

Barbara SAPEK, Danuta KALIŃSKA, Piotr NAWALANY

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach
Institute for Land Reclamation and Grassland Farming at Falenty

Stężenie składników mineralnych w wodach gruntowych użytków zielonych na tle ich stężenia w opadzie atmosferycznym

Concentration of minerals in groundwater under the grasslands on the background of its concentration in the atmospheric precipitation

Słowa kluczowe: składniki mineralne, woda gruntowa, opad atmosferyczny, użytki zielone
Key words: minerals, groundwater, atmospheric precipitation, grasslands

Wprowadzenie

Ładunek składników mineralnych, będący funkcją ich stężenia w opadzie atmosferycznym i wielkością opadu, deponowany na powierzchni ziemi, jest jednym z ogniw obiegu tych składników w środowisku. Jego wielkość, zwłaszcza ładunku azotu, a nawet fosforu i potasu, jest znaczącą składową bilansu składników nawozowych wykonywanych w skali gospodarstwa rolnego, zlewni czy kraju (Sapek 2000). Wielkość wnoszonego z opadem ładunku siarki oraz protonów wpływa na intensywność procesu zakwaszenia gleby i wody (Kennedy 1992). Natomiast stężenie składników mineralnych

w wodzie gruntowej odzwierciedla, między innymi, kolejne ogniwo ich obiegu – wymywanie z gleby. Celem pracy jest próba odpowiedzi na pytanie, czy i w jakim zakresie istnieje związek między składem jonowym mokrego opadu lub wielkością wnoszonego z nim ładunku a stężeniem badanych jonów w płytkich wodach gruntowych użytków zielonych.

Materiał i metodyka

W pracy oszacowano stężenie składników mineralnych oraz ich ładunek wnoszony z mokrym opadem na powierzchnię ziemi, a także stężenie tych składników w płytkich wodach gruntowych na podstawie wyników 12-letnich badań wykonanych w latach 1992–2003 w rejonie Falent i długoletnich (założonych w 1981 i 1987 r.) do-

świadczeń na trwałych użytkach zielonych, usytuowanych w zlewni Raszynki. Zarys warunków hydrologicznych rejonu Falent i podsumowanie dotychczasowych badań z zakresu problematyki wodnej tego rejonu zawiera praca Fica i Dziedziczaka (2003). Próbkę wody gruntowej do analizy chemicznej pochodziły ze studzienek kontrolnych zainstalowanych na głębokości 200 cm, na pasach ochronnych doświadczeń. Próbkę wody gruntowej pobierano co miesiąc przez cały rok, z wyjątkiem okresów zamarznięcia gleby. Opis doświadczeń zawierają wcześniejsze prace (Burzyńska i in. 2000, Sapek i Barszczewski 2000). Próbkę opadu pobierano za pomocą w pełni automatycznego urządzenia (Barszczewski i in. 1989). W próbkach wody gruntowej i mokrego opadu oznaczano pH, azot azotanowy ($N-NO_3$), amonowy ($N-NH_4$), fosfor ($P-PO_4$), potas (K), sód (Na), magnez (Mg), wapń (Ca) i chlorki (Cl) standardowymi metodami. Opis przygotowania próbek wody do analizy i metody oznaczeń zawierają prace Sapka A. i in. (2003) oraz Sapek B. i in. (2003). Na podstawie wielkości opadów i stężenia składników obliczono ich ładunki wnoszone na powierzchnię terenu. Średnie wyniki stężenia w opadzie i wodzie gruntowej obliczono jako średnie miesięczne i średnie roczne. Współzależność badanych wielkości oceniono za pomocą testu parametrycznego regresji liniowej (współczynnik korelacji Pearsona – r) i nieparametrycznego – korelacji porządku rang Spearmana (współczynnik korelacji – r_s). Wyniki stężenia jonów azotanowych, amonowych i fosforanowych podano w przeliczeniu na pierwiastek, tj. $N-NO_3$, $N-NH_4$ i P.

Wyniki i dyskusja

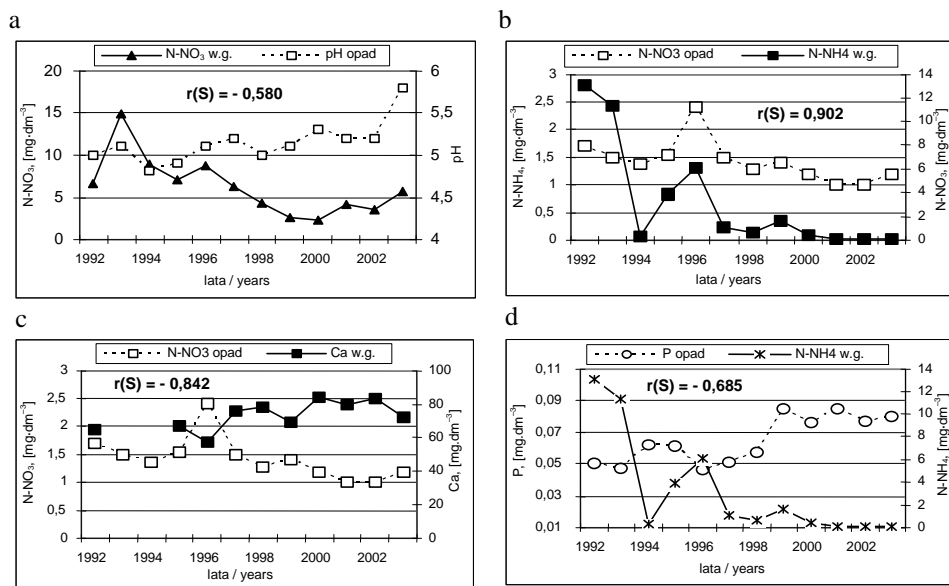
W omawianym okresie badań średni opad wyniósł 537 mm. Minimalny opad – 445 mm wystąpił w 1992 roku, a maksymalny – 667 mm w 1997 roku. Średnia wartość pH (5,3) wskazuje na kwaśny odczyn opadu w przeciwieństwie do odczynu wody gruntowej, który był obojętny (tab. 1). Zmiany średnich rocznych wartości pH opadu w latach badań wykazują tendencje „odkwaszania” wód opadu (rys, 1a). Średnie wartości odczynu oraz stężenia oznaczanych składników w wodach gruntowych, poza $N-NH_4$ i P, spełniają wymagania wód podziemnych I i II klasy (Rozporządzenie...2004), co świadczyłoby o czystości wód gruntowych spod długoletnich doświadczeń łąkowych. Istnieje natomiast ryzyko ich zanieczyszczenia amonową formą azotu i fosforem. Największe wartości współczynników zmienności (168–382%) dotyczą składników nawozowych N, P, K, wprowadzanych do gleby (tab. 1). Podane w tabeli 1 zarówno wartości średnie, jak i minimalne oraz maksymalne dotyczą zbioru wszystkich wyników oznaczeń wykonanych w ciągu 12 lat badań, tj. 905–913 próbek opadu i 405–470 próbek wody gruntowej. Stwierdzono znaczne różnice między stężeniem badanych składników i wartościami współczynników zmienności w mokrym opadzie i w wodzie gruntowej. Jedynie średnia wartość stężenia $N-NH_4$ była w obu przypadkach podobna, jak również przebieg zmian średnich rocznych wartości stężenia tego składnika oraz $N-NO_3$ w opadzie i w wodzie gruntowej (tab. 1, rys. 1b). Tendencję przeciwnego kierunku zmian stężenia w latach badań wykazały (rys. 1a, c, d):

TABELA 1. Średnie^a wartości pH oraz stężenia składników mineralnych w wodzie gruntowej i w mokrym opadzie w rejonie Falent w latach 1992–2003

TABLE 1. Mean values of pH and the concentration of minerals in groundwater as well as in the wet precipitation et Falenty region in 1992–2003

Rodzaj próbki Kind of sample	Wartość Value	Opad Precipitation [mm]	pH	Składniki / Minerale							
				N-NO ₃	N-NH ₄	P	K	Na	Mg	Ca	Cl
Woda gruntowa Groundwater	średnia, mean, [mg·dm ⁻³]		7,0	5,9	2,3	0,94	5,9	12,1	10,3	74,1	39,0
	V%		7,0	168	382	342	365	73,6	42,9	35,5	53,1
Opad Precipitation	średnia mean [mg·dm ⁻³]	537	5,3	1,8	2,2	0,08	0,91	1,6	0,62	3,7	3,1
	V%	10,4	16,8	180	89,8	215	177	115	544	180	100

^aLiczba próbek opadu $n = 909-913$, wody gruntowej $n = 405-470$; V% – współczynnik zmienności. Number of samples of precipitation $n = 907-913$, samples of groundwater $n = 405-470$; V% – coefficient of variation.



RYSUNEK 1. Średnie roczne zmiany pH oraz stężenia N-NO₃, N-NH₄, P i Ca w mokrym opadzie (opad) i wodzie gruntowej (w.g.) w latach 1992–2003 oraz współczynniki korelacji Spearmana – $r(S)$: a – pH opad N-NO₃ w.g., b – N-NO₃ opad, N-NH₄ w.g., c – N-NO₃ opad, Ca w.g., d – P opad, N-NH₄ w.g.

FIGURE 1. The average of annually changes of pH and the concentrations of N-NO₃, N-NH₄, P and Ca in wet precipitation (opad) and groundwater (w.g.) during 1992–2003 and Spearman correlation coefficients – $r(S)$: a – pH opad N-NO₃ w.g., b – N-NO₃ opad, N-NH₄ w.g., c – N-NO₃ opad, Ca w.g., d – P opad, N-NH₄ w.g.

- pH wód opadowych i N-NO₃ w wodzie gruntowej,
- N-NO₃, w opadzie i wapń w wodzie gruntowej,
- P w opadzie i N-NH₄ w wodzie gruntowej.

Ze zmian pH opadu i N-NO₃ w wodzie gruntowej można sądzić, że mniejszemu zakwaszeniu opadu towarzyszy zużycie wody gruntowej w azotany (rys. 1a). Dynamika rocznych zmian stężenia Ca i N-NO₃ wskazywałaby na sprzyjające odwapnieniu wody gruntowej działanie azotanów z opadu. Bardziej kwaśny odczyn opadu oraz najmniejsze stężenia analizowanych jonów występowały w okresie od czerwca do października. Natomiast w miesiącach zimowych, głównie w styczniu, mokry opad był najbardziej wzbogacony w badane składniki, z wyjątkiem potasu, co wykazano również we wcześniejszej pracy (tab. 2.) (Sapek A. i in. 2003). W przeciwieństwie do opadu

stężenie analizowanych jonów w wodzie gruntowej, poza N-NH₄, było najmniejsze w okresie lutego i marca. W okresie zimowym proces mineralizacji materii organicznej oraz wymywanie składników mineralnych z gleby jest ograniczone, a ich pobieranie przez roślinność łąkową rozpoczyna się dopiero z momentem ruszenia wegetacji. Pod koniec wegetacji, w czasie od września do listopada, intensywność pobierania składników maleje, czego skutkiem są duże ich stężenia w wodzie gruntowej (tab. 2).

Przebieg zmian stężenia obu mineralnych postaci azotu, a także sodu, potasu i magnezu w opadzie w ciągu roku można, w przybliżeniu, podzielić na dwa okresy. Pierwszy z nich – od stycznia do czerwca, cechuje się dynamicznym spadkiem stężenia tych jonów, natomiast w czasie drugiego – od lipca do listopada lub grudnia, następuje wzbogacenie opadu w te składniki (rys.

TABELA 2. Średnie miesięczne, minimalne i maksymalne wartości pH oraz stężenia składników mineralnych w wodzie gruntowej i w opadzie w rejonie Falent w latach 1992–2003

TABLE 2. Mean monthly, minimal and maximal values of pH and the concentration of minerals in groundwater as well as in the wet precipitation at Falenty Region in 1992–2003

Rodzaj próbki Kind of sample	Wartość Value	pH	mg·dm ⁻³							
			N-NO ₃	N-NH ₄	P	K	Na	Mg	Ca	Cl
Woda gruntowa Groundwater	min	6,8 (VI) ^a	3,7 (III)	0,5 (V)	0,25 (II)	2,3 (III)	8,9 (II)	7,7 (III)	60,0 (II)	33,8 (II)
	max	7,3 (I)	12,0 (IX)	4,5 (IX)	2,1 (XI)	7,4 (XI)	15,0 (VIII)	11,8 (XI)	86,6 (X)	42,8 (VII)
Opad Precipitation	min	4,9 (XI)	1,2 (VI)	1,6 (VII)	0,05 (VI)	0,53 (IX)	0,89 (VI)	0,33 (XI)	2,6 (X)	1,8 (VII)
	max	5,9 (I)	3,5 (II)	3,03 (I)	0,11 (I)	1,3 (V)	2,8 (I)	0,71 (I)	4,8 (V)	5,2 (I)

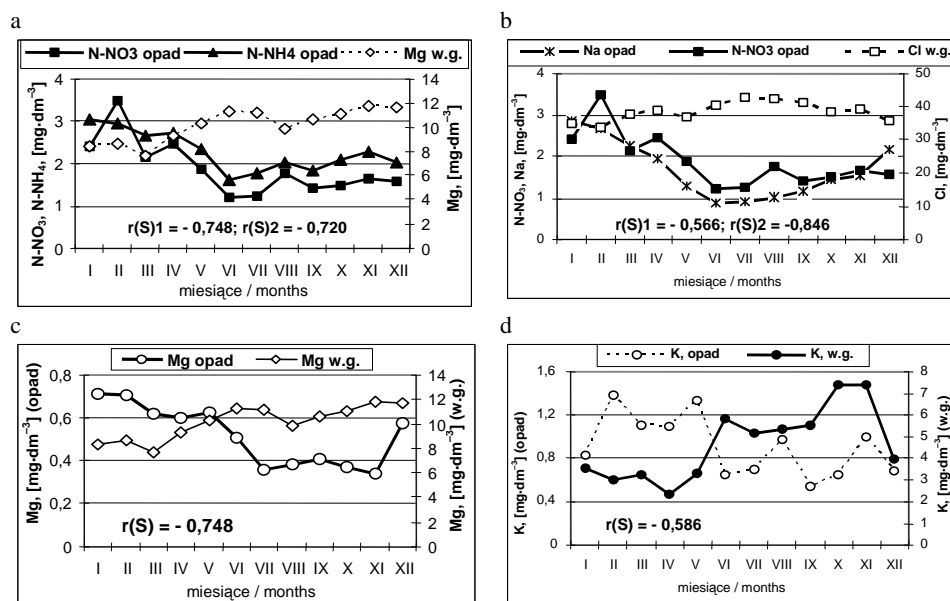
^aW nawiasach podano miesiące, w których wystąpiły skrajne wartości oznaczanych składników w latach badań.

The months with the extremal values were shown in parenthesis.

2a, b, c, d). Dwa okresy zmian stężenia Mg, K i Cl zaznaczyły się również w wodzie gruntowej, lecz kierunek ich zmian w ciągu roku był odwrotny, co również wykazują średnie miesięczne ekstremalne wartości tych stężeń (rys. 2 a, b, d, tab. 2).

Ładunek azotu mineralnego wnoszony z mokrym opadem w rejonie Falent był największy – sumarycznie około $16,5 \text{ kg N-min}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ładunek fosforu, choć niewielki – $0,33 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$, jest znaczący z uwagi na zdolność tego składnika do eutrofizacji wody już w ilości rzędu ppb (tab. 3). W okresie badań, poza 1996 rokiem o maksymal-

nym opadzie, obserwowano tendencję spadku wielkości opadu. W tym czasie stwierdzono również zmniejszanie średniego rocznego stężenia i ładunku azotanów, co oznaczałoby korzystną tendencję zmiany jakości mokrego opadu w badanym rejonie. Jak wykazano wcześniej, zwiększał się natomiast stosunek ładunku N-NH₄ do N-NO₃ w wyniku względnej stabilności ładunku N-NH₄ (Sapek A. i in. 2003). Spadkowej tendencji ładunku N-NO₃ w latach badań towarzyszył podobny kierunek zmian stężenia obu mineralnych form azotu w wodzie gruntowej, natomiast przeciwny kierunek zmian



RYSUNEK 2. Średnie miesięczne zmiany stężenia N-NO₃, N-NH₄, Mg, K, Na i Cl w mokrym opadzie (opad) i wodzie gruntowej (w.g.) w latach 1992–2003 oraz współczynniki korelacji Spearmana – r(S): a – N-NO₃ opad, Mg w.g. – r(S)1, N-NH₄ opad, Mg w.g. – r(S)2, b – N-NO₃ opad, Cl w.g. – r(S)1, Na opad, Cl w.g. – r(S)2; c – Mg opad, Mg w.g., d – K opad, K w.g.

FIGURE 2. The average of monthly changes of concentrations of N-NO₃, N-NH₄, Mg, K, Na, and Cl in wet precipitation and (opad) and groundwater (w.g.) during 1992–2003 and Spearman correlation coefficients – r(S): a – N-NO₃ opad, Mg w.g. – r(S)1, N-NH₄ opad, Mg w.g. – r(S)2; b – N-NO₃ opad, Cl w.g. – r(S)1, Na opad, Cl w.g. – r(S)2; c – Mg opad, Mg w.g.; d – K opad, K w.g.

TABELA 3. Średnie roczne wartości ładunku składników mineralnych wniesione na powierzchnię ziemi z mokrym opadem w rejonie Falent w latach 1992–2003

TABLE 3. Mean values of minerals load deposited on the earth surface with the wet precipitation et Falenty Region during 1992–2003

Wartość, Value	kg·ha ⁻¹							
	N-NO ₃	N-NH ₄	P	K	Na	Mg	Ca	Cl
Średnia (n =12) Mean	6,7	9,8	0,33	3,4	8,5	2,6	19,1	12,6
Min	4,2	7,1	0,18	1,3	1,9	1,3	10,9	8,2
Max	9,1	13,3	1,07	6,2	12,2	4,1	36,9	16,8
V%	22,5	20,2	53,6	43,1	33,8	32,4	37,4	18,7

V% – współczynnik zmienności / coefficient of variation.

stężenia wapnia (rys. 1c, rys. 3b, c). Wskazuje to na współzależność wielkości ładunku obu mineralnych form azotu wnoszonego z opadem i ich stężeniem w wodzie gruntowej.

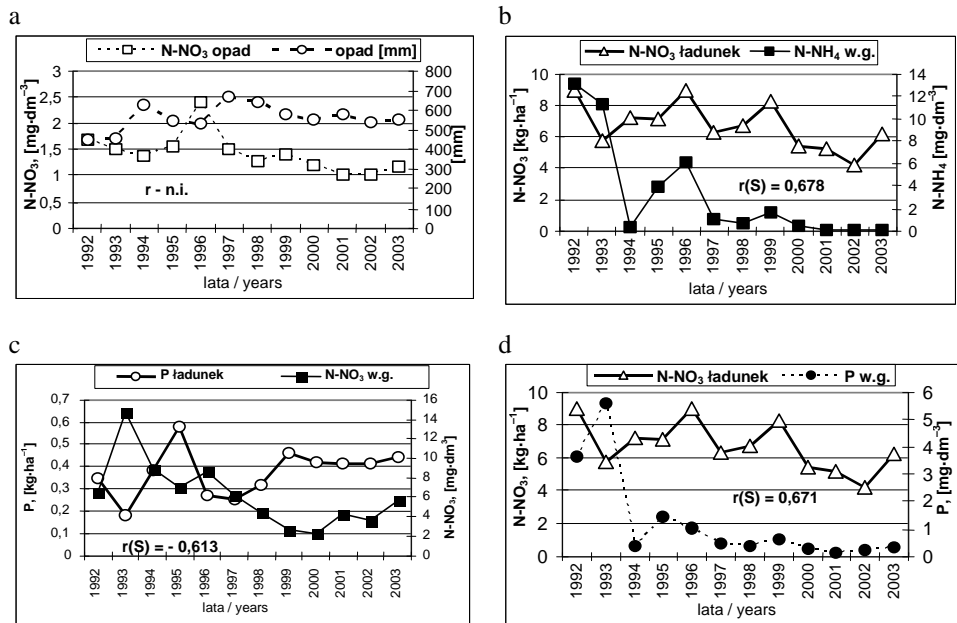
Trudny do wyjaśnienia pozostaje przeciwstawny przebieg zmian stężenia azotanów w wodzie gruntowej i ładunku fosforu wnoszonego z opadem (rys. 3d).

Zmiany średniego miesięcznego ładunku obu mineralnych form azotu na tle ich stężenia w wodzie gruntowej wykazały również dwie fazy (rys. 4a). W okresie od maja do września występują maksymalne ładunki tych jonów w opadzie oraz stężenia w wodzie gruntowej, z wyprzedzeniem tych ostatnich, co wskazuje na związek przyczynowo skutkowy między składem jonowym mokrego opadu i wody gruntowej (rys. 4a). Podobny przedział wykazano w przypadku wapnia. Począwszy od stycznia ładunek ten wzrastał – w maju, lipcu i wrześniu był największy, natomiast jesienią malał do wielkości obserwowanej w miesiącach zimowych (rys. 4b).

Zmiany zarówno odczynu, jak i stężenia wapnia w opadzie przedstawiały odmienny przebieg – tendencję systematycznego zwiększenia stężenia Ca

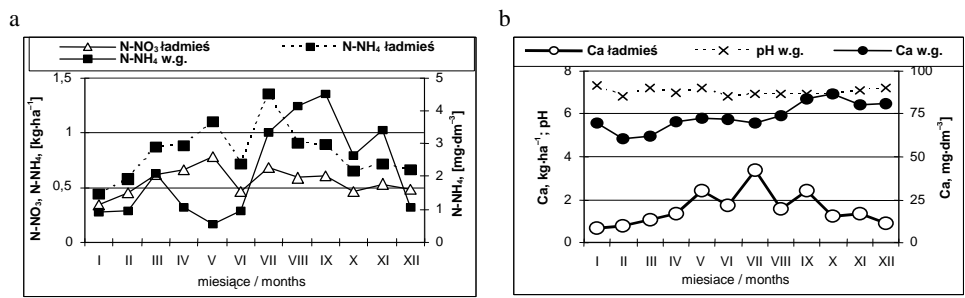
w ciągu roku i swoistej w tym czasie dynamiki pH. Liczny i niejednorodny materiał wynikowy stężeń oznaczanych składników mineralnych w opadzie i wodzie gruntowej w większości przypadków nie spełniał warunków rozkładu normalnego. Stąd zastosowano tutaj test nieparametryczny korelacji porządku Spearmana (r_s). Wykazane na podstawie średnich rocznych wartości stężeń składników mineralnych istotne zależności między opadem a wodą gruntową były w większości przypadków ujemne, z czego wynikałaby możliwość zubażania wody gruntowej użytków zielonych w składniki mineralne, gdy ich stężenie w opadzie będzie się zwiększało (rys. 1 a, c, d).

Można by również sądzić, że wraz ze zmniejszeniem wartości pH opadu stężenie azotanów w wodzie gruntowej będzie się zwiększało. Ujemna wartość współczynnika r_s dla N-NO₃ i Ca wskazuje na odwapnianie wody gruntowej w miarę wzrostu stężenia azotanów w opadzie (rys. 1c). Stąd wynika ryzyko zakwaszenia wód gruntowych w miarę zwiększania emisji tlenków azotu oraz amoniaku, będącego potencjalnym źródłem jonów azotanowych w opadzie (Sapek 1998). Dodatnia



RYSUNEK 3. Średnie roczne zmiany wielkości opadu (mm), stężenia w wodzie gruntowej (w.g.) i ładunku w mokrym opadzie (ładunek) N-NO₃, N-NH₄ i P w latach 1992–2003 oraz współczynniki korelacji Spearmana – r(S): a – N-NO₃ opad, opad mm, b – N-NO₃ ładunek, N-NH₄ w.g., c – P ładunek w.g., N-NO₃ w.g., d – N-NO₃ ładunek, P w.g.

FIGURE 3. The average of annually changes of precipitation (mm), concentration in the groundwater (w.g.) and the load of some minerals in wet precipitation (ładunek) N-NO₃, N-NH₄ and P during 1992–2003 and Spearman correlation coefficients – r(S): a – N-NO₃ opad, opad mm., b – N-NO₃ ładunek, N-NH₄ w.g., c – P ładunek w.g., N-NO₃ w.g.; d – N-NO₃ ładunek, P w.g.



RYSUNEK 4. Średnie miesięczne zmiany: a – ładunku w mokrym opadzie (ładmieś) azotu azotanowego (N-NO₃) i azotu amonowego (N-NH₄) oraz jego stężenia (w.g.), b – ładunku i stężenia wapnia (Ca) oraz pH wody gruntowej (w.g.) w latach 1992–2003.

FIGURE 4. The average of monthly changes: a – load in wet precipitation (ładmieś) of nitrate nitrogen (N-NO₃) and ammonium nitrogen (N-NH₄) and their concentration in groundwater (w.g.), b – load and concentration of calcium (Ca) and pH of groundwater (w.g.) during 1992–2003

wartość współczynników r_s dla stężenia N-NO₃ w opadzie i N-NH₄, oraz N-NO₃ w wodzie gruntowej może wskazywać na wzbogacanie wody gruntowej w azot z opadu i jednocześnie na warunki redukujące azotany z opadu do jonu amonowego (rys. 1b). Na znaczący wpływ stężenia magnezu w opadzie na jego stężenie w wodzie gruntowej wskazuje otrzymana dodatnia wartość r_s (0,648). Natomiast trudny do wyjaśnienia jest ujemny i istotny współczynnik r_s dla stężenia P w opadzie i N-NH₄ w wodzie

nie” płytkich wód gruntowych pod użytkami zielonymi, co wydaje się być sprzecznością. Być może, jest to jeden z symptomów zachwiania równowagi jonowej w środowisku, podobnie jak wykazany przez Knutssona (1994) wzrost stężenia wapnia i pH wody gruntowej będący drugim stadium zakwaszenia wód, w wyniku intensywnego wymywania kationów zasadowych z gleby.

Istotny, ujemny współczynnik korelacji Pearsona ($r = -0,474$) i regresja

TABELA 4. Regresje liniowe i istotne współczynniki korelacji Pearsona między średnimi stężeniami niektórych składników mineralnych w wodzie gruntowej i w mokrym opadzie oraz ich ładunkiem wnoszonym z opadem w latach 1992–2003

TABLE 4. Linear regressions and significant Pearson correlation coefficients between mean values of some mineral concentrations in the groundwater and wet precipitation and between their load deposited with wet precipitation during 1992–2003

Średnie Means	Zmienne / Variables		R	Parametry równania Parameters of equation Y = ax + b	
	Y	X		A	B
Miesięczne	N-NH ₄ w.g.	N-NH ₄ opad	-0,474 ^a	-1,41	5,35
Monthly	P w.g.	N-NH ₄ w.g.	0,849 ^b	0,078	0,197
Roczne	Mg, w.g.	Mg ład. opad	0,831 ^b	1,41	6,17
Annually	Ca, w.g.	N-N-O ₃ ład. opad	-0,895 ^b	-4,83	105,7

^aIstotność przy $\alpha = 0,05$ / Significance at $\alpha = 0.05$.

^bIstotność przy $\alpha = 0,01$ / Significance at $\alpha = 0.01$.

Oznaczenia / Explanations:

r – współczynnik korelacji liniowej / coefficient of linear regression,

w.g. – woda gruntowa / groundwater,

opad / precipitation.

gruntowej (rys. 1c). Istotne korelacje Spearmana między stężeniami składników w opadzie i wodzie gruntowej w układzie miesięcznym były ujemne (rys. 2a, b, c, d).

Uogólniając, można by wnioskować, że nadmiernemu wzbogaceniu wód opadowych w składniki mineralne, a więc wzrostowi „zanieczyszczenia” opadu będzie towarzyszyło „oczyszczanie

liniowa między stężeniem N-NH₄ w obu badanych wodach potwierdza wpływ azotu w opadzie na jego obecność w wodzie gruntowej, którego forma jonowa zależy od warunków redox aktualnie panujących w układzie (tab. 4). Istotną współzależność stężenia N-NH₄ i N-NO₃ w mokrym opadzie wykazano w pracy Sapka A. i in. (2003). Bliższego zbadania wymaga dodatni współ-

czynnik korelacji dla P i N-NH₄ w wodzie gruntowej, który może wskazywać na występowanie fosforu w tych wodach głównie w postaci fosforanów amonu. Wpływ opadu na skład jonowy wody gruntowej potwierdził istotny, ujemny współczynnik korelacji Pearsona między ładunkiem N-NO₃ wnoszonym z opadem, a stężeniem Ca w wodzie gruntowej (tab. 4). Test ten wykazał również, że wraz ze wzrostem ładunku Mg w opadzie wzbogaca się woda gruntowa w ten składnik ($r = 0,831^{**}$) (tab. 4). Ponadto na współzależność składu jonowego wody gruntowej i deponowanego z opadem ładunku jonów wskazują korelacje Spearmana – ujemna między ładunkiem P i stężeniem N-NO₃ w wodzie gruntowej ($r_s = -0,613$) i dodatnia między ładunkiem N-NO₃ w i stężeniem N-NH₄ i P w wodzie ($r_s = 0,671$).

Podsumowanie

Analiza wyników wieloletnich badań pozwala odpowiedzieć twierdząco na postawione w celu pracy pytanie. Jednak zależność między składem jonowym mokrego opadu oraz wielkością wnoszonego z nim ładunku i stężeniem badanych jonów w płytkich wodach gruntowych użytków zielonych nie jest prosta. Udowodniona testem nieparametrycznym Spearmana, a także w kilku przypadkach testem parametrycznym – regresją liniową, zależność ta cechuje się swoistością, która wymaga pogłębienia wiedzy. Najłatwiejsza do interpretacji wydaje się być współzależność stężenia jonów azotanowych i amonowych w opadzie i wodzie gruntowej.

Wynika z niej, że skutkiem nadmiaru tych jonów w opadzie, jak również zwiększenia ich ładunku wnoszonego na powierzchnię ziemi będzie wzbogacenie płytkich wód gruntowych użytków zielonych w N-NO₃ i N-NH₄, a także ich zakwaszenie oraz zmniejszenie stężenia Ca.

Jak wykazano, stosunkowo niewielkie stężenie Mg oraz jego ładunku w opadzie w istotny sposób pozytywnie wpływa na stężenie tego jonu w wodzie gruntowej, co prawdopodobnie wynika z pewnej stabilności średniej podaży Mg z opadu w skali rocznej. Trudne do wyjaśnienia pozostają istotne ujemne współczynniki korelacji Spearmana między stężeniem P w opadzie, a także częściowo jego ładunkiem, i stężeniem N-NO₃, N-NH₄, K oraz P w wodzie gruntowej.

Inny obraz zjawiska przedstawiają wzajemne relacje jonów badane w układzie średnich miesięcznych. Ich dynamika rozpatrywana na tle zmian w ciągu roku w większości rozpatrywanych przypadków jest odmienna dla opadu i wody gruntowej, a przebieg zmian ma przeciwny kierunek.

Literatura

- BARSZCZEWSKI J., GRADAL J., SAPEK A. 1989: Urządzenie do rozdzielczego pobierania suchego o mokrego opadu. *Wiad. Melior.* 10: 205–206.
- BURZYŃSKA I., BARSZCZEWSKI J., SAPEK B. 2000: Następczy wpływ nawożenia mineralnego i organiczno-mineralnego na zawartość węgla organicznego i azotu ogólnego w glebie łąki trwałej deszczowanej. *Wiadomości IMUZ* 21, 1: 21–29.
- FIC M., DZIEDZICZAK R. 2003: Zarys warunków hydrologicznych rejonu Falent. *Woda –*

- Środowisko – Obszary Wiejskie* 3 (zeszyt specjalny 6): 9–18.
- KENNEDY I.R. 1992: Acid soil and acid rain (second edition). Research studies Press. Taunton, U.C.
- KNUTSSON G. 1994: Acidification effect on groundwater – prognosis of the risk for the future [w:] Future groundwater resources at risk. Proc. Helsinki Conference, June 1994. IAHS Publication No 222.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 (DzU nr 32, poz. 284). Załącznik nr 3. Wartości graniczne wskaźników jakości wody w klasach jakości wód podziemnych.
- SAPEK A. 2000: Scientific basis to mitigate the nutrient dispersion into the environment in Poland [w:] Scientific basis to mitigate the nutrient dispersion into the environment. Conf. Proceed. Falenty/Nadarzyn near Warsaw, December 13–14, 1999. IMUZ Publisher.
- SAPEK B. 1998: Procesy zakwaszania gleby i wody na tle działalności rolniczej. *Zeszyty Edukacyjne* 5: 41–56.
- SAPEK B., BARSZCZEWSKI J. 2000: Characteristic of the long-term meadow experiments in Janki and Laszczki; a description of the sites, soils treatments and some results [w:] Effect of liming and nitrogen fertilizer application on soil acidity and gaseous nitrogen oxide emissions in grassland systems (red.) O. Oenem, A. Sapek. Falenty, Wydaw. IMUZ.
- 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(6): 69–78.
- SAPEK B., NAWALANY P., BARSZCZEWSKI J. 2003: Stężenie składników mineralnych i odczyn wód gruntowych spod długoletnich doświadczeń łąkowych w rejonie Falent. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie* 3(6): 59–68.

Summary

Concentration of minerals in groundwater under the grasslands on the background of its concentration in the atmospheric precipitation. The concentration of minerals and their load deposited on the earth surface with the wet precipitation as well as its concentrations in shallow groundwater were estimated on the base of investigations in the area of long-term grassland experiments. Moreover the correlation between the ionic composition of wet precipitation or their deposited load and concentration of ions in groundwater was investigated. Significant correlation for some ions between two determined medium proved by the use of the Spearman test and in some cases obtained linear regression presented the specificity, that demand deeper knowledge of this problem on the basis of further investigations.

Autor's address:

Barabara Sapek
Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach
ul. Hrabaska 3, 05-090 Raszyn
Poland