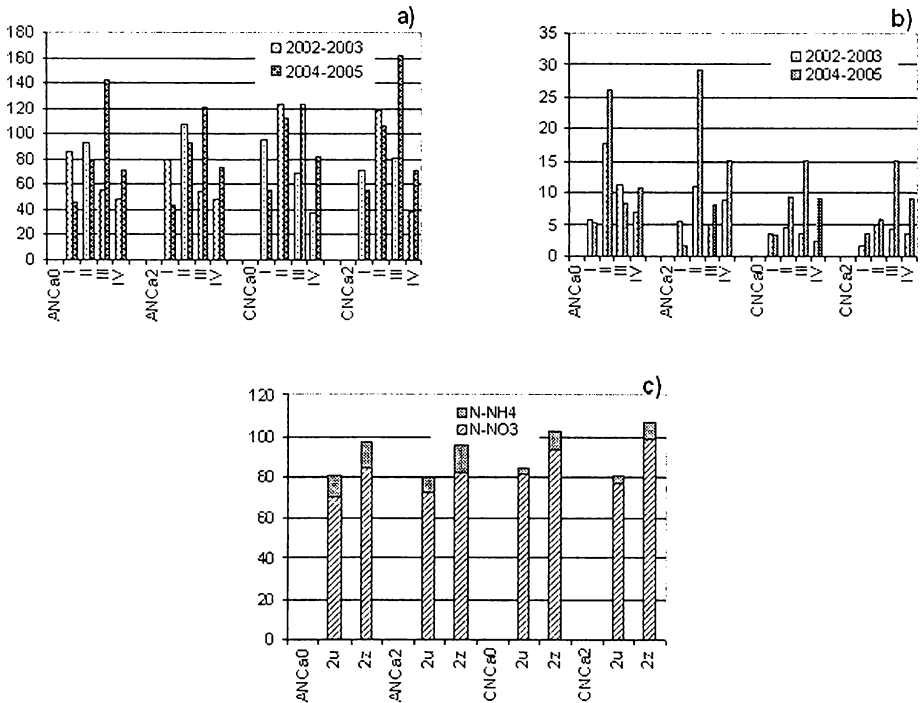
Obliczona, sumaryczna (I–IV) wydajność mineralizacji różnicowej (R–T) związków azotu, wyrażona w $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ warstwy gleby 0–10 cm, wskazuje na uwalnianie znacznie większych ilości azotu w okresie zaniechania użytkowania łąki ($\text{N}_{\text{min}} - 148 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) niż w czasie jej użytkowania ($\text{N}_{\text{min}} - 56,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Zwraca uwagę duża wydajność mineralizacji w glebie nieużytkowanej (Z) zarówno w III, jak i w IV terminie, gdy w tym czasie w glebie użytkowanej (U) ta wydajność jest wyraźnie mniejsza (tab. 5).

TABELA 2. Współzależność średnich zawartości mineralnych form składników nawozowych w glebie inkubowanej *in situ* i lat badań¹ w czterech terminach (I–IV)

TABLE 2. The correlation of average content of nutrients mineral forms in the soil after its *in situ* incubation and years of investigation¹ in four terms (I–IV)

Składnik Nutrient	Obiekt nawozowy Fertilization object	Współczynniki korelacji Pearsona dla terminów Pearson's correlation coefficients for terms				
		I	II	III	IV	I–IV
N-NO ₃	ANCa ₀	0,601*	0,850***	0,554	0,787**	0,906***
	CNCA ₂	0,668*	0,829***	0,726**	0,838***	
	wszystkie ² the whole ²	0,638*	0,867***	0,636*	0,841**	
N-NH ₄	ANCa ₀	0,302	0,582*	0,449	0,186	0,599*
	CNCA ₂	0,727**	0,728**	0,449	0,360	
	wszystkie ² the whole ²	0,556	0,640*	0,589	0,376	
P-PO ₄	ANCa ₀	0,083	0,828***	0,802**	0,733**	0,072
	CNCA ₂	-0,531	-0,096	-0,452	-0,503	
	wszystkie ² the whole ²	-0,500	0,345	0,273	0,249	

¹dla azotu n = 10 lat, dla fosforu n = 8 lat; for nitrogen n = 10 years, for phosphorus n = 8 years; ²4 obiekty nawozowe doświadczenia; 4 fertilization objects of experiment; istotne przy: significant at: * – $\alpha = 0,05$; ** – $\alpha = 0,01$; *** – $\alpha = 0,001$

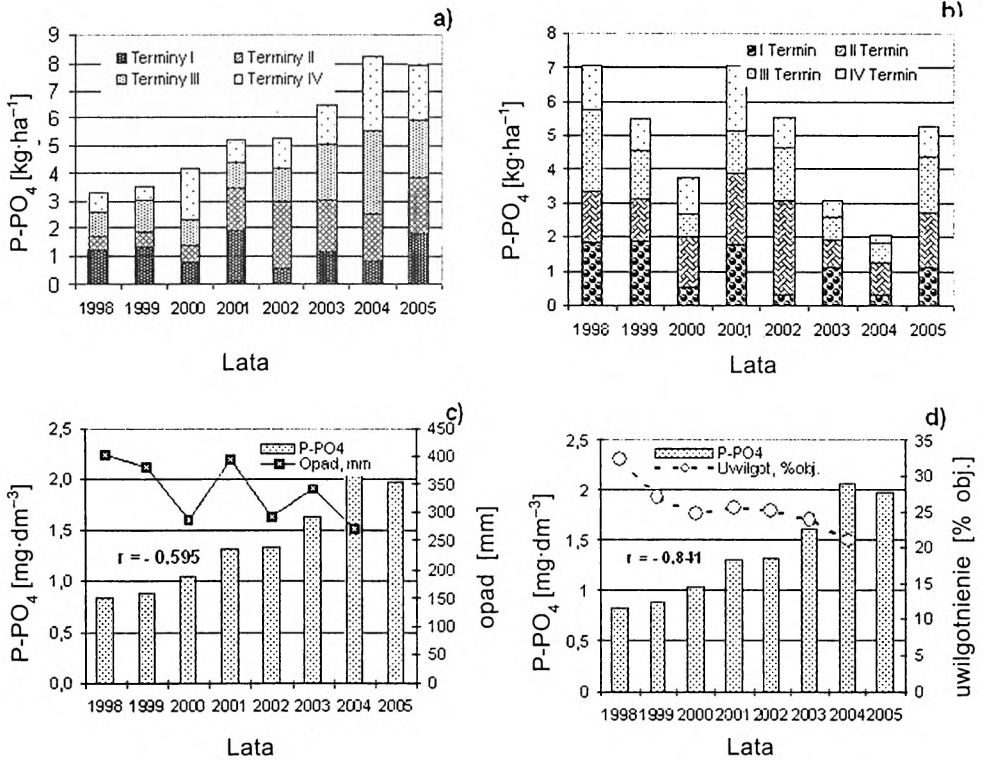


RYСУNEK 2. Średnie zawartości N-NO₃ (a) i N-NH₄ (b) w glebie w terminach I–IV oraz sumaryczna zawartość Nmin (c) po inkubacji *in situ* gleby z obiektów nawozowych Ca₀ i Ca₂, nawożonych AN i CN w latach użytkowania rolniczego łąki (2u) i po jego zaniechaniu (2z)

FIGURE 2. Average content of N-NO₃ (a) and N-NH₄ (b) in the soil in terms I–IV and summarized N-min content (c) after *in situ* soil incubation on Ca₀ and Ca₂ treatment, fertilized with AN and CN in the years of agricultural use (2u) and in period of its setting aside (2z)

Fosfor. Zmiany zawartości fosforu (P-PO₄) na przykładowych dwóch obiektach nawozowych – ANCa₀ i CNCa₂ potwierdzają obserwowane zwiększenie wydajności mineralizacji wraz z upływem lat, lecz tylko w terminach II–IV i w przy kwaśnym odczynie gleby (pH – 3,8–4,7) (tab. 1 i 2, rys. 3a). W tych warunkach intensywność uwalniania P-PO₄ w procesie mineralizacji istotnie zwiększała się wraz z obniżeniem wielkości opadu i uwilgotnienia gleby w okresie wegetacji. Zaniechanie nawożenia gleby fosforem od 2001 r. nie uwidoczniło się w przebiegu badanego procesu (rys. 3 a, c, d). Tymczasem w glebie obiektu CNCa₂ o pH_{KCl} około 7 obserwowano odwrotną tendencję zmian niż w warunkach kwaśnego odczynu gleby. Ponadto, począwszy od 2001 r. ilość uwalnianego fosforu w inkubowanej glebie zmniejszała się, lecz tylko do roku 2004 (rys. 3 b). Obserwowany kierunek zmian w latach 1998–2005 potwierdzają wprawdzie nieudowodnione, lecz ujemne wartości współczynników korelacji Pearsona (tab. 2).

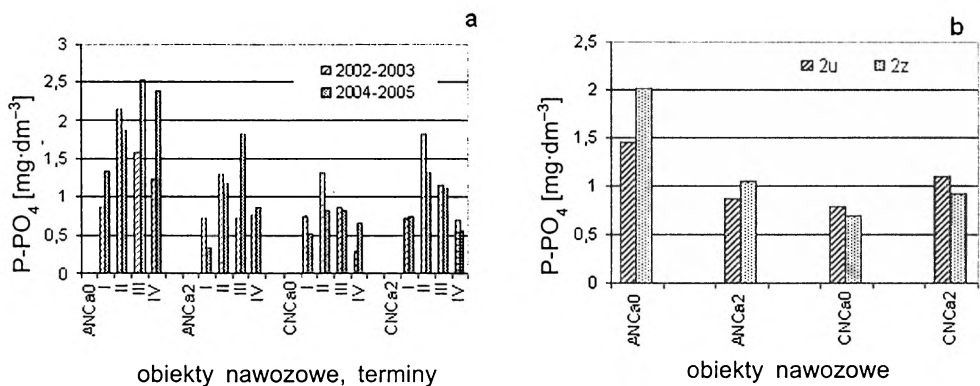
Przeprowadzono porównanie mineralizacji związków fosforu w warunkach użytkowania rolniczego łąki i po jego zaniechaniu. Zaprzestanie rolniczego użytkowania łąki doświadczalnej w warunkach nawożenia saletrą amonową, zwłaszcza przy silnie



RYSUNEK 3. Uwolniony fosfor ($P-PO_4$) w 0–10 cm warstwie gleby po inkubacji gleby *in situ* w terminach I–IV z obiektu nawozowego $ANCa_0$ (a) i $CNCa_2$ (b); współzależność zmian zawartości $P-PO_4$ w glebie z obiektu $ANCa_0$ i wielkości opadu (c) oraz uwilgotnienia gleby (d)
 FIGURE 3. The phosphorus ($P-PO_4$) released in 0–10 cm soil layer after *in situ* soil incubation in terms I–IV; from $ANCa_0$ (a) and $CNCa_2$ (b) treatments; the correlation between the changes of $P-PO_4$ content in the soil from $ANCa_0$ treatment and precipitation (c) and soil humidity (d)

kwaśnym odczynie gleby ($ANCa_0$) oraz w III i IV terminie badań sprzyjało mineralizacji związków fosforu (rys. 3 a i 4 a, b). Nie jest to w pełni zgodne z poglądem o stymulującym wpływie na mineralizację fosforu obojętnego i słabo alkalicznego odczynu gleby [Filipek 2002]. Bez względu na formę saletry i pH gleby, wykazano istotny dodatni wpływ zaniechania użytkowania na zawartość $P-PO_4$ zarówno w warunkach inkubacji gleby (R), jak i w glebie spod roślinności (T) w III terminie badań (tab. 3). Oceniając wpływ formy saletry z jednej strony (AN i CN) oraz następczy wapnowania (Ca_0 i Ca_2) w ciągu całego roku, bez względu na termin badań wykazano istotny, ujemny wpływ zarówno CN, jak i dawno wykonanego wapnowania na uwalnianie fosforu w procesie mineralizacji (R) i to zarówno w warunkach użytkowania łąki, jak i jego zaniechania. Podobny wpływ omawianych czynników stwierdzono w glebie spod roślinności (T) (tab. 4).

W przeciwieństwie do azotu, sumaryczna (I–IV) wydajność mineralizacji różnicowej (R–T) związków fosforu, wyrażona w $kg \cdot ha^{-1}$, w warstwie gleby 0–10 cm nie różniła się znacząco w badanych dwóch okresach U ($1,65 kg \cdot ha^{-1}$) i Z ($1,52 kg \cdot ha^{-1}$). W



RYSUNEK 4. Zawartości P-PO₄ w glebie w terminach I-IV (a) oraz średnia zawartość z terminów (b) po inkubacji „*in situ*” z obiektów Ca₀ i Ca₂, nawożonych AN i CN w latach rolniczego użytkowania doświadczenia (2u) i po jego zaniechaniu (2z)

FIGURE 4. The P-PO₄ content in the soil in terms I-IV (a) and average content from terms (b) after „*in situ*” soil incubation on Ca₀ and Ca₂ treatments, fertilized with AN and CN in the years of agricultural use of experiment (2u) and of its setting aside (2z)

przypadku zaniechania użytkowania łąki (Z) wartość ta jest nawet nieco mniejsza, a tylko dodatni jego wpływ można obserwować w III i IV terminie badań (tab. 5). Należy mieć na uwadze, że począwszy od 2001 r. w doświadczeniu nie stosowano nawożenia fosforem.

DYSKUSJA

Otrzymane wcześniej, w warunkach zakończonego w 1995 r. doświadczenia w Baniosze wyniki zawartości N-NO₃ i N-NH₄ wskazujące na znacznie mniejszą

TABELA 3. Średnie zawartości N-NO₃, N-NH₄ i P-PO₄ w glebie po inkubacji *in situ* (R) oraz w glebie spod roślinności (T) w czterech terminach (I-IV) w latach użytkowania (U) i po jego zaniechaniu (Z)

TABLE 3. The average content of N-NO₃, N-NH₄ and P-PO₄ after *in situ* soil incubation (R) and in the soil under the herbage (T) in four terms (I-IV) during agricultural use (U) and after its setting aside (Z)

Terminy Terms	mg · dm ⁻³ gleby – of soil											
	N-NO ₃				N-NH ₄				P-PO ₄			
	R		T		R		T		R		T	
	U ¹	Z ¹	U	Z	U	Z	U	Z	U	Z	U	Z
I	82,7	50,2*	77,0	45,1*	4,1	3,4	3,6	3,3	0,76	0,73	0,39	0,47
II	109,3	95,7	91,2	54,0*	9,3	17,0*	5,1	5,1	1,61	1,28	0,93	0,94
III	65,8	136,9*	48,2	100,6*	6,0	11,8	2,4	4,5*	1,07	1,56*	0,73	1,16*
IV	43,3	74,3*	39,3	35,2	5,5	10,9	2,3	4,4*	0,75	1,12	0,48	0,76
I-IV	75,3	89,3*	63,9	58,7*	6,2	10,8*	3,4	4,3*	1,05	1,17	0,63	0,83*

¹ * – istotne różnice między U i Z; * – the significant differences between U and Z

TABELA 4. Ocena różnic średnich zawartości N-NH₄ i P-PO₄ z terminów badań (I-IV) w glebie po inkubacji *in situ* (R) i spod roślinności (T) w latach użytkowania (U) i po jego zaniechaniu (Z)

TABLE 4. Estimation of differences, of N-NH₄ and P-PO₄ average content after *in situ* soil incubation (R) and under the herbage (T) during agricultural use (U) and after its setting aside (Z)

Objekt nawozowy Fertilization object	mg · dm ⁻³ gleby – of soil							
	N-NH ₄				P-PO ₄			
	R		T		R		T	
	U	Z	U	Z	U	Z	U	Z
ANCa ₀	10,1a	12,6	5,1*	5,1*	1,42a*	2,02*	0,92*	1,39*
CNCa ₀	3,5b	9,2	2,3	4,3	0,80b	0,70	0,46	0,48*
ANCa ₂	7,5	12,9	3,6**	3,3**	0,87**	1,04**	0,47**	0,72**
CNCa ₂	3,6	8,3	2,4	4,5	1,08	0,92	0,68	0,74**
AN	8,8A	12,7A	4,3A	4,2	1,14	1,56A	0,69	1,05A
CN	3,6B	8,7B	2,4B	4,4	0,94	0,81B	0,57n.i.	0,61B

a, b, A, B – istotne różnice między AN i CN; *, ** – istotne różnice między Ca₀ i Ca₂ w ramach serii U i Z; n.i. – różnice nieistotne

a, b, A, B – significant differences between AN and CN; *, ** – significant differences between Ca₀ i Ca₂ in the frame of series U and Z, n.i. – differences not significant

intensywność mineralizacji związków azotu w czasie pierwszych czterech lat zaniechania rolniczego użytkowania doświadczalnej łąki były inspiracją do podjęcia pogłębionych badań nad procesem mineralizacji w podobnych warunkach [Sapek, Kalińska 2004]. W prezentowanym w niniejszej pracy doświadczeniu dwuletni okres nieużytkowania łąki wskazał na odmienny od poprzedniego przebieg badanego procesu.

TABELA 5. Średnia i suma rocznej wydajności mineralizacji różnicowej (R-T) związków azotu i fosforu w terminach I-IV z doświadczenia w latach użytkowania (U) i po jego zaniechaniu (Z)

TABLE 5. The average and annually sum of difference mineralization efficiency (R-T) in terms I-IV from the experiment during agricultural use (U) and after its setting aside (Z)

Terminy Terms	R-T [kg · ha ⁻¹] w 0-10 cm warstwie gleby R-T [kg · ha ⁻¹] in 0-10 cm soil layer							
	N-NO ₃		N-NH ₄		Nmin		P-PO ₄	
	U	Z	U	Z	U	Z	U	Z
I	5,7	5,1	0,50	0,10	6,2	5,2	0,37	0,26
II	18,1	41,7	4,2	11,9	22,3	53,6	0,67	0,50
III	17,6	36,3	3,6	7,3	21,2	43,6	0,34	0,40
IV	4,0	39,1	3,2	6,5	7,2	45,6	0,27	0,36
Σ _{I-IV}	45,4	122,2	11,5	25,8	56,9	148,0	1,65	1,52

Podobnie jak Debosz i Vinther [1989], którzy wykazali większą wydajność mineralizacji w ugorowanej glebie w porównaniu z nawożoną łąką, udowodniono zwiększenie średniej rocznej intensywności mineralizacji związków azotu zarówno w warunkach inkubacji gleby *in situ*, jak i w glebie pod roślinnością. W glebie łąki nieużytkowanej wydajność mineralizacji różnicowej, przyjętej jako nadwyżka składnika pochodząca z mineralizacji organicznych związków azotu, była około trzykrotnie większa ($N_{min} - 148 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) w porównaniu z łąką użytkowaną ($N_{min} - 56,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) (tab. 5). W tych warunkach wykazano również intensywniejsze uwalnianie mineralnych związków fosforu (tab. 3) w okresie odpowiadającym odrostowi drugiego pokosu (III termin badań). Wykazane w pracy mniejsze zawartości $P-PO_4$ w glebie nawożonej saletrą wapniową, którym odpowiadał odczyn gleby bliski obojętnemu, a także w glebie nawożonej saletrą amonową na obiektach uprzednio wapnowanych ($ANCa_2$) można by tłumaczyć obecnością trudno rozpuszczalnych fosforanów wapnia i większą aktywnością mikroorganizmów glebowych niejako immobilizujących fosfor [Filipek 2002] (tab. 4, rys. 4 a,b). Natomiast zwiększenie zawartości fosforu w glebie nawożonej saletrą wapniową na obiekcie uprzednio wapnowanym ($CNCa_2$) wskazuje na intensywniejszą w tych warunkach mineralizację związków fosforu [Filipek 2002].

Zastosowane na doświadczalnej łące koszenie 15 cm runi i pozostawianie jej rozrzuconej na powierzchni gleby zamyka, w pewnym stopniu, obieg składników pokarmowych, przeciwdziałając zubożaniu gleby w wyniku ich wynoszenia z plonem. Ruń pozostawiona na powierzchni łąki zmniejsza straty wilgoci z gleby, a także dodatkowo wzbogaca ją w łatwo ulegającą mineralizacji materię organiczną, co może wzmacniać wydajność badanego procesu [Coppens i in. 2004]. Z pracy Bieńka i in. [2004] wynika, między innymi, że odłogowanie gleby torfowo-murszowej na obiekcie łąkowym sprzyjało dużej zawartości fosforu, co mogło wynikać z intensywniejszej mineralizacji związków fosforu. W warunkach zwiększenia intensywności mineralizacji można by się spodziewać większego wymywania z gleby azotanów i rozpuszczalnych form fosforu. Z badań Turtoli [1993] oraz Meissnera i in. [1998] wynika, że w przypadku zaniechania rolniczego użytkowania gruntów i nawożenia pozostawienie okrywy trawiastej zmniejsza takie ryzyko.

W okresie jesienno-zimowym (I termin badań) zawartość obu mineralnych form azotu w glebie po zaniechaniu użytkowania łąki była istotnie mniejsza w porównaniu z zawartością w glebie w okresie jej użytkowania, co mogłoby wskazywać na większe w tych warunkach straty azotu (tab. 4). Podobne różnice, w badaniach nad azotem mineralnym w glebach w skali całego kraju, wykazała Fotyma i in. [2004]. Jak nadmieniali autorzy, wykazane zróżnicowanie zawartości azotu mineralnego wynika z odmienności warunków środowiska, a także agrotechniki.

Wykazany i udowodniony w niniejszej pracy wpływ zaniechania rolniczego użytkowania doświadczalnej łąki na zwiększenie mineralizacji należy rozważyć na tle przebiegu procesu mineralizacji w ostatnich 10 latach. Jak wykazano, wraz z upływem lat ilość uwalnianego azotu mineralnego, a także fosforu zwiększa się, szczególnie począwszy od roku 2000, któremu towarzyszyło zmniejszanie ilości opadu oraz uwilgotnienia gleby w okresie wegetacji (rys. 1 c, d). Tę zależność potwierdziły istotne współczynniki korelacji Pearsona (rys. 1c,d i 3 c,d). Zwiększenie uwalniania związków azotu wraz z upływem lat w ostatnim dziesięcioleciu wykazano również w podobnym

doświadczeniu w tym rejonie w Jankach, a także na deszczowanym doświadczeniu w Falentach [Sapek, Kalińska 2004; Sapek, Sapek, Barszczewski 2002]. Wykazano również systematyczne wzbogacenie gleby o kwaśnym odczynie w azot amonowy wraz z upływem lat, lecz tylko w okresie odrostu pierwszego pokosu (II termin badań) (tab.1, 2). Może to wskazywać, iż w tym czasie warunki glebowe sprzyjały głównie pierwszej fazie mineralizacji – amonifikacji. Wpływ kwaśnego odczynu na nagromadzenie azotu amonowego w glebie wykazano również we wcześniejszych pracach [Sapek 1996, 1998; Sapek, Kalińska 2004; Sapek i in. 2000]. Ponadto, okres wzrostu pierwszego pokosu cechuje się zazwyczaj znacznie niższą, średnią temperaturą otoczenia oraz mniejszym opadem, co jest niekorzystne dla nityfikacji. Björnsson [2004] wykazał, między innymi, istotny wpływ temperatury na przebieg mineralizacji związków azotu w sezonie wegetacyjnym w glebie użytków zielonych, czego nie udowodniono w niniejszych badaniach. Można sądzić, że wpływ temperatury mieścił się pośrednio w statystycznie udowodnionym oddziaływaniu uwilgotnienia gleby.

Powyższe rozważania, mimo statystycznie udowodnionej większej intensywności mineralizacji związków azotu i fosforu w warunkach zaniechania użytkowania łąki doświadczalnej w porównaniu z mineralizacją w okresie jej użytkowania, nie pozwalają jednoznacznie ocenić tego wpływu. Na wpływ ten nakłada się obserwowane również na innych łąkach doświadczalnych, postępujące począwszy od roku 2000 nasilenie procesu mineralizacji. Przewidziane kolejne dwa lata badań na nieużytkowanej łące oraz dodatkowe obserwacje zmian warunków pogodowych i glebowych, w tym również temperatury gleby pozwolą ostatecznie ocenić wpływ badanych warunków.

WNIOSKI

1. Zaniechaniu nawożenia i zbioru plonu oraz pozostawianiu na pokosie 15 cm runi łąkowej na użytkowanej przez długie lata łące kośnej na glebie mineralnej towarzyszyło zwiększenie intensywności mineralizacji związków azotu i fosforu.
2. Nadwyżki $N-NO_3$ uwolnione w warunkach zaniechania użytkowania łąki kośnej były około 3-krotnie, a $N-NH_4$ – dwukrotnie większe w porównaniu z uwolnionymi w glebie łąki użytkowanej rolniczo.
3. Największą wydajność mineralizacji obserwowano w czasie pierwszego i drugiego odrostu runi łąkowej w warunkach łąki trzykośnej.
4. Kwaśny odczyn gleby sprzyja nagromadzeniu w glebie amonowej formy azotu, a także uwalnianiu mineralnego fosforu w glebie, co wymaga dalszych badań.
5. Towarzyszące dwuletniemu okresowi zaniechania rolniczego użytkowania łąki zmniejszenie opadu i uwilgotnienia gleby oraz obserwowane od kilku lat postępujące nasilenie mineralizacji nie pozwala definitywnie ocenić wpływu na ten proces badanych warunków doświadczalnych i potrzebne są dalsze badania.

LITERATURA

- BIENIEK B., GRABOWSKI K., BIENIEK A. 2004: Mikroelementy w runi zdegradowanych łąk na glebach torfowo-murszowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* **502**: 475–481.

- BJÖRNSSON H. 2004: Mineralization of nitrogen to climatic variation and soil. W: Controlling nitrogen flows and losses. (edit.) D. J. Hatch, D. R. Chadwick, S. C. Jarvis, J. A. Roker. Academic Publishers. Wageningen: 140–141.
- COPPENS F., RECOUS S., GARNIER P., MERCKX R. 2004: Nitrogen dynamics in soil with mulch and incorporated crop residues. W: Controlling nitrogen flows and losses. (edit.) D.J. Hatch, D.R. Chadwick, S.C. Jarvis, J.A. Roker, Academic Publishers. Wageningen: 153–155.
- DEBOSZ K.K., VINTHER F.P. 1989: An *in situ* technique for simultaneous measurement of mineralization, leaching and plant uptake of nitrogen applied to agricultural soils. W: Nitrogen in organic wastes applied to soils. (red.) J.A. Hansen, K. Henriksen, Academic Press London: 3–10.
- FILIPEK T. 2002: Zarządzanie zasobami fosforu w środowisku rolniczym. *Nawozy i Nawożenie* 4: 247–258.
- FOTYMA E., FOTYMA M., PIETRUCH C. 2004: Zawartość azotu mineralnego w glebach gruntów ornych w Polsce. *Nawozy i Nawożenie* 3: 11–54.
- MEISSNER R., SEEGER J., RUPP H. 1998: Lysimeter studies in East Germany concerning the influence of set aside of intensively farmed land on the seepage water quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 67: 161–173.
- SAPEK A., SAPEK B., BARSZCZEWSKI J. 2002: Mineralizacja azotu w glebie łąki trwałej deszczowanej. *Nawozy i Nawożenie* 4: 238–246.
- SAPEK A., NAWALANY P., BARSZCZEWSKI J. 2003: Ładunek składników nawozowych wnoszony z opadem mokrym na powierzchnię ziemi w Falentach w latach 1995–2001. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 3 zesz. specj. (6): 69–77.
- SAPEK B. 1996: Impact of soil pH on nitrogen mineralization in grassland soils. W: Progress in nitrogen cycling studies. (red.) O. Van Cleemput, G. Hofman, A. Vermoesen. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher: 265–270.
- SAPEK B. 1998: Dynamic of the pH of limed and unlimed soil on the background of mineralization of nitrogen compounds in long-term meadow experiments. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 456: 129–135.
- SAPEK B. 1999: Ocena dynamiki mineralizacji związków azotu metodą inkubacji *in situ* i jego bilans w mineralnej glebie łąkowej. *Wiadomości IMUZ* 20, 1: 39–57.
- SAPEK B., ESTAVILLO J.M., CORRE W.J. 2000: Amounts of ammonium and nitrate in grassland soil as a function of soil pH and fertiliser nitrogen application. W: Effects of liming and nitrogen fertilizer application on soil acidity and gaseous nitrogen oxide emissions in grassland systems. (red.) O. Oenema, A. Sapek, Wydaw. IMUZ, Falenty: 25–37.
- SAPEK B., BARSZCZEWSKI J. 2000: Characteristic of the long-term meadow experiments in Janki and Laszczki; a description of the sites, soils, treatment and some results. W: Effects of liming and nitrogen fertilizer application on soil acidity and gaseous nitrogen oxide emissions in grassland systems. (red.) O. Oenema, A. Sapek, Wydaw. IMUZ, Falenty: 14–24.
- SAPEK B., KALIŃSKA D. 2004: Mineralizacja organicznych związków azotu w glebie w świetle długoletnich doświadczeń łąkowych IMUZ. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 4, 1 (10): 183–200.
- SKALAR METHOD: Ammonia, 1-8, 2001; Nitrate, 1-7, 2000; Phosphate, 1-8, 2001, DOC, 1-7, 2000.
- TURTOLA E. 1993: Phosphorus and nitrogen leaching during set aside. W: Proceedings of NJF-seminar no 228 „Soil tillage and environment”. Jokionen, Finland 8–10 June 1993. (edit.) P. Elonen, J. Pitkänen: 207–217.

Prof. dr hab. Barbara Sapek
Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach
ul. Hrabaska 4, 05-090 Raszyn
e-mail: B.Sapek@imuz.edu.pl