

ŁADUNEK SKŁADNIKÓW NAWOZOWYCH WNOSZONY Z OPADEM MOKRYM NA POWIERZCHNIĘ ZIEMI W FALENTACH W LATACH 1995–2001

Andrzej SAPEK¹⁾, Piotr NAWAŁANY¹⁾, Jerzy BARSZCZEWSKI²⁾

¹⁾ Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Chemii Gleby i Wody

²⁾ Zakład Doświadczalny Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach

Słowa kluczowe: opad mokry, azot azotanowy, azot amonowy, chlorki

Streszczenie

W pracy przedstawiono wybrane pomiary stężenia składników nawozowych w próbkach wody opadu atmosferycznego, zbieranego w Falentach w latach 1987–2002. Mierzono pH oraz stężenia azotu azotanowego, azotu amonowego, fosforanów, chlorków, sodu, potasu, magnezu i wapnia. Stężenie chlorków i azotu amonowego było największe w miesiącach zimowych, a stężenie azotu azotanowego najmniejsze w miesiącach letnich. Stężenie pozostałych składników było najmniejsze w sezonie wegetacyjnym. Wnoszony ładunek azotu azotanowego wyraźnie zmniejszył się w czasie obserwacji. W tym okresie zwiększył się stosunek ładunku azotu amonowego do azotanowego. Średni całkowity ładunek azotu mineralnego wyniósł $18 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, a średni ładunek chlorków $12,9 \text{ kg Cl}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, zaś wapnia przekroczył $10 \text{ kg Ca}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$.

WSTĘP

Ładunek składników nawozowych wnoszony na powierzchnię ziemi z opadem atmosferycznym odgrywa znaczącą rolę w ich bilansie i obiegu. Ilość tych składników opadająca na użytki rolne w intensywnych gospodarstwach rolnych nie ma większego znaczenia. W gospodarstwach ekologicznych, w których zaniechano

bądź ograniczono nawożenie, ładunek azotu w granicach 15–25 kg N·ha⁻¹·rok⁻¹, odpowiadający zawartości azotu w plonie 2 t zboża, jest wykorzystywany przez uprawy. Ten ładunek azotu opadający na użytki ekologiczne powoduje ich eutrofizację, co może skutkować obumieraniem niektórych gatunków drzew i zmniejszaniem bioróżnorodności w wyniku wypadania gatunków siedlisk ubogich. Związki azotu w opadzie (azotany i amon) przyczyniają się prawie w 50% do zakwaszania środowiska [SAPEK, 1998].

Skład chemiczny opadu częściowo zależy również od umiejscowienia punktu pobierania próbek. Stężenie niektórych składników może być większe w okolicy ośrodków przemysłowych i większych skupisk ludności, lecz także w pobliżu dużych gospodarstw rolnych ukierunkowanych na produkcję zwierzęcą. Celem przedstawionej pracy było rozpoznanie ładunku składników nawozowych wnoszonych z opadem atmosferycznym w pobliżu dużej aglomeracji miejskiej na teren gospodarstwa hodowlanego.

MATERIAŁY I METODY

Falenty są położone 12 km na południe od centrum Warszawy, 2 km na zachód od jedynej drogi wylotowej w kierunku Małopolski i Śląska. Punkt pobierania próbek opadu umiejscowiono na łące doświadczalnej Zakładu Doświadczalnego Melioracji i Użytków Zielonych 0,4 km na południe od obory z obsadą około 100 krów mlecznych. Urządzenie do pobierania próbek zainstalowano w 1987 r. w ramach projektu PL-ARS-129 „Opracowanie systemów gospodarowania w rolnictwie ograniczających straty azotu wynikające z wymywania azotanów i denitryfikacji. Jest to w pełni automatyczne urządzenie do pobierania mokrego i suchego opadu. Pojemnik do zbierania opadu mokrego jest przykryty, gdy nie pada, w tym czasie otwarty jest pojemnik do zbierania opadu suchego. W momencie rozpoczęcia opadu automatycznie zostaje zamknięty pojemnik do zbierania opadu suchego, a otwiera się pojemnik do zbierania opadu mokrego. Z chwilą zakończenia opadu zamyka się automatycznie pojemnik do zbierania opadu mokrego, a otwiera do zbierania opadu suchego [BARSZCZEWSKI i in., 1989].

Próbki zbiera się po każdym opadzie. Ich objętość jest jednak na ogół za mała do wykonania wszystkich zaplanowanych oznaczeń. Dlatego do analizy przeznaczają się zbiorczą próbkę z kilku kolejnych opadów. Oznaczanie pH i składników nawozowych wykonuje się standardowymi metodami. Stężenie N-NO₃, N-NH₄ i P-PO₄, oznaczano za pomocą autoanalyzera przepływowego, a Na, K, Mg i Ca za pomocą spektrometru do absorpcji atomowej, a chlorki miareczkowo za pomocą titrometru z elektrodą platynową.

W pracy omówiono wyniki badań uzyskane głównie w latach 1995–2001.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

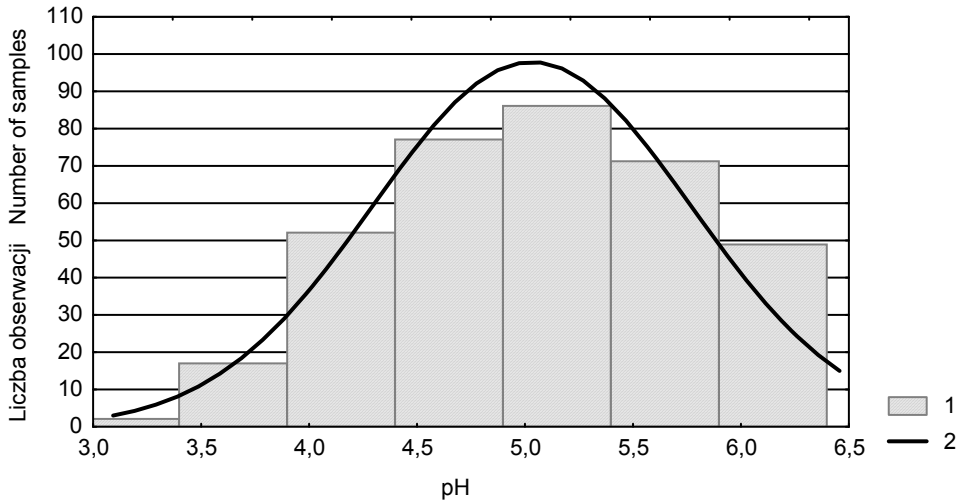
Badane próbki wody opadowej wyraźnie różniły się wartością pH oraz stężeniem magnezu i wapnia od naturalnych wód powierzchniowych i podziemnych w okolicy Falent: pH opadu było o dwie jednostki mniejsze niż w wodach naturalnych, stężenie magnezu o około 20 razy mniejsze niż w wodach powierzchniowych, a wapnia o około 40 razy mniejsze. Obydwa pierwiastki w opadzie pochodzą głównie z emisji pyłów. Emisja pyłów jest również źródłem potasu w opadzie, a jego stężenie w opadzie jest od 2 do 5 razy mniejsze niż w wodach naturalnych. Głównym źródłem sodu i chlorków w opadzie jest rozpylona woda morska. Ich stężenie w opadzie jest również 2–4 razy mniejsze niż w wodach naturalnych. Stężenie fosforanów i azotanów w opadzie jest podobne jak w czystych wodach powierzchniowych lub podziemnych. Jedynie stężenie amonu w opadzie jest większe niż w wodach powierzchniowych i kilkakrotnie przekracza dopuszczalne stężenie w wodzie do picia (tab. 1). Azotany w opadzie pochodzą z emisji tlenków azotu z motoryzacji, przemysłu i energetyki, a także z rolnictwa. Amon w opadzie pochodzi prawie wyłącznie z emisji amoniaku z rolnictwa, głównie z produkcji zwierzęcej. Stosunek azotu amonowego do azotanowego w badanym opadzie był zawsze większy od 1. Świadczy to jednoznacznie, że emisja gazowych związków azotu rolnictwa jest głównym źródłem azotu wnoszonego do ekosystemów nierolniczych [SAPEK i in., 2002]. Sześcioletni okres badań jest zbyt krótki, by doszukiwać się trendów zmian w stężeniu badanych związków.

Rozkład wartości pH mierzonego w próbkach opadu był zbliżony do normalnego (rys. 1). Rozkład ten w odniesieniu do azotu amonowego i azotu azotanowego był zakłócony obecnością próbek o skrajnie większym stężeniu (rys. 2, 3).

Tabela 1. Średnie wartości pH i stężenia składników nawozowych ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) w opadzie mokrym w Falentach – dane z lat 1995–2001

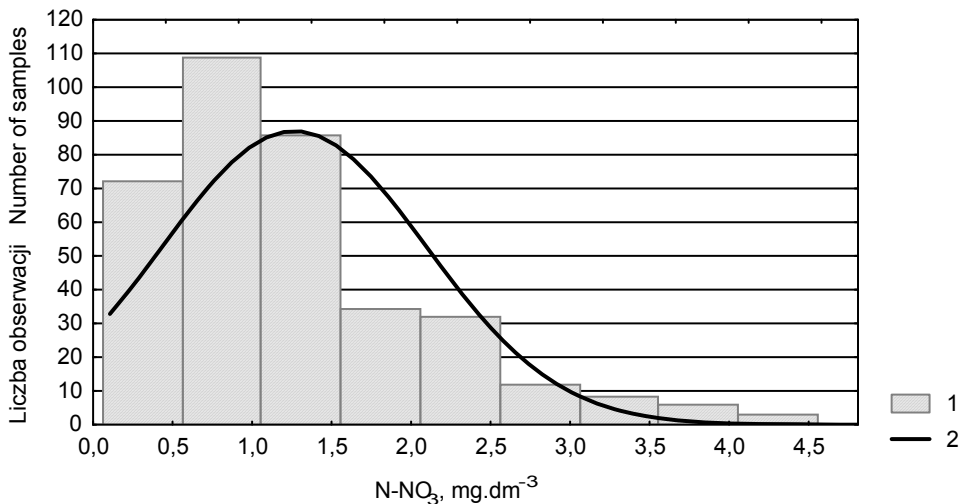
Table 1. Mean pH and nutrient concentrations ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) in wet deposition in Falenty – data from 1995–2001

Składnik Component	Liczba próbek Number of samples	Wartość średnia Mean	Odchylenie standardowe Standard deviation	Wartość maksymalna Maximum	Wartość minimalna Minimum
pH	379	5,12	0,82	7,80	2,90
P	379	0,042	0,04	0,20	0,01
N-NO ₃	379	1,49	1,32	7,83	0,16
N-NH ₄	379	2,20	1,54	9,30	0,17
Cl	379	2,68	2,19	13,50	0,33
Na	379	2,07	1,55	9,20	0,10
K	379	0,82	1,21	9,70	0,10
Mg	379	0,57	0,67	6,50	0,10
Ca	379	2,88	2,48	13,90	0,30



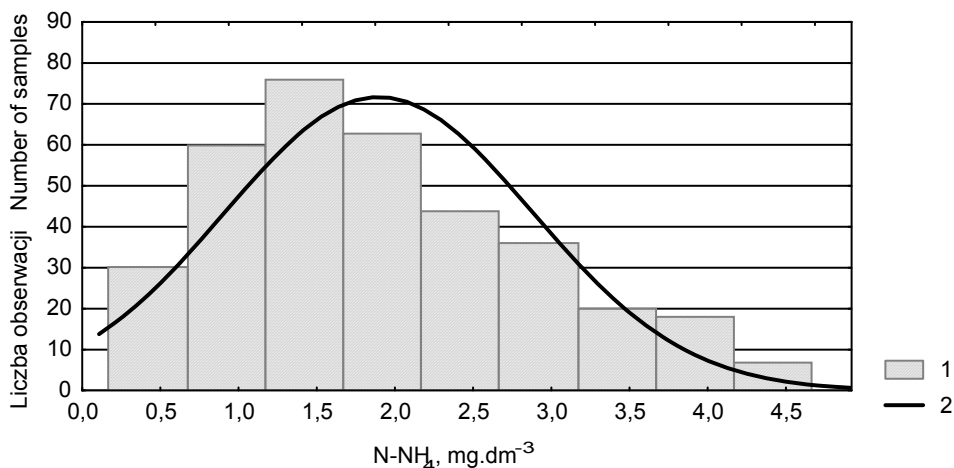
Rys. 1. Histogram rozkładu pH w próbkach opadu mokrego w Falentach – dane z lat 1995–2000 (odrzucono $x > 6,5$; 5% populacji); 1 – wartości obserwowane, 2 – wartości oczekiwane wg rozkładu normalnego

Fig. 1. Distribution of pH in samples of wet deposition in Falenty – data from the years 1995–2000 (rejected $x > 6.5$; 5 % population); 1 – observed, 2 – expected normal distribution



Rys. 2. Histogram rozkładu stężenia azotu azotanowego w próbkach opadu mokrego w Falentach – dane z lat 1995–2000 (odrzucono $x > 4,5$; 5% populacji); 1 – wartości obserwowane, 2 – wartości oczekiwane wg rozkładu normalnego

Fig. 2. Distribution of nitrate nitrogen concentrations in samples of wet deposition in Falenty – data from the years 1995–2000 (rejected $x > 4.5$; 5 % population); 1 – observed, 2 – expected normal distribution



Rys. 3. Histogram rozkładu stężenia azotu amonowego w próbkach opadu mokrego w Falentach – dane z lat 1995–2000 (odrzucono $x > 4,5$; 5% populacji); 1 – wartości obserwowane, 2 – wartości oczekiwane wg rozkładu normalnego

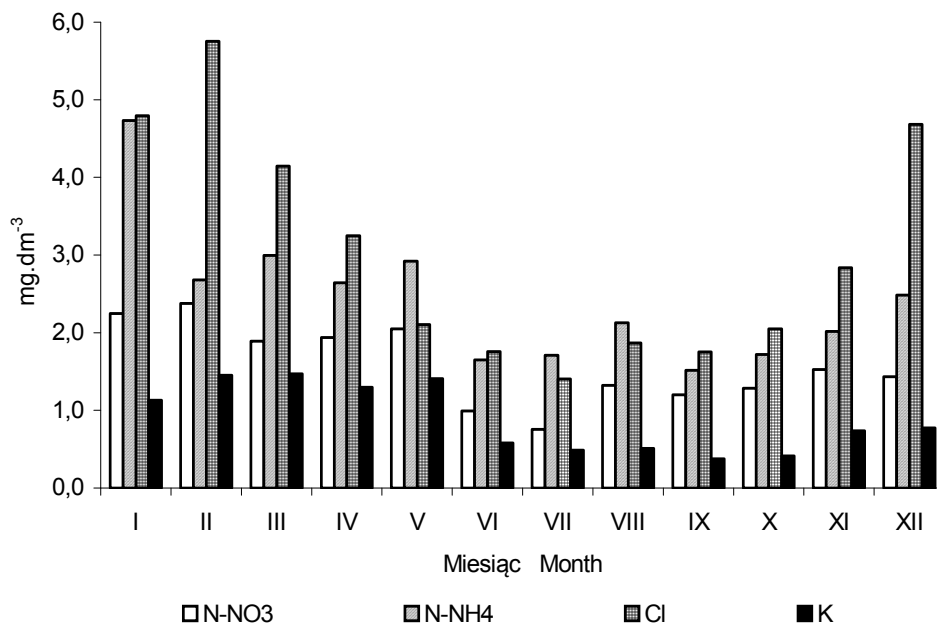
Fig. 3. Distribution of ammonium nitrogen concentrations in samples of wet deposition in Falenty – data from the years 1995–2000 (rejected $x > 4.5$; 5% population); 1 – observed, 2 – expected normal distribution

Obserwowano duże różnice średniego stężenia składników nawozowych w opadach z kolejnych miesięcy. Największe zróżnicowanie stwierdzono w stężeniu chlorków i jonów amonu. Stężenie chlorków było największe w miesiącach zimowych, a jonów amonu w zimowych i wiosennych (rys. 4). Najmniejsze stężenie wszystkich badanych składników nawozowych w opadzie obserwowano w okresie wegetacyjnym. Najmniejsze stężenie azotu azotanowego stwierdzano w miesiącach letnich.

Nie stwierdzono korelacji między pH a stężeniem składników nawozowych w opadzie, z wyjątkiem bardzo słabej z wapniem (tab. 2).

Podobnie nie obserwowano istotnych korelacji stężenia fosforu z innymi składnikami. Stwierdzono natomiast wysoce istotną korelację między stężeniem pozostałych oznaczanych składników.

Ładunek składników jest funkcją stężenia tych składników i ilości opadów. Dlatego zależności obserwowane w przypadku stężenia można odnieść do ilości składników nawozowych wnoszonych na powierzchnię ziemi w Falentach. Ładunek azotu azotanowego wyraźnie malał w ciągu ostatnich lat, natomiast azotu amonowego pozostawał na podobnym poziomie, jednocześnie wartość współczynnika zmienności ($v\%$) była mała. W ostatnich latach zwiększył się, także ładunek sodu i magnezu (tab. 3). Średni ładunek azotu mineralnego ($N\text{-NO}_3 + N\text{-NH}_4$) był bliski $17 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, podobny do ładunku średniego przyjętego w literaturze dla Polski [SZPONAR i in., 1996]. Średni ładunek chlorków i wapnia przekraczał



Rys. 4. Średnie miesięczne stężenie azotu azotanowego, azotu amonowego, chlorków i potasu w opadzie mokrym w Falentach – dane z lat 1995–2000

Fig. 4. Monthly mean concentrations of nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, chlorides and potassium in wet deposition in Falenty – data from the years 1995–2000

Tabela 2. Istotne współczynniki korelacji między stężeniami składników nawozowych w opadzie z Falent – dane z lat 1995–2002 (liczba próbek 379)

Table 2. Coefficients of significant correlation between nutrient concentrations in wet deposition in Falenty – data from the years 1995–2002 ($n = 379$)

Składnik Component	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Cl	Na	K	Mg	Ca
pH						0,19*		0,26**
P								
NNO ₃			0,65**	0,52**	0,49**	0,49**	0,60**	0,47**
NNH ₄				0,55**	0,54**	0,42**	0,58**	0,44**
Cl					0,56**	0,34**	0,51**	0,36**
Na						0,56**	0,60**	0,49**
K							0,52**	0,43**
Mg								0,65**

* istotne dla $\alpha = 0,05$; ** istotne dla $\alpha = 0,01$.

* significant at $\alpha = 0.05$; ** significant at $\alpha = 0.01$.

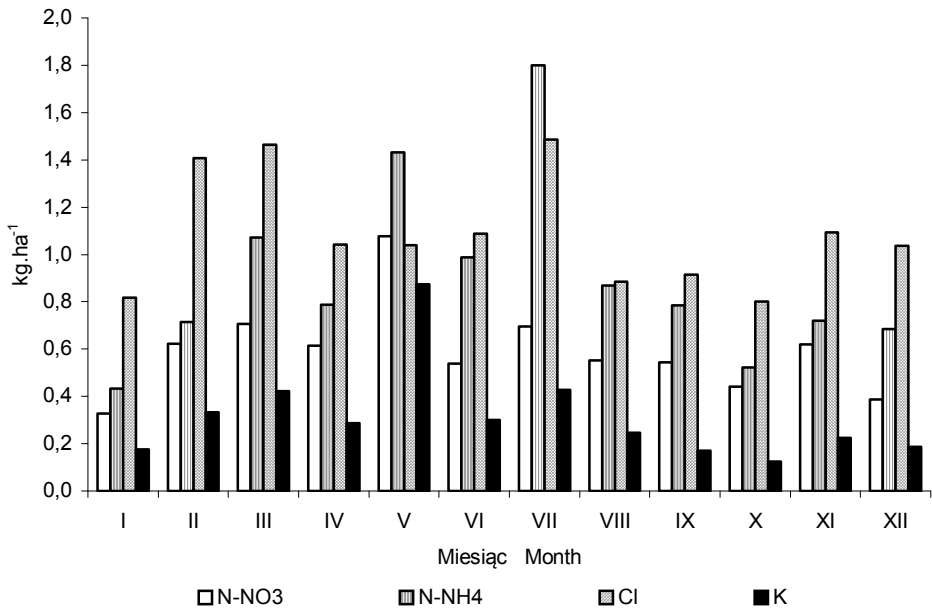
Tabela 3. Ładunek składników nawozowych wnoszony z opadem mokrym na powierzchnię ziemi w Falentach, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ **Table 3.** Nutrient loads from wet precipitation on the ground in Falenty, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$

Lata Years	Składnik Component							
	N-NO ₃	N-NH ₄	P	Cl	Na	K	Mg	Ca
1988	10,8	12,6	0,50	15,3	3,2	4,5	1,9	12,4
1989	10,0	10,1	0,33	17,3	3,7	4,2	1,6	9,5
1990	8,4	9,4	0,39	13,4	2,3	4,5	1,2	7,9
1991	6,0	8,5	0,25	8,1	2,4	3,4	1,5	9,4
1992	9,0	11,0	0,35	11,0	1,9	3,7	2,2	13,1
1993	5,7	7,1	0,18	10,3	3,7	1,3	1,3	11,6
1994	7,2	9,1	0,38	14,3	8,6	2,1	1,7	12,9
1995	7,1	10,7	0,58	10,6	12,2	2,4	2,8	11,6
1996	9,0	13,3	0,27	13,6	9,3	4,0	3,3	12,4
1997	6,3	11,0	0,25	16,8	9,1	3,5	3,5	14,7
1998	6,7	12,2	0,32	12,9	9,3	3,6	2,2	10,0
1999	8,3	8,8	0,46	11,3	10,2	5,6	3,4	12,6
2000	5,4	9,7	0,48	13,1	8,1	3,5	2,0	13,2
Średnia 1995–2000 Mean 1995–2000	7,7	10,3	0,36	12,9	6,5	3,6	2,2	11,6
v %	22	18	32	21	56	32	37	16

v % – współczynnik zmienności.

v % – variability coefficient.

$10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. W kolejnych latach zwiększał się stosunek ładunku azotu amonowego do azotanowego od 1,2 w latach 1988–1994 do 1,6 w latach 1995–2001, co było odbiciem zmniejszenia się emisji tlenków azotu z przemysłu i energetyki, a utrzymywaniem się emisji amoniaku z rolnictwa. Ładunek składników nawozowych wnoszony na powierzchnię ziemi w Falentach miał inny rozkład niż ich stężenie. Większe opady w maju i lipcu skutkowały większym ładunkiem wnoszonym w tych miesiącach – w maju obydwóch postaci azotu i potasu, a w lipcu azotu amonowego i chlorków. Ładunek tych ostatnich był duży także w lutym i marcu (rys. 5).



Rys. 5. Średni miesięczny ładunek azotu azotanowego, azotu amonowego, chlorków i potasu wnoszony z opadem mokrym w Falentach – dane z lat 1995–2000

Fig. 5. Monthly mean load of nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, chlorides and potassium from wet deposition in Falenty – data from the years 1995–2000

PODSUMOWANIE

Badania opadu mokrego w Falentach dostarczają informacji o wpływie dużej aglomeracji miejskiej i dużego gospodarstwa rolnego na stężenie w opadzie składników nawozowych. W opracowaniu przedstawiono tylko fragmenty nagromadzonego dużego materiału obserwacyjnego wskazujące na udział ładunku składników nawozowych wnoszonych z opadem na ich bilans i obieg w rolnictwie i naturalnych ekosystemach. Przygotowywane obszerniejsze opracowanie obejmie wszystkie lata obserwacji, także dane dotyczące opadu suchego.

1. Na powierzchnię użytków rolnych i stawów hodowlanych w Falentach jest wnoszony średnio w ciągu roku ładunek: 18,0 kg N, 0,4 kg P i 3,6 kg K na 1 ha powierzchni.

2. Wnoszony ładunek azotu azotanowego wyraźnie zmniejszył się w czasie obserwacji.

3. W latach 1995–2001 zwiększył się stosunek ładunku azotu amonowego do azotu azotanowego.

LITERATURA

- BARSZCZEWSKI J., GRĄDAL J., SAPEK A., 1989. Urządzenie do rozdzielczego pobierania próbek suchego i mokrego opadu. Wiad. Melior. nr 10 s. 205–206.
- SAPEK A., 1996. Ammonia emission and ammonia in precipitation in Poland. Proc. of 9th Nitrogen Workshop, Braunschweig s. 551–554.
- SAPEK A., SAPEK B., PIETRZAK S., 2002. Obieg i bilans azotu w rolnictwie polskim. Nawozy i Nawożenie 1 (10) s. 100–121.
- SZPONAR L., PAWLIK-DOBROWOLSKI J., DOMAGAŁA R., TWARDY S., TRACZYK I., 1996. Bilans azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim. Warszawa: IŻiŻ s. 79–80.
- TWAROWSKI R., SZYJKOWSKI A., GENDOLLA T., 1996. Monitoring zanieczyszczeń wnoszonych przez opady atmosferyczne na obszary zlewni górnej i środkowej Odry i ocena wynikających stąd zagrożeń geosystemów. Probl. Hydrogeol. Płd.-Zach. Polski. Wrocław: IMGW s. 115–123.

Andrzej SAPEK, Piotr NAWALANY, Jerzy BARSZCZEWSKI

NUTRIENT LOAD WITH WET PRECIPITATION ON THE SOIL SURFACE IN FALENTY DURING 1995–2001

Key words: atmospheric deposition, nitrate, ammonium, chloride

S u m m a r y

Samples of wet atmospheric deposition were collected at Falenty during 1987–2002. Reaction (pH) and concentrations of nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, phosphate, chloride, sodium, potassium, magnesium and calcium were determined in all samples. Only a selected part of obtained results was presented. Concentrations of chloride and ammonium were highest in the winter months and concentrations of nitrate – during vegetation season. Concentrations of other nutrients were also lower during vegetation season. The load of nitrate nitrogen decreased significantly during the study period. The ratio of ammonium nitrogen to nitrate nitrogen load increased at the same time. Mean annual load of mineral nitrogen was about $18 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ N. Mean loads of chloride and calcium were greater than $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$.

Recenzenci:

prof. dr hab. Aleksandra Macioszczyk

prof. dr hab. Henryk Pawłat

Praca wpłynęła do Redakcji 1.10.2002 r.