

## THE DYNAMICS OF PERMANENT MEADOW YIELDING AND THE CONTENT OF MINERAL FORMS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS IN PEAT-MUCK SOIL AND GROUNDWATER IN CONDITIONS OF DIVERSIFIED FERTILIZATION

### Summary

During the years 2006-2011 the field experiment located on long-term productive meadow on peat-muck soil was conducted. The aim of study was to identify the impact of different types and levels of fertilization (in this solid cattle manure and slurry) on the meadow yielding and the content of mineral forms of nitrogen and phosphorus in the soil profile. The mineral phosphorus-potassium fertilization in amount of 30 kg of P and 60 kg of K per ha was applied. Nitrogen was applied in two different doses: 60 kg and 90 kg·ha<sup>-1</sup>. Together with higher levels of nitrogen the amount of phosphorus to 45 kg·ha<sup>-1</sup> and potassium - up to 90 kg·ha<sup>-1</sup> were increased. Solid manure and slurry were applied in amounts equal to the mineral fertilization. The obtained results indicated a significant potential for yielding of applied fertilization from 6 to 10 t·ha<sup>-1</sup> of DM. Higher yields were obtained on the objects fertilized with natural fertilizers (manure and slurry). Six-year fertilization regardless of the form of fertilization caused a significant increase of N-NO<sub>3</sub> in the soil profile, especially on the layers 0-20 and 20-50 cm. The increased amount of N-NH<sub>4</sub> on all sites in 2011, especially in deeper soil layers (50-80 and 80-110 cm) indicates a progressive process of denitrification in conditions of limited air supply caused by an increased level of ground water. A marked increase in phosphorus in the various layers of the soil profile on the PK object both in 2008 and 2011 was stated. A marked increase in phosphorus content in the 80-110 cm soil layer in 2011 on the object with the second level of manure fertilization may indicate its leaching from soil.

**Key words:** permanent meadow; cultivation; organic fertilizers; fertilization; yields; field experimentation

## DYNAMIKA PŁONOWANIA ŁĄKI TRWAŁEJ ORAZ ZAWARTOŚCI MINERALNYCH FORM AZOTU I FOSFORU W GLEBIE TORFOWO-MURSZOWEJ ORAZ W WODZIE GRUNTOWEJ W WARUNKACH ZRÓŻNICOWANEGO NAWOŻENIA

### Streszczenie

Badania prowadzono w doświadczeniu łanowym w latach 2006-2011 w ZD Biebrza, na wieloletniej łące produkcyjnej, na glebie torfowo-murszowej. Celem badań było rozpoznanie wpływu różnych rodzajów i poziomów nawożenia (w tym obornika i gnojowicy bydłowej) na plonowanie łąki oraz zawartość mineralnych form azotu i fosforu w profilu glebowym. Stosowano mineralne nawożenie fosforowo-potasowe – P -30, K - 60 kg·ha<sup>-1</sup> oraz azotem w dwóch różnych dawkach – 60 i 90 kg N·ha<sup>-1</sup>, wraz z większą dawką azotu zwiększono ilość fosforu do 45 kg·ha<sup>-1</sup> oraz potasu – do 90 kg·ha<sup>-1</sup>. Nawożenie obornikiem i gnojowicą stosowano w ilościach odpowiadających nawożeniu mineralnemu. Uzyskane wyniki wskazywały na znaczny potencjał plonotwórczy stosowanego nawożenia od ok. 6 do 10 t. s.m.·ha<sup>-1</sup>. Większe plony uzyskiwano na obiektach nawożonych nawozami naturalnymi. Sześciolatnie nawożenie niezależnie od formy stosowanych nawozów, spowodowało wzrost zawartości N-NO<sub>3</sub> w profilu gleby, głównie warstwach 0-20 i 20-50 cm. Wzrost N-NH<sub>4</sub> na wszystkich obiektach w 2011 r., zwłaszcza w głębszych warstwach gleby (50-80 i 80-110 cm), wskazuje na postępujący proces denitryfikacji w warunkach ograniczonego dostępu powietrza na skutek wzrostu poziomu wody gruntowej. W 2008 roku, a także w 2011 r. na obiekcie PK stwierdzono wzrost zawartości fosforu w poszczególnych warstwach profilu glebowego. Drugi poziom nawożenia obornikiem wykazywał wzrost zawartości fosforu w 2011 r. w warstwie 80-110 cm, co może wskazywać na jego wymywanie.

**Słowa kluczowe:** łąki trwałe; uprawa; nawozy organiczne; nawożenie; plony; badania polowe

### 1. Wstęp

W gospodarstwach specjalizujących się w chowie bydła z dużą obsadą, zwiększa się zainteresowanie nawożeniem trwałych użytków zielonych nawozami naturalnymi, również na glebach torfowo-murszowych. Jankowska-Huflejt [1], Wesołowski [2], wskazali na wiele zalet tej grupy nawozów, w tym na poprawę plonowania, i że nawożenie naturalnymi nawozami, zwłaszcza obornikiem może uzupełnić niedobory fosforu. Badania Tkaczyka i Chwila [3] wskazują, że uzupełnienie jego niedoborów jest szczególnie ważne, zwłaszcza na glebach torfowo-murszowych, zwykle charakteryzujących się niedoborem fosforu i potasu [4, 5], co może jednocześnie

zwiększyć plonowanie [6, 4]. Nawozy naturalne, wnoszące również większe ilości azotu, mogą przyczynić się do wzrostu plonów [7], zwiększając zawartości jego mineralnych form nie tylko w górnych warstwach gleby, lecz również w niższych, [8, 9], a nawet powodować przenikanie niesorbowanych przez kompleks sorpcyjny gleby azotanów do wód gruntowych [10, 11] i ich eutrofizację. Jak podaje Smoroń [12], mineralizacja substancji organicznej gleb torfowych prowadzi do uwalniania mineralnych form azotu oraz fosforu, powodując wzrost jego zawartości. Jak wynika z badań Sapek [13], Barszczewskiego [14] oraz Wesołowskiego [2] powoduje również ich wymywanie do wód gruntowych oraz eutrofizację.

Celem badań było rozpoznanie wpływu różnych rodzajów i poziomów nawożenia (w tym obornika i gnojowicy bydłowej) na plonowanie łąki oraz zawartości mineralnych form azotu i fosforu w profilu glebowym i wodzie gruntowej.

## 2. Materiał i metody

Badania przeprowadzono w doświadczeniu łąkowym w latach 2006-2011 w Zakładzie Doświadczalnym Biebrza na wieloletniej łące produkcyjnej na glebie torfowo-murszowej. W ostatnich latach przed założeniem doświadczenia na tej łące stosowano intensywne nawożenie gnojowicy w ilości od 80 do 100 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>.

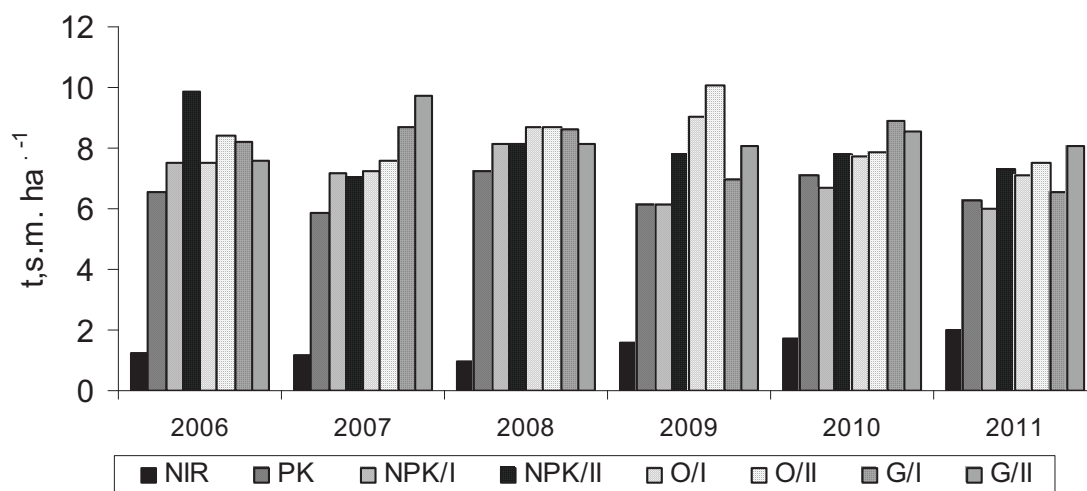
W przedstawionych badaniach porównano efekty nawożenia nawozami mineralnymi fosforowo-potasowymi (PK) i azotowymi (NPK) oraz obornikiem i gnojowicą bydłową. Stosowano następujące warianty nawożenia: PK – 30 kg P·ha<sup>-1</sup> i 60 kg K·ha<sup>-1</sup>, NPK/I - 60 kg N·ha<sup>-1</sup> oraz P i K w tej samej ilości jak poprzednio, NPK/II - 90 kg N, 45 kg P oraz 90 kg K·ha<sup>-1</sup>, O/I – obornik, 15-20 t·ha<sup>-1</sup>, ilość wnoszonych składników porównywalna z NPK/I, O/II-obornik 22,5-30 t·ha<sup>-1</sup>, ilość wnoszonych składników porównywalna z NPK/II, G/I – gnojowica 25-35 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, G/II- gnojowica 37,5-52,5 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, ilości składników porównywalne z NPK/I i NPK/II. Nawożenie mineralne stosowano w formie saletry amonowej po 1/3 rocznej dawki pod każdy pokos, mączki fosforytowej w okresie wiosennym oraz siarczan potasu w trzech równych dawkach wiosną oraz po I i II pokosie. Obornik stosowano jednorazowo jesienią, wykorzystując rozrzutnik obornika. Gnojowicę aplikowano metodą rozbryzgową w równych dawkach (wiosną oraz po I pokosie). Dawki obornika i gnojowicy ustalano na podstawie zawartości w nich azotu, przyjmując odpowiednie równoważniki jego wykorzystania (0,5 dla obornika oraz 0,7 dla gnojowicy). Równoważnik dla fosforu w obu nawozach stanowił 1, a dla potasu 0,7 w oborniku oraz 0,8 w gnojowicy. Niedobory fosforu w gnojowicy uzupełniano mączką fosforytową. W ramach badań wydzielono na łące łąki o powierzchni 0,3 ha, na których rozlosowano obiekty nawozowe, a w stałych punktach wyznaczono poletka o powierzchni 25 m<sup>2</sup> każde w pięciu powtórzeniach do oceny plonów i pobierania próbek gleby. Próbkę gleby z po-

szczególnych warstw profilu pobierano w pięciu powtórzeniach w 2006 r. wiosną przed nawożeniem, a w 2008 r. jesienią, wykonując w nich oznaczenia mineralnych form azotu i fosforu w wyciągu 1% K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Objętościowy sposób odmierzania próbek gleby w laboratorium do sporządzania wyciągów ułatwiał przeliczanie z mg·dm<sup>3</sup> na kg·ha<sup>-1</sup> w warstwie gleby 10 cm. Przedstawione wyniki są wartościami średnimi. Na każdym łące zainstalowano studzienki do pomiarów poziomu wody gruntowej oraz pobrania próbek do oceny jej jakości pod względem chemicznym. Łąkę użytkowano trzykrotnie, a pobierane próbki runi mineralizowano w kwasie siarkowym i nadtlenku wodoru. Analizy wykonano za pomocą analizatora przepływowego. Plony suchej masy poddano ocenie statystycznej z wykorzystaniem programu Statistica do obliczenia najmniejszej istotnej różnicy na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

## 3. Wyniki i dyskusja

Z badań wynika, że roczne plony suchej masy z poszczególnych obiektów w 2006 r. istotnie się różniły (rys. 1). Największy plon, istotnie większy w porównaniu ze wszystkimi porównywanymi obiektami, stwierdzono na NPK/II. Również wysokie plony uzyskano na obiektach G/I oraz O/II, były one istotnie większe w porównaniu do PK. W 2007 r. zarówno na obu obiektach nawożonych nawozami mineralnymi (NPK/I i NPK/II), jak i obu nawożonych obornikiem (O/I i O/II), uzyskano istotnie większe plony niż na obiekcie PK.

Plony z obu obiektów nawożonych gnojowicą (G/I i G/II) były istotnie większe w porównaniu z uzyskanymi z obiektów PK oraz obu NPK (I i II). Charakteryzowały się one w 2008 r. większym wyrównaniem w stosunku do poprzednich lat, przy czym istotnie większe plony niż na obiekcie PK stwierdzono na obiektach O/I, O/II oraz G/I. W 2009 roku roczne plony były bardzo zróżnicowane, najmniejsze zebrano z obiektów PK i NPK/I, a istotnie większe w porównaniu z nimi na NPK/II oraz z obu obiektów nawożonych obornikiem (O/I i O/II) i drugim poziomie nawożenia gnojowicą (G/II). W kolejnym roku badań najmniejsze plony, podobnie jak w 2009 r. zebrano z obiektów nawożonych PK i NPK/I, a w porównaniu z nimi istotnie większe z obu obiektów nawożonych gnojowicą.



Rys. 1. Roczne plony suchej masy (t·ha<sup>-1</sup>) z poszczególnych obiektów; źródło: wyniki własne

Fig. 1. Annual yields of dry matter (t·ha<sup>-1</sup>) from particular objects; source: own results

W 2011 r. plony ze wszystkich obiektów były istotnie mniejsze w porównaniu z poprzednimi latami i mniej zróżnicowane między poszczególnymi obiektami. Najmniejsze plony uzyskano na obiektach nawożonych PK oraz NPK/I, a istotnie wyższe wartości w porównaniu z nimi na obiekcie G/II. Uzyskane wyższe plony na obiektach nawożonych nawozami naturalnymi w całym okresie badań potwierdzają wcześniejsze wyniki Barszczewskiego i Szatyłowicz [7] oraz Jankowskiej-Huflejt [1] i Wesołowskiego [2].

W warstwie gleby do 20 cm wiosną w 2006 r. (w trakcie zakładania doświadczenia przed jego nawożeniem), największą zawartość mineralnych form azotu (azotanowego oraz amonowego) stanowiącą ponad  $15 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , tj.  $15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  w 10 cm warstwie (rys. 2a) stwierdzono na obiekcie PK oraz niższą dawką obornika (O/I), na poziomie  $\text{N-60 kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Udział amonowej formy na poszczególnych obiektach w całości azotu stanowił około  $3\text{-}4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . W warstwie gleby na głębokości od 20 do 50 cm zawartości obu form azotu w większości obiektów charakteryzowały się zawartościami mniejszymi niż w górnej warstwie. W obu dolnych warstwach (50-80 oraz 80-110 cm), na wszystkich obiektach zawartości tych form azotu wykazywały niewielkie zróżnicowanie stanowiąc od ok.  $4$  do  $7 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , a udział formy amonowej utrzymywał się na zbliżonym poziomie, jak w poprzedniej warstwie.

Po trzech latach nawożenia, tj. w 2008 r. (rys. 2b) sumaryczna zawartość  $\text{N-NO}_3$  oraz  $\text{N-NH}_4$  w glebie w warstwie 0-20 cm na obiekcie PK nie wykazała zmian. Wzrost w obu górnych warstwach  $\text{N-NO}_3$ , a zmniejszenie zawartości  $\text{N-NH}_4$  stwierdzono na pozostałych porównywanych obiektach, zwłaszcza nawożonych nawozami naturalnymi (O/I oraz G/I). W warstwie 50-80 cm w porównaniu do 2006 r. zwiększyła się zawartość  $\text{N-NO}_3$  na obiektach nawożonych NPK oraz G/I. Zawartości obu form azotu w warstwie 80-110 cm były mniejsze, zwłaszcza na obiektach PK oraz O/I i kształtowały się na poziomie około  $2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , a na NPK/I stanowiły około  $6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

W 2011 roku (rys. 2c) w warstwie gleby 0-20 cm stwierdzono istotnie większe zawartości obu form azotu na wszystkich obiektach, co może świadczyć o wzmożonym procesie mineralizacji w tych warunkach. W warstwie 20-50 cm, w porównaniu do 2008 r. istotnie zwiększyła się

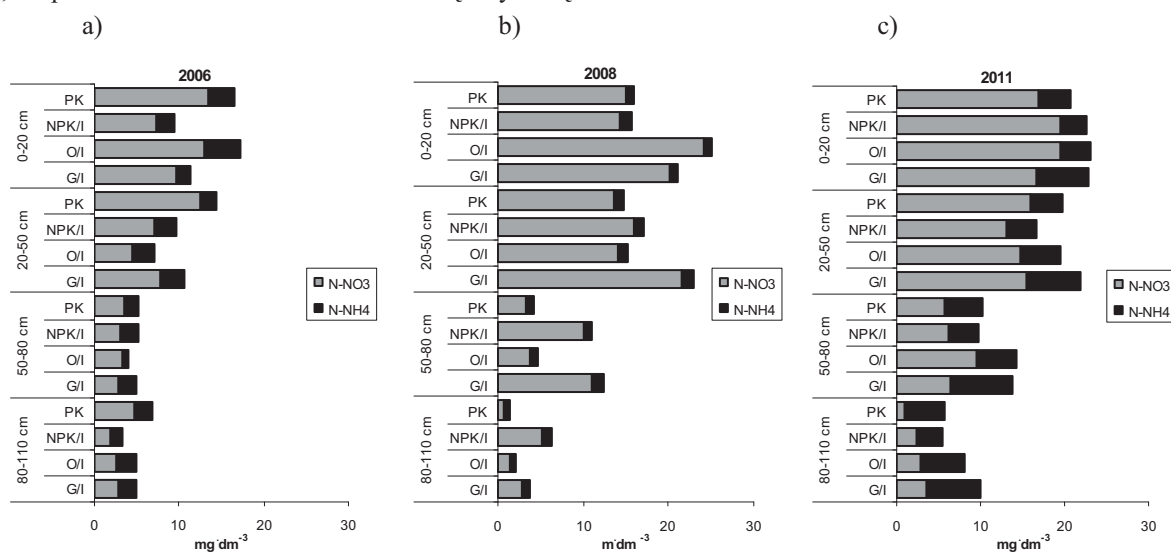
sumaryczna zawartość azotu, głównie  $\text{N-NH}_4$ . Udział amonowej formy azotu zwiększył się na wszystkich obiektach i wynosił około  $5\text{-}7 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . W warstwie 50-80 cm sumaryczne zawartości obu form kształtowały się od 10 do  $15 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , w tym prawie połowę stanowiła forma amonowa. W najniższej warstwie, tj. 80-110 cm zawartości obu form azotu były istotnie większe niż w latach poprzednich.

Zawartości obu form azotu w 2006 r. w górnej warstwie gleby do głębokości 20 cm (rys. 3a), na wszystkich obiektach wylosowanych do nawożenia na poziomie  $\text{N-90 kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  były wyrównane i stanowiły około  $13 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  (tj.  $13 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  w warstwie gleby o miąższości 10 cm).

W warstwie gleby od 20 do 50 cm zawartości obu form azotu nie odbiegały istotnie od wartości z warstwy wyższej. W warstwach gleby 50-80 oraz 80-110 cm zawartości obu form azotu były podobne i nie przekraczały  $10 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  na wszystkich obiektach.

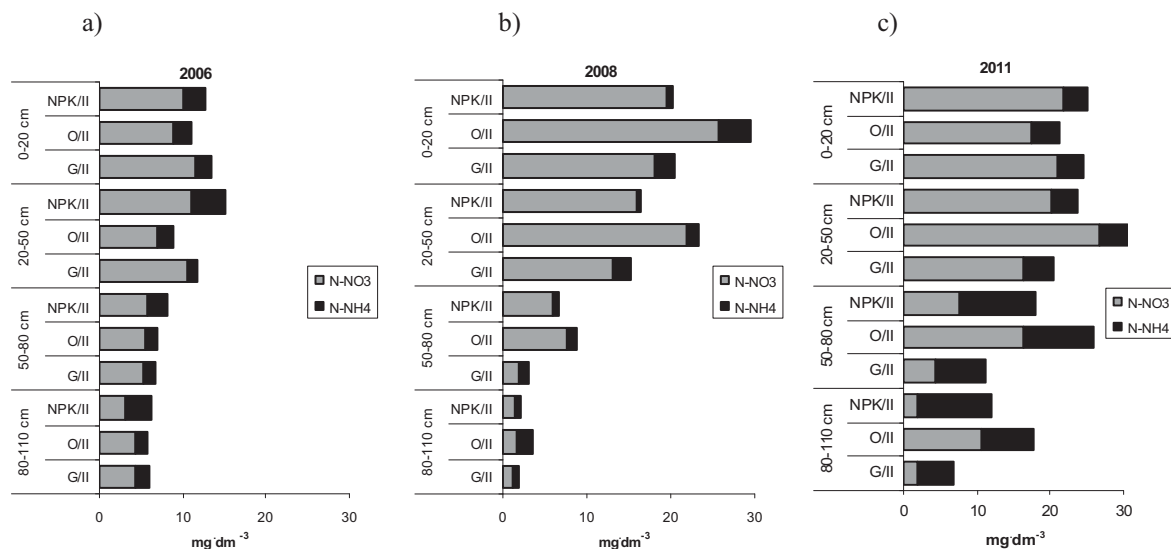
W 2008 r. (rys. 3b) stwierdzono dwukrotny lub nawet większy wzrost formy azotanowej na wszystkich obiektach w warstwie 0-20 oraz 20-50 cm. Największe zawartości w tych warstwach, wynoszące ponad  $25 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  stwierdzono na obiekcie nawożonym obornikiem. W niższych warstwach na obiektach nawożonych mineralnymi formami nawozów (NPK/II) oraz gnojowicą (G/II) zawartości obu form azotu były istotnie mniejsze od nawożonych obornikiem (O/II), malejąc wraz z głębokością.

Po sześciu latach nawożenia, tj. w 2011 r. zawartości azotu w warstwie 0-20 cm były zbliżone na wszystkich obiektach i wynosiły ponad  $20 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , z czego około  $3 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  stanowiła forma amonowa. W warstwie 20-50 cm zawartość obu form azotu była większa na obiekcie nawożonym obornikiem i wynosiła około  $30 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . W obu najgłębszych warstwach gleby stwierdzono również większe zawartości azotu, lecz istotnie większe amonowej jego formy w porównaniu do górnych warstw. W warstwach 50-80 oraz do 110 cm podobnie jak w poprzednich, na obiekcie nawożonym obornikiem (O/II) stwierdzono dużo większe zawartości azotanowej formy, co może wskazywać na duże jego nadmiary na tym poziomie nawożenia tą formą nawozu, co jest potwierdzeniem wcześniejszych badań [7].



Rys. 2. Zawartości mineralnych form azotu w profilach gleby torfowo-murszowej nawożonej wyłącznie fosforem i potasem lub różnymi formami na poziomie  $\text{N-60 kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

Fig 2. Content of mineral forms of nitrogen in the profiles of peat-muck soil fertilized only with phosphorus and potassium or various forms on level  $\text{N-60 kg} \cdot \text{ha}^{-1}$



Rys. 3. Zawartości mineralnych form azotu w profilach gleby torfowo-murszowej nawożonej różnymi formami NPK na poziomie N-90 kg·ha<sup>-1</sup>

Fig. 3. Content of mineral forms of nitrogen in the profiles of peat-muck soil fertilized with different forms of NPK on level N-90 kg·ha<sup>-1</sup>

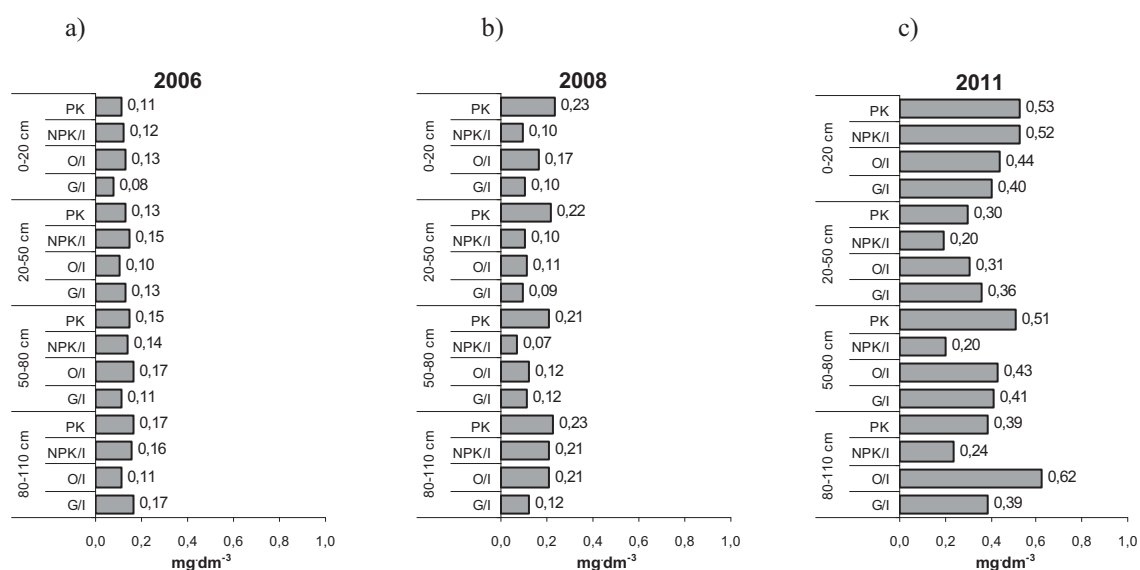
W obu dolnych warstwach gleby na wszystkich obiektach zarówno na pierwszym poziomie nawożenia azotem (N-60), jak i na drugim (N-90) po sześciu latach badań stwierdzono wzrost sumy azotu, co podobnie jak w badaniach Sapek [13] oraz Barszczewskiego [14] wskazuje na jego wymywanie z górnych warstw oraz przemiany N-NO<sub>3</sub> do N-NH<sub>4</sub> w procesie denitryfikacji w warunkach wysokiego poziomu wody gruntowej (tab. 1) i ograniczonego dostępu powietrza.

Zawartości fosforanów (P-PO<sub>4</sub>) w trakcie rozpoczęcia badań w górnej warstwie gleby 0-20 cm (rys. 4a) na wszystkich obiektach na poziomie N-60 wynosiły około 0,12 mg·dm<sup>3</sup>. W warstwie gleby 20-50 cm zawartości P-PO<sub>4</sub> na większości obiektów kształtowały się na zbliżonym poziomie. W warstwach gleby 50-80 oraz 80-110 cm notowano niewiele większe zawartości jak w wyższych

warstwach, wynoszące około 0,16 mg·dm<sup>3</sup>.

Po trzech latach nawożenia, tj. w 2008 r. (rys. 4b) zawartości fosforanów w warstwie gleby 0-20 cm zwiększyły się na obiektach nawożonych wyłącznie fosforem i potasem (PK) oraz obornikiem (O/I) do około 0,20 mg·dm<sup>3</sup>, a na pozostałych wynosiły około 0,10 mg·dm<sup>3</sup>. W warstwach gleby 20-50 oraz 50-80 cm największą zawartość fosforanów nadal notowano na obiekcie PK (0,22 mg·dm<sup>3</sup>). W warstwie 80-110 cm zawartości fosforanów na obiektach PK, NPK/I oraz O/I wykazywały tendencje wzrostowe w stosunku do górnych warstw oraz do 2006 r. i kształtowały się powyżej 0,20 mg·dm<sup>3</sup>.

W 2011 r. (rys. 4c) w warstwie gleby 0-20 cm największe zawartości fosforanów, wynoszące ponad 0,5 mg·dm<sup>3</sup> stwierdzono na obiekcie nawożonym wyłącznie PK oraz NPK/I, na pozostałych były mniejsze.



Rys. 4. Zawartości mineralnych form fosforu w profilach gleby torfowo-murszowej nawożonej wyłącznie fosforem i potasem lub różnymi formami NPK na poziomie N-60 kg·ha<sup>-1</sup>

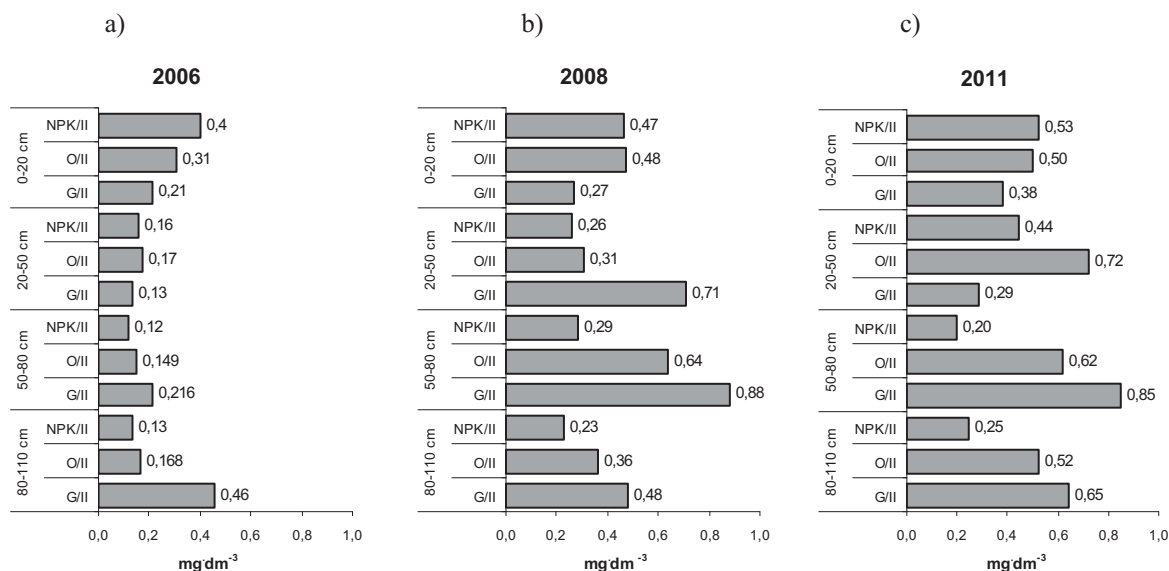
Fig. 4. Content of mineral forms of phosphorus in the profiles of peat-muck soil fertilized only with phosphorus and potassium or various forms of NPK on level N-60 kg·ha<sup>-1</sup>



Tab. 1. Średnie poziomy wody gruntowej (cm) z obiektów w porównywanych latach  
 Table 1. Mean levels of ground water (cm) from objects in compared years

obiekt	2006				2008				2011			
	wiosna*	po I pokosie	po II pokosie	po III pokosie	wiosna	po I pokosie	po II pokosie	po III pokosie*	wiosna	po I pokosie	po II pokosie	po III pokosie*
PK	36	72	46	47	30	19	49	49	6	60	14	19
NPK/I	50	82	64	62	40	32	67	60	18	82	24	38
O/I	40	78	52	60	37	42	56	52	14	71	20	31
G/I	39	75	53	61	35	40	55	42	12	68	19	27
NPK/II	33	72	43	56	25	35	47	46	1	60	6	17
O/II	41	78	58	60	37	40	62	52	8	92	20	35
G/II	68	107	85	87	63	68	88	75	35	92	44	58

\* - termin pobrania próbek gleby



Rys. 5. Zawartości mineralnych form fosforu w profilach gleby torfowo-murszowej nawożonej różnymi formami NPK na poziomie N-90 kg·ha<sup>-1</sup>

Fig. 5. Content of mineral forms of phosphorus in the profiles of peat-muck soil fertilized with different forms of NPK on level N-90 kg·ha<sup>-1</sup>

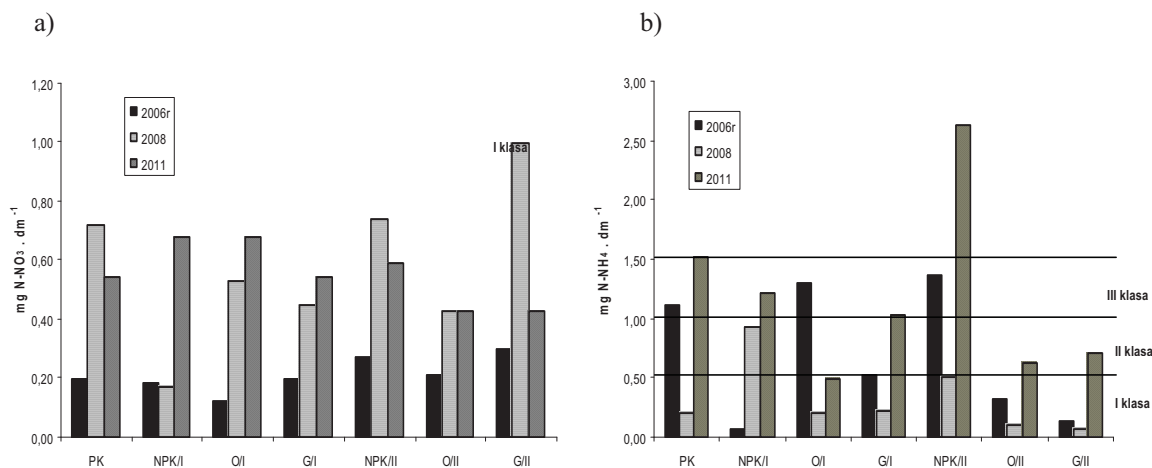
W warstwie 20-50 cm zawartości fosforanów wynosiły w przedziale 0,20-0,36 mg·dm<sup>3</sup>. W kolejnej warstwie 50-80 cm zawartości tych form fosforu były większe, a zwłaszcza na obiektach PK, O/I oraz G/I. W warstwie 80-110 cm na większości obiektów kształtowały się one na zbliżonym poziomie jak w poprzedniej warstwie, z wyjątkiem obiektu nawożonego obornikiem, gdzie istotnie wzrosły. Na obiektach wylosowanych do nawożenia w 2006 r. na poziomie N-90 kg·ha<sup>-1</sup> (rys. 5a) zawartości fosforanów w warstwie gleby 0-20 cm były większe niż na obiektach nawożonych na poziomie N-60 i wynosiły od 0,2 do 0,4 mg·dm<sup>3</sup>. W warstwie 20-50 stwierdzono mniejsze ich zawartości w porównaniu z górną warstwą. W warstwie 50-80 cm zawartości tych form fosforu układały się na zbliżonym poziomie jak w poprzedniej warstwie, z wyłączeniem obiektu G/II, gdzie ich zawartość była większa (0,22 mg·dm<sup>3</sup>). W warstwie 80-110 cm zawartości fosforu na obiekcie G/II były większe jak w poprzedniej.

Trzyletni okres nawożenia (rys. 5b) spowodował wzrost zawartości mineralnych form fosforu na wszystkich obiektach w górnej warstwie gleby (0-20 cm). W warstwie 20-50 cm zawartości fosforanów na obiektach NPK/II oraz O/II wykazywały mniejsze wartości jak w poprzedniej, lecz wzrostem ich zawartości wykazał się obiekt G/II. Zawartości fosforanów w warstwie 50-80 cm wzrosły na obu obiektach nawożonych naturalnymi formami nawozów (O/II

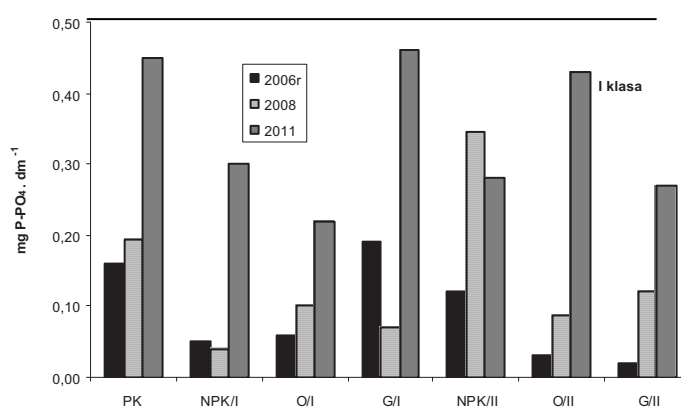
i G/II). Mniejsze ich zawartości jak w poprzedniej warstwie stwierdzono na głębokości 80-110 cm.

W 2011 r., po kolejnych trzech latach nawożenia (rys. 5c) stwierdzono większe zawartości mineralnych form fosforu w warstwie gleby 0-20 cm w porównaniu do 2008 r., a największe na obiekcie O/II (nawożonym obornikiem). Na tym obiekcie zawartości fosforanów były największe również w warstwie 20-50 cm. Zawartości ich w warstwie 50-80 cm na wszystkich obiektach kształtowały się podobnie jak w 2008 r. Istotny wzrost mineralnych form fosforu, w porównaniu do poprzedniego okresu stwierdzono w warstwie gleby 80-110 cm na obiektach nawożonych obornikiem oraz gnojowicą, co wskazuje na ich przemieszczanie się w profilu gleby na skutek wymywania, potwierdzając wyniki niektórych autorów [2, 12-14]. Wzrost fosforanów w glebie torfowo-murszowej ubogiej w fosfor [4, 5], zwłaszcza na wyższym poziomie nawożenia obornikiem, potwierdzają badania Tkaczyka oraz Chwila [3], wskazujące na uzupełnianie jego niedoborów glebowych.

Zwierciadło wody gruntowej w porównywanych latach układało się na głębokości od ok. 1 do 80 cm. (tab. 1). Na obiekcie nawożonym PK oraz NPK/II notowano najwyższe położenie zwierciadła wody, natomiast na obiekcie G/II układało się najniżej. Wysoki poziom wody notowano zwykle wiosną lub po dużych opadach, zwłaszcza w 2011 r., a najniższy po I lub II pokosie.



Rys. 6. Stężenia mineralnych form azotu w wodzie gruntowej na porównywanych obiektach ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )  
 Fig. 6. Concentration of mineral forms of nitrogen in ground water on compared objects ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )



Rys. 7. Stężenia fosforanów w wodzie gruntowej na porównywanych obiektach ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )  
 Fig. 7. Phosphate concentrations in the groundwater of the compared objects ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )

Stężenia azotanów N-NO<sub>3</sub> w wodzie gruntowej (rys. 6a) w roku 2006 nie wykazywały istotnego zróżnicowania na poszczególnych obiektach. W 2008 r. największe ich stężenia stwierdzono na obu obiektach na drugim poziomie nawożenia NPK/II i G/II oraz na nawożeniu PK. W 2011 r. stężenia azotanów były mniej zróżnicowane między obiektami i kształtowały się w przedziale 0,5-0,7 mg. We wszystkich latach badań stężenia azotanów w wodzie wykazywały wartości mieszczące się w dolnej granicy I klasy ich jakości [15].

Stężenia amonowej formy azotu (N-NH<sub>4</sub>) w wodzie gruntowej (rys. 6b) wykazywały ich zróżnicowanie na poszczególnych obiektach. W 2006 r. najwyższe ich stężenia w wodzie stwierdzono na obiekcie NPK/II, O/I oraz PK, mieszczące się III klasie jakości [15]. W 2008 r. na większości obiektów stężenia były mniejsze i plasowały wodę głównie w I klasie jakości. Większe stężenie, odpowiadające II klasie jakości stwierdzono na obiekcie NPK/I. Po sześciu latach nawożenia stwierdzono duży wzrost stężeń w wodzie osiągającej III klasę lub nawet gorszy jej stan na obiektach nawożonych mineralną formą nawozów, a na obiektach nawożonych nawozami naturalnymi stężenia formy amonowej w wodzie odpowiadały głównie II klasie jakości [15].

Stężenia fosforanów w wodzie gruntowej w 2006 r. (rys. 7) wykazywały nieistotne zróżnicowanie na poszczególnych obiektach. Największe ich wartości stwierdzono

w wodzie z obiektów nawożonych PK oraz G/I. W 2008 r. stężenia fosforanów były wyższe, zwłaszcza na obiektach nawożonych nawozami na II poziomie. Po sześciu latach nawożenia stwierdzono wyższe wartości stężeń na wszystkich porównywanych obiektach. Mimo istotnego zróżnicowania stężeń fosforanów w wodzie gruntowej ich wartości na wszystkich obiektach w całym okresie badań mieściły się w przedziale dla I klasy jakości wód [15].

Wzrost stężenia amoniaku oraz fosforanów w wodzie gruntowej w 2011 r. na wszystkich obiektach nawożonych nawozami mineralnymi świadczy o nasilonym ich wymywaniu, tym samym potwierdzając wyniki Pawluczuka [8], Pawluczuka, Gotkiewicza [9], Gotkiewicz, Gotkiewicz [10] oraz Sapka [11].

#### 4. Wnioski

1. Istotnie większe plony runi łąkowej na obiektach nawożonych nawozami naturalnymi w porównaniu z dużymi z obiektów nawożonych wyłącznie fosforem i potasem lub pierwszym poziomem nawożenia mineralnego (NPK/I) wskazują na lepsze wykorzystanie azotu i innych składników stosowanych w tych formach.
2. Sporadyczny wzrost plonów na drugim poziomie nawożenia azotem wskazuje, że w warunkach gleby torfowo-murszowej i poziomie wody gruntowej, zapewniającej optymalne jej uwilgotnienie, nawożenie azotem w wysoko-

ści 60 kg N/ha<sup>-1</sup> pokrywa potrzeby runi łąkowej względem azotu.

3. Rosnąca kumulacja mineralnych form azotu i fosforu w górnych oraz w głębszych warstwach profilu glebowego w kolejnych latach wskazuje na postępujący proces ich wymywania.

4. Wysoki poziom wody gruntowej ograniczający dostęp powietrza mógł być główną przyczyną przemian azotu w kierunku jego denitryfikacji i wzrostu stężeń amoniaku w wodzie, pogarszając jej jakość na badanych obiektach.

## 5. Bibliografia

- [1] Jankowska-Huflejt H.: Ocena wieloletniego nawożenia obornikiem na stan i produktywność łąki. Rozprawa doktorska. Falenty: IMUZ, 1998.
- [2] Wesołowski P.: Nawożenie łąk nawozami naturalnymi w świetle doświadczeń Zachodniopomorskiego Ośrodka Badawczego IMUZ w Szczecinie. Opracowanie monograficzne, 2008, ss. 56.
- [3] Tkaczyk P., Chwil S.: Formy i frakcje fosforu mineralnego w glebie nawożonej nawozami mineralnymi i obornikiem. *Annales UMCS, Sec. E*, 2004, Vol. LIX (4), s. 1723-1730.
- [4] Okruszko H., Gotkiewicz J., Szuniewicz J.: Zmiany zawartości mineralnych składników gleby torfowej pod wpływem wieloletniego użytkowania łąkowego. *Wiadomości Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych*, 1993, T. XVII, z. 3, s. 139-151.
- [5] Kamiński J., Chrzanowski S.: Zróżnicowanie florystyczne i walory przyrodnicze łąk na tle zasobności gleb torfowomurszowych w fosfor. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*, 2009, T. 9, z. 3 (27), s. 77-88.
- [6] Gotkiewicz J.: Wpływ zróżnicowanego nawożenia łąki na glebie torfowej na wysokość i jakość plonów siana. Wpływ nawożenia na jakość plonów. *Mat. Symp. Olsztyn*, 24-25 czerwca 1986 r., s. 51-63.
- [7] Barszczewski J., Szatyłowicz M.: Gospodarka azotem w warunkach zróżnicowanego nawożenia łąki na glebie torfowomurszowej. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*, 2011, T. 11, z. 3 (35), s. 7-19.
- [8] Pawluczuk J.: Mineralizacja azotu w glebach torfowomurszowych strefy morenowej Pojezierza Mazurskiego. *Annales UMCS, Sec. E*, 2004, Vol. LIX (2), s. 559-567.
- [9] Pawluczuk J., Gotkiewicz J.: Ocena procesu mineralizacji azotu w glebach wybranych ekosystemów torfowiskowych Polski północno-wschodniej w aspekcie ochrony zasobów glebowych. *Acta Agrophysica*, 2003, Nr 1, s. 721-728.
- [10] Gotkiewicz J., Gotkiewicz M.: Gospodarowanie azotem na glebach torfowych. *Gospodarowanie na glebach torfowych w świetle 40-letniej działalności Zakładu Doświadczalnego Biebrza. Biblioteczka Wiadomości IMUZ*, 1991, Nr 77.
- [11] Sapek B.: Wymywanie azotanów oraz zakwaszanie gleby i wód gruntowych w aspekcie działalności rolniczej. *Wydaw. IMUZ*, 1995, *Mat. Inf.* Nr 30, s. 31.
- [12] Smoroń S.: Obieg fosforu w rolnictwie i zagrożenie jakości wody. *Zesz. Edukac.* 1, Falenty: Wyd. IMUZ, 1996, s. 87-104.
- [13] Sapek B.: Mineralizacja materii organicznej w glebach łąkowych jako źródło azotu. *Zesz. Edukacyjny* 1, Falenty: Wyd. IMUZ, 1996, s. 75-85.
- [14] Barszczewski J.: Kształtowanie się obiegu składników nawozowych w produkcyjnym gospodarstwie mlecznym w warunkach dochodzenia do zrównoważonego systemu gospodarowania. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie. Rozprawy naukowe i monografie*, Wydaw. IMUZ, 2008, nr 23, ss. 123.
- [15] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych. *Dz. U.* Nr 143 poz. 896.