

Wpłynęło 18.06.2015 r.
Zrecenzowano 24.07.2015 r.
Zaakceptowano 24.08.2015 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

STAN ILOŚCIOWY AZOTU MINERALNEGO W GLEBACH UŻYTKÓW ZIELONYCH A STĘŻENIE AZOTANÓW W WODZIE GRUNTOWEJ

Stefan PIETRZAK ABCDEF

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Jakości Wody

Streszczenie

W pracy zaprezentowano wyniki badań zależności między zasobnością gleb użytków zielonych na azot mineralny oraz zawartością w nich azotu azotanowego i azotu amonowego w okresie jesieni, a stężeniem azotanów w wodzie gruntowej spod tych użytków w okresie wiosny następnego roku. Badania zrealizowano na podstawie wyników monitoringu gleby i wody na terenach zajmowanych przez użytki zielone w Polsce, prowadzonego przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą (KSChR) i podlegające jej okręgowe stacje, we współpracy z Instytutem Technologiczno-Przyrodniczym (ITP) w Falentach. Stwierdzono w szczególności, że: 1) w warunkach Polski, zasobność gleb użytków zielonych w azot mineralny w porze jesiennej nie była skorelowana ze stężeniem azotanów(V) i (III) w wodach gruntowych spod tych użytków w okresie wiosny następnego roku; 2) stężenie azotanów(V) i (III) w wodzie w znikomym stopniu i ograniczonym zakresie związane było z zawartością azotu azotanowego(V) i azotu amonowego w glebie (biorąc pod uwagę różne rodzaje gleb i ich warstwy); 3) w analizowanym układzie czasowym i uwarunkowaniach, rozpatrywane wskaźniki stanu ilościowego azotu mineralnego w glebie nie były dobrymi predyktorami zanieczyszczenia wód gruntowych azotanami.

Słowa kluczowe: azot mineralny, azotany, gleby, monitoring, użytki zielone, wody gruntowe

WSTĘP

Zasobność gleb użytkowanych rolniczo w azot mineralny (N_{\min}) zdiagnozowana w okresie jesieni, traktowana jest jako użyteczny wskaźnik do prognozowania

Do cytowania For citation: Pietrzak S. 2015. Stan ilościowy azotu mineralnego w glebach użytków zielonych a stężenie azotanów w wodzie gruntowej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 3 (51) s. 101-111.

zachodzących z niej strat azotu w wyniku wymywania azotanów(V) w okresie zimowym [FOTYMA i in. 2010; HABERLE i in. 2009; KNIGHT 2006]. Wskaźnik ten w szerokim zakresie jest wykorzystywany do szacowania potencjalnego wymycia azotanów z gleb użytków rolnych [CORREA i in. 2005; PERVANÇHON i in. 2005] i ich stężenia w wodach gruntowych [BOUMA i in. 2012; VELLINGA i in. 2001]. Jednak jak wskazują VELLINGA i in. [2001], opierając się na wynikach prac różnych autorów, relacje między zasobnością gleb w azot mineralny a wymyciem azotanów(V) nie mają jednoznacznego charakteru. Także, jak wynika z badań SCHRÖDERA i in. [2010] oraz VAN DIJKA i SMITA [2006] współzależność między jesiennymi zasobami N_{\min} w glebach wykorzystywanych rolniczo a stężeniem azotanów(V) i (III) w występujących pod ich powierzchnią wodach gruntowych w okresie wiosennym nie jest oczywista, z uwagi na wykazane przez nich słabe skorelowanie wymienionych czynników.

Biorąc pod uwagę zaprezentowane doniesienia z literatury pojawia się pytanie, czy i ewentualnie w jakim zakresie, zasadne jest stosowanie wyników określonych ilości zasobów azotu mineralnego jesienią (w $\text{kg } N_{\min} \cdot \text{ha}^{-1}$), jak też jego zawartości (w $\text{mg } N \cdot \text{kg}^{-1}$) w glebach użytków rolnych do oceny ryzyka zanieczyszczenia wód gruntowych azotanami(V) i (III) na początku okresu pozawegetacyjnego. W wymiarze przyczynkowym próbę wyjaśnienia tego problemu podjęto w niniejszej pracy. Jej celem jest sprawdzenie, czy istnieje zależność między ilością azotu mineralnego w glebie użytków zielonych a stężeniem azotanów(V) i (III) w występujących pod ich powierzchnią wodach gruntowych, zachodząca w układzie czasowym: jesień, po zbiorze roślinności – początek wiosny następnego roku.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Pracę zrealizowano na podstawie wyników oznaczeń zawartości azotu mineralnego w glebach użytków zielonych i stężenia azotanów(V) i (III) w wodach gruntowych występujących pod ich powierzchnią, uzyskanych w ramach systemu monitoringu prowadzonego przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą (KSChR) i okręgowe stacje chemiczno-rolnicze we współpracy z ITP Falenty.

Badania przeprowadzono w latach 2008–2013. Próbkę gleb do badań pobierano jesienią po zbiorze roślinności ze stałych punktów monitoringowych, wyznaczonych na użytkach zielonych na obszarze całego kraju [PIETRZAK 2014; 2015]. Pobierano je z trzech warstw gleby: 0–30, 30–60 i 60–90 cm. Próbkę wody do analizy pobierano wczesną wiosną z punktów pomiarowo-kontrolnych, które stanowiły piezometry, studzienki melioracyjne i wyloty drenów [PIETRZAK 2012].

W materiale glebowym oznaczano zawartość azotu azotanowego(V) ($N\text{-NO}_3$) i amonowego ($N\text{-NH}_4$) metodą kolorymetrii przepływowej wg PN-R-04028:1997, a w próbkach wody – azotany jako suma azotu azotanowego(V) i azotanowego(III)

– metodą analizy przepływowej (CFA i FIA) z detekcją spektrometryczną wg PN-EN ISO 13395:2001.

Na podstawie uzyskanych wyników oznaczeń zawartości N-NO₃ i N-NH₄ w glebie (w mg·kg⁻¹ s.m.) określono zasoby azotu mineralnego (N-NO₃+N-NH₄), występujące w warstwach 0–30, 30–60 i 60–90 cm gleb mineralnych i w warstwie 0–30 cm gleb organicznych w odniesieniu do powierzchni 1 ha użytków zielonych (w kg N·ha⁻¹), zgodnie metodami opisanymi we wcześniejszych pracach [PIETRZAK 2014; 2015].

Dla potrzeb związanych z obróbką statystyczną uzyskane na podstawie analiz laboratoryjnych wyniki zestawiono w formie 12 wyodrębnionych zbiorów reprezentujących takie wskaźniki, jak: stężenie N-NO₃ w wodzie gruntowej, zawartość N-NO₃ i N-NH₄ w glebie oraz zasobność gleby w azot mineralny (tab. 1).

Tabela 1. Specyfikacja zbiorów wyników badań dla potrzeb analizy statystycznej

Table 1. List of datasets for the needs of statistical analysis

Nazwa zbioru/Wskaźnik Dataset/Index	Symbol
Stężenie N-NO ₃ w próbkach wody, mg N-NO ₃ ·dm ⁻³ N-NO ₃ concentration in water samples, mg N-NO ₃ ·dm ⁻³	W_N-NO ₃
Zawartość azotu azotanowego(V) w warstwie gleby 0–30 cm, mg N-NO ₃ ·kg ⁻¹ s.m. Nitrate-nitrogen content in 0–30 cm soil layer, mg N-NO ₃ ·kg ⁻¹ DM	G_N-NO ₃ _0–30
Zawartość azotu azotanowego(V) w warstwie gleby 30–60 cm, mg N-NO ₃ ·kg ⁻¹ s.m. Nitrate-nitrogen content in 30–60 cm soil layer, mg N-NO ₃ ·kg ⁻¹ DM	G_N-NO ₃ _30–60
Zawartość azotu azotanowego(V) w warstwie gleby 60–90 cm, mg N-NO ₃ ·kg ⁻¹ s.m. Nitrate-nitrogen content in 60–90 cm soil layer, mg N-NO ₃ ·kg ⁻¹ DM	G_N-NO ₃ _60–90
Zawartość azotu amonowego w warstwie gleby 0–30 cm, mg N-NH ₄ ·kg ⁻¹ s.m. Ammonium-nitrogen content in 0–30 cm soil layer, mg N-NH ₄ ·kg ⁻¹ DM	G_N-NH ₄ _0–30
Zawartość azotu amonowego w warstwie gleby 30–60 cm, mg N-NH ₄ ·kg ⁻¹ s.m. Ammonium-nitrogen content in 30–60 cm soil layer, mg N-NH ₄ ·kg ⁻¹ DM	G_N-NH ₄ _30–60
Zawartość azotu amonowego w warstwie gleby 60–90 cm, mg N-NH ₄ ·kg ⁻¹ s.m. Ammonium-nitrogen content in 60–90 cm soil layer, mg N-NH ₄ ·kg ⁻¹ DM	G_N-NH ₄ _60–90
Zasobność gleby w azot mineralny w warstwie 0–30 cm, kg N _{min} ·ha ⁻¹ The content of inorganic nitrogen in 0–30 cm soil layer, kg N _{min} ·ha ⁻¹	G_N _{min} _0–30
Zasobność gleby w azot mineralny w warstwie 30–60 cm, kg N _{min} ·ha ⁻¹ The content of inorganic nitrogen in 30–60 cm soil layer, kg N _{min} ·ha ⁻¹	G_N _{min} _30–60
Zasobność gleby w azot mineralny w warstwie 60–90 cm, kg N _{min} ·ha ⁻¹ The content of inorganic nitrogen in 60–90 cm soil layer, kg N _{min} ·ha ⁻¹	G_N _{min} _60–90
Zasobność gleby w azot mineralny w warstwie 0–60 cm, kg N _{min} ·ha ⁻¹ The content of inorganic nitrogen in 0–60 cm soil layer, kg N _{min} ·ha ⁻¹	G_N _{min} _0–60
Zasobność gleby w azot mineralny w warstwie 0–90 cm, kg N _{min} ·ha ⁻¹ The content of inorganic nitrogen in 0–90 cm soil layer, kg N _{min} ·ha ⁻¹	G_N _{min} _0–90

Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

Wyniki te opracowano statystycznie, obliczając: średnią arytmetyczną, medianę i odchylenie standardowe dla poszczególnych wskaźników oraz współczynnik korelacji Pearsona pomiędzy stężeniem N-NO₃ w wodzie gruntowej w okresie wiosennym a pozostałymi wskaźnikami.

Prace terenowe związane z obsługą sieci monitoringu oraz analizy laboratoryjne próbek gleby i wody (we własnych akredytowanych laboratoriach) przeprowadziły okręgowe stacje chemiczno-rolnicze. Wyniki tych analiz zostały zgromadzone w bazie danych prowadzonej przez KSChR. Wyniki badań laboratoryjnych opracowano w ITP Falenty.

WYNIKI BADAŃ I DYKUSJA

W okresie od 2008 do 2013 r. przeciętne stężenie sumy azotu azotanowego(V) i (III) w wodzie gruntowej spod użytków zielonych w Polsce wynosiło w okresie wiosennym ok. 5,6 mg N-NO₃·dm⁻³ (tab. 2).

Tabela 2. Statystyki opisowe stężenia (mg N-NO₃·dm⁻³) sumy azotu azotanowego(V) i (III) w wodzie gruntowej spod użytków zielonych w zależności od ich rodzajach w latach 2008–2013 w okresie wiosennym

Table 2. Descriptive statistics of the concentrations (mg N-NO₃·dm⁻³) of nitrate- and ammonium-nitrogen in groundwater from grassland soils in relation to their type in spring seasons of the years 2008–2013

Symbol wskaźnika Symbol	Parametr Parameter	Wartość statystyki w zależności od rodzaju gleby Statistics in relation to soil type					
		bardzo lekka very light	lekka light	średnia medium	ciężka heavy	mineralne razem total mineral	organiczna organic
	<i>n</i>	380	565	600	224	1 769	424
W_N-NO ₃	śr.	6,07	7,37	5,92	2,35	6,00	4,21
	med.	3,09	3,39	2,79	1,56	2,80	2,09
	<i>SD</i>	7,45	9,56	9,04	2,70	8,50	5,51

Objaśnienia: *n* = liczba wyników oznaczeń, śr. = średnia arytmetyczna, med. = mediana, *SD* = odchylenie standardowe.

Explanations: *n* = number of measurements, śr. = arithmetic mean, med. = median, *SD* = standard deviation.

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników KSChR.

Source: own elaboration based on data from NC-AS.

Poziom tego stężenia był zróżnicowany w zależności od rodzaju gleb zalegających nad wodami gruntowymi. Największe wartości stężeń zanotowano w wodach związanych z glebami należącymi do najbardziej przepuszczalnych, tj. bardzo lekkimi i lekkimi. Tego rodzaju gleby są podatne na wymywanie azotanów, ponieważ cechuje je duża przewiewność i przepuszczalność oraz mała pojemność wodna

i sorpcyjna [SOROKO, STRZELCZYK 2009]. Zawartość azotu azotanowego(V) i azotu amonowego w glebach użytków zielonych była zróżnicowana w zależności od ich rodzaju i poziomu głębokości (tab. 3). Największą zawartością form mineralnych azotu charakteryzowały się gleby organiczne, a najbogatsza w ten składnik była warstwa gleby 0–30 cm.

Tabela 3. Statystyki opisowe zawartości ($\text{mg N}\cdot\text{kg}^{-1}$) azotu azotanowego ($\text{N}\cdot\text{NO}_3$) i azotu amonowego ($\text{N}\cdot\text{NH}_4$) w różnych warstwach gleb użytków zielonych w latach 2008–2013 w okresie jesiennym

Table 3. Descriptive statistics of the content ($\text{mg N}\cdot\text{kg}^{-1}$) of nitrate- and ammonium-nitrogen in various soil layers of grasslands in autumn periods of the years 2008–2013

Symbol wskaźnika Symbol	Parametr Parameter	Wartość statystyki w zależności od rodzaju gleby Statistics in relation to soil type					
		bardzo lekka very light	lekka light	średnia medium	ciężka heavy	mineralne razem total mineral	organiczna organic
G_N-NO ₃ _0–30	<i>n</i>	323	486	505	189	1503	365
	śr.	8,1	11,5	10,6	10,1	10,3	19,3
	med.	4,8	6,5	6,3	6,1	6,0	9,0
G_N-NO ₃ _30–60	<i>SD</i>	11,0	15,4	15,0	25,6	16,2	33,9
	<i>n</i>	323	486	505	189	1503	365
	śr.	5,3	7,6	6,3	6,1	6,5	12,7
G_N-NO ₃ _60–90	med.	2,5	3,7	3,3	3,0	3,2	5,7
	<i>SD</i>	7,8	15,3	8,3	14,4	11,8	22,0
	<i>n</i>	323	486	505	189	1503	365
G_N-NH ₄ _0–30	śr.	3,9	5,5	4,2	3,9	4,5	9,4
	med.	1,7	2,1	1,9	1,4	1,9	2,5
	<i>SD</i>	9,1	18,0	6,9	8,4	12,2	20,9
G_N-NH ₄ _30–60	<i>n</i>	323	486	505	189	1503	365
	śr.	10,1	8,7	6,2	7,2	8,0	33,4
	med.	5,8	5,15	4,1	4,2	4,8	26,2
G_N-NH ₄ _60–90	<i>SD</i>	20,1	11,5	8,1	8,6	12,8	28,9
	<i>n</i>	323	486	505	189	1503	365
	śr.	5,9	5,2	4,3	4,9	5,0	30,6
G_N-NH ₄ _0–30	med.	3,3	2,6	2,2	2,3	2,6	22,5
	<i>SD</i>	10,8	9,2	7,3	7,2	8,8	45,1
	<i>n</i>	323	486	505	189	1503	365
G_N-NH ₄ _30–60	śr.	3,9	3,4	3,9	4,8	3,9	23,7
	med.	2,1	1,9	1,9	1,8	2,0	18,0
	<i>SD</i>	6,8	5,9	7,6	9,2	7,2	23,0

Objaśnienia, jak pod tabelą 2. Explanations as in Tab. 2.

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników KSChR.

Source: own elaboration based on data from NC-AS.

Zasobność gleb użytków zielonych w azot mineralny (ilość azotu mineralnego zakumulowana w glebie na powierzchni 1 ha) związana była również z ich rodzajem oraz poziomem głębokości i zmieniała się w sposób podobny do zmian zawartości mineralnych form N¹⁾ (tab. 4).

Tabela 4. Statystyki opisowe zasobów (kg N·ha⁻¹) azotu mineralnego N_{min} (N-NO₃ + N-NH₄) w różnych warstwach gleb użytków zielonych traktowanych łącznie oraz w poszczególnych ich rodzajach w latach 2008–2013 w okresie jesiennym

Table 4. Descriptive statistics of the content (kg N·ha⁻¹) of nitrate- and ammonium-nitrogen in various soil layers of grasslands (combined and in particular soil types) in autumn seasons of the years 2008–2013

Symbol wskaźnika Symbol	Parametr Parameter	Wartość statystyki w zależności od rodzaju gleby Statistics in relation to soil type					
		bardzo lekka very light	lekka light	średnia medium	ciężka heavy	mineralne razem total mineral	organiczna organic
G_N _{min_0–30}	<i>n</i>	323	486	505	189	1503	365
	śr.	83,9	90,9	71,7	67,5	80,0	147,9
	med.	57,9	67,1	51,4	43,7	56,6	110,8
	<i>SD</i>	113,2	82,8	74,6	109,1	91,7	171,6
G_N _{min_30–60}	<i>n</i>	318	486	505	189	1498	–
	śr.	51,7	57,6	45,1	43,0	50,3	–
	med.	32,4	33,3	29,7	23,4	30,7	–
	<i>SD</i>	69,2	86,2	52,2	68,9	70,5	–
G_N _{min_60–90}	<i>n</i>	318	486	505	189	1498	–
	śr.	35,8	40,3	34,4	33,9	36,6	–
	med.	21,8	21,2	20,0	14,8	20,3	–
	<i>SD</i>	66,3	93,1	47,5	54,9	69,9	–
G_N _{min_0–60}	<i>n</i>	318	486	505	189	1498	–
	śr.	136,1	148,5	116,8	110,5	130,4	–
	med.	96,6	102,6	85,8	70,2	91,6	–
	<i>SD</i>	171,9	149,9	116,4	170,6	148,2	–
G_N _{min_0–90}	<i>n</i>	318	486	505	189	1498	–
	śr.	171,9	188,8	151,3	144,5	167,0	–
	med.	126,9	128,5	109,2	88,1	117,9	–
	<i>SD</i>	214,3	220,8	149,8	209,8	197,2	–

Objaśnienia, jak pod tabelą 2. Explanations as in Tab. 2.

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników KSChR.

Source: own elaboration based on data from NC-AS.

¹⁾ Pogłębioną analizę zawartości azotu azotanowego i amonowego w glebach użytków zielonych oraz ich zasobności w azot mineralny przeprowadzono w pracach PIETRZAKA [2014; 2015].

Związek między zawartością azotu azotanowego(V) i amonowego w glebach użytków zielonych oraz ich zasobnością w azot mineralny w okresie jesiennym, a stężeniem azotanów(V) i (III) w występujących pod ich powierzchnią wodach gruntowych w okresie wiosennym istniał tylko w bardzo ograniczonym wymiarze i był bardzo słaby. Stwierdzono, że spośród rozpatrywanych przypadków zależności (łącznie 62) ze stężeniem N-NO₃ w wodzie gruntowej w okresie wiosennym były istotnie statystycznie skorelowane jedynie (tab. 5):

- zawartość N-NH₄ we wszystkich warstwach gleb organicznych oraz w warstwach 0–30 i 60–90 cm gleb mineralnych, a wśród nich w warstwie 30–60 cm gleb bardzo lekkich i w warstwie 60–90 cm gleb ciężkich;
- zawartość N-NO₃ w warstwach 30–60 cm gleb średnich i 60–90 cm gleb organicznych;
- zasobność w N_{min} gleb ciężkich w warstwie 30–60 cm.

Siła tego skorelowania, wyrażona współczynnikami Pearsona r , wynosiła od –0,0516 do –0,1990 była więc bardzo słaba – w najsilniejszym, ze stwierdzonych przypadków statystycznie istotnych zależności, jeden z rozpatrywanych wskaźników dotyczących ilości azotu mineralnego w glebie (G_N_{min}_60–90) tylko w ok. 4% wyjaśniał zmienność stężenia N-NO₃ w wodzie gruntowej. W podobnych badaniach, zrealizowanych na stanowiskach doświadczalnych z użytkami zielonymi [SCHRÖDER i in. 2010] i z polową uprawą warzyw [VAN DIJK, SMIT 2006] wykazano, że skorelowanie zasobności gleb w azot mineralny ze stężeniem azotanów(V) w wodzie gruntowej wyrażało się wartościami współczynników determinacji r^2 odpowiednio 0,19 i 0,20. Stopień tej współzależności był znacznie większy od uzyskanej w badaniach własnych (niemniej i tak był on niewielki), jednak osiągnięty został w warunkach eksperymentalnych, które miały ograniczony zakres pod względem reprezentatywności. W nawiązaniu do tego należy zauważyć, że na koncentrację azotanów(V) i (III) w wodach gruntowych wpływa wiele różnych czynników, m.in. takich, jak: poziom nawożenia azotowego, zarządzanie nawozami naturalnymi, praktyki uprawowe [WICK in. 2012], wielkość opadów atmosferycznych, głębokość zwierciadła wód gruntowych, zawartość próchnicy w glebie i zawartość cząstek gliniastych w strefie aeracji [POCIENE, POCIUS 2005].

Na uwagę zasługuje fakt, że wszystkie, poza dwoma, uzyskane istotne statystycznie zależności pomiędzy ilością azotu mineralnego w glebie użytków zielonych w okresie jesieni a stężeniem azotanów(V) i (III) w występujących pod ich powierzchnią w wodach gruntowych w okresie wiosennym były ujemnie ze sobą związane. Jest to zrozumiałe w odniesieniu do relacji zachodzących między ilością N-NH₄ w glebie i N-NO₃ w wodzie gruntowej. Azot amonowy jest bowiem absorbowany okresowo przez koloidy glebowe, co zapobiega wymywaniu tego składnika w głąb profilu glebowego. Natomiast trudniej jest zinterpretować przypadek ujemnego skorelowania wskaźnika określającego zasobność N_{min} w warstwie 60–90 cm gleb ciężkich ze stężeniem N-NO₃ w wodzie gruntowej. Stwierdzone, wprost proporcjonalne skorelowanie zawartości N-NO₃ w warstwie 30–60 cm gleb

Tabela 5. Korelacje między stężeniem N-NO₃ w wodzie gruntowej w okresie wiosennym a wskaźnikami charakteryzującym stan ilościowy azotu mineralnego w glebie użytków zielonych

Table 5. Correlations between nitrate-nitrogen concentration in groundwater in spring and indices characterising inorganic nitrogen content in grassland soils

Zmienne zależne Dependent variables		Zmienna niezależna – W_N-NO ₃ Independent variable – W_N-NO ₃					
		bardzo lekka very light	lekka light	średnia medium	ciężka heavy	mineralne razem total mineral	organiczna organic
G_N-NO ₃ _0–30	<i>r</i>	0,0086	0,094	0,0418	–0,0982	0,0456	0,0435
	<i>n</i>	310	462	491	182	1445	350
G_N-NO ₃ _30–60	<i>r</i>	–0,0246	0,064	0,0895*	–0,1095	0,0513	0,1044
	<i>n</i>	310	462	491	182	1445	350
G_N-NO ₃ _60–90	<i>r</i>	0,0358	0,0367	0,0455	–0,1197	0,0369	0,1513**
	<i>n</i>	310	462	491	182	1445	350
G_N-NH ₄ _0–30	<i>r</i>	–0,0812	–0,0724	–0,0453	–0,0639	–0,0516*	–0,1979**
	<i>n</i>	310	462	491	182	1445	350
G_N-NH ₄ _30–60	<i>r</i>	–0,1165*	0,0341	–0,0702	–0,0685	–0,034	–0,1321*
	<i>n</i>	310	462	491	182	1445	350
G_N-NH ₄ _60–90	<i>r</i>	–0,0633	0,0191	–0,0736	–0,1939**	–0,0539*	–0,1124*
	<i>n</i>	310	462	491	182	1445	350
G_N _{min} _0–30	<i>r</i>	–0,0651	0,0344	0,0153	–0,1096	0,0104	–0,0274
	<i>n</i>	310	462	491	182	1445	350
G_N _{min} _30–60	<i>r</i>	–0,0978	0,0674	0,0207	–0,1172	0,0274	–
	<i>n</i>	305	462	491	182	1440	–
G_N _{min} _60–90	<i>r</i>	–0,0138	0,0374	–0,0207	–0,1990**	0,0108	–
	<i>n</i>	305	462	491	182	1440	–
G_N _{min} _0–60	<i>r</i>	–0,0844	0,0579	0,0191	–0,1174	0,0192	–
	<i>n</i>	305	462	491	182	1440	–
G_N _{min} _0–90	<i>r</i>	–0,0795	0,055	0,0081	–0,1475	0,0184	–
	<i>n</i>	305	462	491	182	1440	–

Objaśnienia: *r* = współczynnik korelacji Pearsona, *n* = liczba skorelowanych par, ** = korelacja istotna dla poziomu istotności $\alpha = 0,01$, * = korelacja istotna dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$.

Explanations: *r* = Person correlation coefficient, *n* = number of correlated pairs, ** = correlation significant at $\alpha = 0.01$, * = correlation significant at $\alpha = 0.05$.

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

średnich i w warstwie 60–90 cm gleb organicznych ze stężeniem tego składnika w wodzie należy uznać za spodziewany rodzaj sprzężenia przyczynowo-skutkowego ze względu na dużą ruchliwość azotanów w glebie (niemniej wystąpienie takiej zależności tylko w dwóch spośród analizowanych przypadków jest raczej nieoczekiwane).

Z przeprowadzonej analizy wynika, że w warunkach Polski, na podstawie zasobności gleb użytków zielonych w azot mineralny N_{\min} , określonej w okresie jesiennym, nie można prognozować, jakie będzie stężenie azotanów w występujących pod ich powierzchnią wodach gruntowych w okresie wiosennym w następnym roku. Do wykonywania takich prognoz nie są odpowiednie również takie wskaźniki, jak zawartość azotu azotanowego i azotu amonowego w glebach użytków zielonych.

WNIOSKI I STWIERDZENIA

1. Stężenie azotanów(V) i (III) w wodach gruntowych użytków zielonych w Polsce w okresie wiosny nie zależy od zasobności tych gleb (mineralnych ogółem i organicznych) w azot mineralny w okresie jesieni poprzedniego roku.

2. Zawartość azotu amonowego w warstwach 0–30 i 60–90 cm gleb mineralnych ogółem i organicznych oraz w warstwie 30–60 cm gleb organicznych użytków zielonych w Polsce w okresie jesiennym jest skorelowana ze stężeniem azotanów(V) i (III) w występujących pod ich powierzchnią wodach gruntowych w porze wiosennej następnego roku, jednak siła tego skorelowania jest znikoma.

3. W odniesieniu do analizowanych okresów, brak jest zależności między zawartością azotu azotanowego(V) w glebach mineralnych użytków zielonych ogółem i koncentracją azotanów(V) i (III) w wodach gruntowych. W przypadku gleb organicznych taka zależność występuje w ograniczonym zakresie, dotyczącym warstwy 60–90 cm, przy czym jest bardzo słaba.

4. W warunkach Polski, wskaźniki określające zasobność gleb użytków zielonych w azot mineralny oraz zawartość w nich azotu azotanowego(V) i azotu amonowego w okresie jesiennym nie są użyteczne do predykcji poziomu stężenia azotanów(V) i (III) w wodach gruntowych związanych z tymi glebami, po upływie następującego po nim okresu zimowego.

Podziękowanie

Dziękuję Panu mgr. inż. Markowi Urbaniakowi za pomoc w opracowaniu wyników.

LITERATURA

- BOUMA J., STOOBVOGEL J.J., SONNEVELD W.M.P. 2012. Land evaluation for landscape units. W: Handbook of Soil Science. 2nd ed. Pr. zbior. Red. Huang P.M., Li Y., Summer M.E. London, New York. CRC Press, Boca Raton s. 34–1 do 34–22.
- CORREA R.S., WHITE R.E., WEATHERLEY J. 2005. Modelling the risk of nitrate leaching from two soils amended with five different biosolids. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Vol. 29 s. 619–626.
- FOTYMA M., KĘSIK K., PIETRUCH CZ. 2010. Azot mineralny w glebach jako wskaźnik potrzeb nawozowych roślin i stanu czystości wód glebowo-gruntowych. *Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization*. Nr 38 s. 5–83.

- HABERLE J., KUSA H., SVOBODA P., KLIR J. 2009. The changes of soil mineral nitrogen observed on farms between autumn and spring and modelled with a simple leaching equation. *Soil and Water Research*. No. 4 s. 159–167.
- KNIGHT S. M. 2006. Soil mineral nitrogen testing: practice and interpretation. *Research Review*. No 58. London: HGCA ss. 32.
- PERVANÇON F., BOCKSTALLER C., AMIAUD B., PEIGNÉ J., BERNARD P.Y., VERTÈS F., FIORELLI J.L., PLANTUREUX S. 2005. A novel indicator of environmental risk due to nitrogen management on grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol. 105. Iss. 1–2 s. 1–16.
- PIETRZAK S. 2012. Azotany w wodach gruntowych na terenach zajmowanych przez użytki zielone w Polsce. *Polish Journal of Agronomy*. No 11 s. 34–40.
- PIETRZAK S. 2014. Kształtowanie się ilości azotu mineralnego w mineralnych glebach łąkowych w Polsce w latach 2008–2012. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 14. Z. 3 (47) s. 113–124.
- PIETRZAK S. 2015. Kształtowanie się stanu ilościowego azotu mineralnego w glebach organicznych pod użytkami zielonymi w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 15. Z. 2 (50) s. 87–96.
- PN-EN ISO 13395:2001. Jakość wody. Oznaczanie azotu azotynowego i azotanowego oraz ich sumy metodą analizy przepływowej (CFA i FIA) z detekcją spektrofotometryczną.
- PN-R-04028:1997 Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Metoda pobierania próbek i oznaczanie zawartości jonów azotanowych i amonowych w glebach mineralnych.
- POCIENE A., POCIUS S. 2005. Relationship between nitrate amount in groundwater and natural factors. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. Vol. 13 (1) s. 23–30.
- SCHRÖDER J.J., ASSINCK F.B.T., UENK D., VELTHOF G.L. 2010. Nitrate leaching from cut grassland as affected by the substitution of slurry with nitrogen mineral fertilizer on two soil types. *Grass and Forage Science*. Vol. 65. Iss. 1 s. 49–57.
- SOROKO M., STRZELCZYK M. 2009. Zawartość azotu mineralnego w wodach gruntowych i powierzchniowych na obszarach nawożonych gnojowicą. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 9. Z. 3 (27) s. 179–186.
- VAN DIJK W., SMIT A.L. 2006. How to meet the EC-Nitrate Directive in Dutch vegetable growing? *Acta Horticulturae*. Vol. 700 s. 191–198.
- VELLINGA TH.V., VAN DER PUTTEN A.H.J., MOOIJ M. 2001. Grassland management and nitrate leaching, a model approach. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*. Vol. 49. Iss. 2–3 s. 229–253.
- WICK K., HEUMESSER CH., SCHMID E. 2012. Groundwater nitrate contamination: Factors and indicators. *Journal Environmental Management*. Vol. 111 s. 178–186.

Stefan PIETRZAK

THE CONTENT OF INORGANIC NITROGEN IN GRASSLAND SOILS AND NITRATE CONCENTRATION IN GROUNDWATER

Key words: *grasslands, groundwaters, inorganic nitrogen, monitoring, nitrates, soils*

S u m m a r y

The paper presents the relationships between inorganic nitrogen content, including nitrate- and ammonium-nitrogen, in grassland soils in autumn and nitrate concentrations in groundwater from under these grasslands next spring. Studies were based on results of soil and water monitoring in grassland areas in Poland carried out by the National Chemical-Agricultural Station and its subordinate regional stations in cooperation with the Institute of Technology and Life Sciences in Falenty.

It was found that: 1) autumnal richness of Polish grassland soils in inorganic nitrogen was not correlated with the concentrations of nitrates and ammonium ions in groundwaters from under these grasslands next spring, 2) concentrations of the latter ions in water were weakly associated with their concentrations in soil (considering various types and layers of soils), 3) within time periods and other determinants of this study, the indices of soil inorganic nitrogen were not good predictors of groundwater pollution with nitrates.

Adres do korespondencji: dr hab. S. Pietrzak, prof. nadzw., Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Jakości Wody, al. Hrabstwa 3, 05-090 Raszyn; tel. +48 22 735-75-62, e-mail: S.Pietrzak@itp.edu.pl