

<sup>1</sup> Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,  
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin, Polska

<sup>2</sup> Katedra Chemii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin, Polska  
\*e-mail: przemyslaw.tkaczyk@up.lublin.pl

PRZEMYSŁAW TKACZYK<sup>1\*</sup>, WIESŁAW BEDNAREK<sup>1</sup>,  
MARZENA S. BRODOWSKA<sup>1</sup>, PAWEŁ MUSZYŃSKI<sup>2</sup>

## Fosforany i azotany(V) w wodach gruntowych jako element zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego

Phosphates and nitrates(V) in groundwater as an element of natural  
environment pollution

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań zawartości azotanów(V) i fosforanów w wodach drenarskich pochodzących z rolniczych obszarów województwa lubelskiego. Badania wykonano w latach 2008–2010. Próbkę wód pobierano ze studzienek lub z piezometrów w dwóch terminach: wiosną i jesienią. Wykazano, że istotne różnice w stężeniu azotanów(V) i fosforanów występowały w wodach pomiędzy niektórymi kategoriami agronomicznymi gleb. W terminie wiosennym najwięcej przypadków o istotnie najwyższym stężeniu azotanów(V) i fosforanów stwierdzono w próbkach wody pobranych z gleb lekkich, natomiast jesienią – w wodach z gleby organicznej (azotany(V)) oraz organicznej i ciężkiej (fosforany). W próbkach pobranych wiosną, niezależnie od roku badań, obserwowano większe stężenia azotanów(V) niż w wodach pobieranych w terminie jesiennym. W przypadku stężeń fosforanów podobny związek stwierdzono w 2008 r. Oznacza to, że następował ubytek azotanów(V) i fosforanów z badanych gleb, a jednym ze sposobów przemieszczania się tych składników poza profil glebowy mogło być ich wymywanie do wód gruntowych. Stwierdzono dodatnią i istotną statystycznie zależność pomiędzy stężeniami azotanów(V) i fosforanów w wodach pobranych wiosną 2008 r.

**Słowa kluczowe:** wody gruntowe, fosforany, azotany(V)

### WSTĘP

Działalność człowieka, a zwłaszcza działalność rolnicza, ma istotny wpływ na zanieczyszczenie wód gruntowych, zarówno powierzchniowych, jak i podziemnych. Szczególnie duże zagrożenie niesie nieumiejętne czy nieracjonalne stosowanie nawozów mineralnych i naturalnych. Podstawowymi drogami migracji związków chemicznych do cie-

ków wodnych danej zlewni są wody glebowo-gruntowe i spływ powierzchniowy [za Chomutowska i Wilamowski 2014]. Związki azotu i fosforu dostarczane na pola w nawozach, a niewykorzystywane przez rośliny lub pochodzące ze spływów powierzchniowych, przedostając się do wód gruntowych w nadmiernych ilościach, mogą wywołać ich eutrofizację [za Adamczyk i Jachimowski 2013, Dupas i in. 2015]. Wpływ fosforanów na przebieg procesu eutrofizacji jest większy niż azotanów(V) [Pawełek i Grenda 2011]. Fosforany powodują wytworzenie większej masy glonów w stosunku do produkcji tych organizmów wywołanej taką samą dawką azotu [Królak i in. 2014]. Różna jest także dynamika przemieszczania się tych składników z gleby do wód gruntowych. W porównaniu z fosforanami migracja azotanów(V) w dół profilu glebowego jest znacznie łatwiejsza i szybsza [Jadczyzyn i in. 2014, Szczykowska i in. 2016]. To, jaka ilość związków azotu i fosforu przedostanie się do wód, zależy od wielu czynników, w tym m.in. od warunków pogodowych, ukształtowania terenu, rodzaju i jakości gleb, rodzaju upraw, intensywności nawożenia, wielkości powierzchni gruntów ornych, użytków zielonych, a także lasów [Świtajska i Szymczyk 2014, Kanclerz i in. 2015, za Grochowska 2016]. Azotany(V) i fosforany obecne w wodach w stężeniach powyżej dopuszczalnych norm obniżają przydatność wody do spożycia i stanowią realne zagrożenie dla zdrowia ludzi, zwłaszcza kobiet w ciąży i dzieci, a także zwierząt [za Pawęska i in. 2012]. Największy udział w zanieczyszczeniu wód azotem i fosforem mają związki tych pierwiastków pochodzące z obszarów użytkowanych rolniczo. Pomiary stężeń tych związków chemicznych są wykorzystywane w badaniach jakości wód na obszarach użytkowanych rolniczo.

Celem badań było określenie zawartości fosforanów i azotanów(V) w wodach gruntowych jako elementu zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego.

#### MATERIAŁ I METODY

W badaniach środowiskowych przeprowadzonych na obszarze województwa lubelskiego w latach 2008–2010, których celem było określenie przenikania do wód gruntowych fosforanów i azotanów(V) z użytków rolnych, wytypowano punkty poboru wody w takich miejscach i w taki sposób, by nie utrudniały prac polowych i by nie uległy zniszczeniu. Próbkę wody pobierano ze studzienek lub zamontowanych piezometrów (rur plastikowych o średnicy umożliwiającej swobodny pobór próbek) do głębokości 90 cm. Próbkę wody pobierano dwa razy w roku: wiosną, przed rozpoczęciem prac polowych oraz jesienią, po ich zakończeniu. Minimalna wielkość pobranej próbki wody wynosiła około 100 cm<sup>3</sup> i była zgodna z siecią monitoringu azotu mineralnego. Wytypowano 111 punktów do pobierania wody, w tym 89 zlokalizowano na gruntach ornych i 22 na użytkach zielonych. Liczbę punktów i ich rozmieszczenie na gruntach ornych określono na podstawie obsady zwierząt (wg ankiet przeprowadzonych przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze dla IUNG – PIB). Jeżeli była ona mniejsza od 40 DJP (duża jednostka przeliczeniowa, ang. LU, LSU – livestock unit, umowna jednostka liczebności zwierząt hodowlanych w gospodarstwie, wg polskich norm odpowiadająca jednej krowie o masie 500 kg) na 100 ha, to wyznaczano 1 punkt, jeżeli wynosiła 40–80 DJP na 100 ha – wyznaczano 2 punkty, a jeżeli była większa od 80 DJP na 100 ha – 3 punkty. Liczbę punktów i ich rozmieszczenie na użytkach zielonych ustalono [za Pietrzak 2012], uwzględnia-

jąc regionalne uwarunkowania przyrodnicze, rodzaj siedliska (łągi, grądy, bielawy, murszowiska), sposób wykorzystania (łąki, pastwiska) oraz intensywność użytkowania. Za miarę intensywności użytkowania łąk i pastwisk przyjęto obsadę zwierząt trawożernych (bydło, owce, kozy, konie) przypadających na 1 ha UR w gospodarstwie. Na podstawie danych Głównego Urzędu Statystycznego [www.stat.gov.pl] oszacowano, że na 90,5% powierzchni UR obsada bydła jest mniejsza od  $0,75 \text{ DJP ha}^{-1}$ , na 7,8% wynosi od  $0,75$  do  $1,5 \text{ DJP ha}^{-1}$ , a na 1,7% jest większa od  $1,5 \text{ DJP ha}^{-1}$ .

Analizy chemiczne wykonano w akredytowanym laboratorium Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Lublinie. W badaniach gleby wykorzystano następujące metody analityczne:

- 1) skład granulometryczny – metodą laserowej dyfrakcji,
- 2) pH w 1 mol KCl – potencjometrycznie [PN-ISO 10390:1997],
- 3) węgiel organiczny metodą Tiurina [PN-ISO 14235:2003],
- 4) fosfor i potas przyswajalny metodą Egnera-Riehma (DL) [PN-R-04022:1996/Az1:2002, PN-R-04023:1996],
- 5) magnez przyswajalny po ekstrakcji z gleby  $0,0125 \text{ mol CaCl}_2$  [PN-R-04020:1994/Az1:2004],
- 6) azot mineralny metodą kolorymetryczną [PN-R-04028:1997].

Oznaczenie azotu azotanowego(V) wykonano metodą analizy przepływowej (CFA i FIA) z detekcją spektrometryczną, a fosforanów ( $\text{PO}_4$ ) – metodą spektrometryczną z molibdenianem amonu. Uzyskane wyniki analiz chemicznych obliczono statystycznie z wykorzystaniem analizy wariancji nieortogonalnej z klasyfikacją pojedynczą dla 624 próbek wody i 624 próbek gleby (3 powtórzenia). Istotne różnice pomiędzy średnimi sprawdzono z wykorzystaniem testu post-hoc Tukeya ( $p < 0,05$ ). Obliczono także współczynniki korelacji liniowej Pearsona pomiędzy zawartością fosforanów i azotanów(V) w wodzie a niektórymi właściwościami gleby wraz z ich istotnością statystyczną ( $p < 0,05$ ). Analizy statystyczne wykonano przy użyciu programu Statistica 6.0 (StatSoft Inc. Kraków, Polska).

Wielkość plonu badanych roślin, przedplon, oraz stosowane nawożenie ustalane były w formie badań ankietowych, a uzyskane dane oceniano i weryfikowano, odrzucając wyniki skrajnie odstające.

## WYNIKI

W 2008 r. w okresie wiosennym wystąpiły dysproporcje stężeń fosforanów pomiędzy niektórymi kategoriami agronomicznymi gleb (tab. 1). Różnice odnotowano w zawartości fosforanów pomiędzy glebą lekką a średnią, ciężką i organiczną. W wodach gleby lekkiej ( $3,44 \text{ mg P dm}^{-3}$ ) stężenie fosforanów było ok. 4-krotnie większe niż w glebach średniej ( $0,88 \text{ mg P dm}^{-3}$ ) i ciężkiej ( $0,74 \text{ mg P dm}^{-3}$ ) oraz 115-krotnie większe niż w glebie organicznej ( $0,03 \text{ mg P dm}^{-3}$ ). Stężenia fosforanów w wodach gleb bardzo lekkiej, średniej i ciężkiej istotnie różniły się względem stężenia w glebie organicznej. W 2009 r. nie stwierdzono istotności różnic stężenia fosforanów w wodach pomiędzy kategoriami gleb. Natomiast w 2010 r. istotna różnica wystąpiła pomiędzy glebami lekką i średnią.

Tabela 1. Zawartość fosforanów (średnia  $\pm$ SD) w wodzie drenarskiej w zależności od kategorii agronomicznej gleb, lat badań i terminu pobierania próbek (mg P dm<sup>-3</sup>)  
 Table 1. The content of phosphates (mean  $\pm$ SD) in drainage water depending on the agronomic category of soils, years of testing and the date of sampling (mg P dm<sup>-3</sup>)

Kategoria agronomiczna gleby Category agronomic soil	Termin/ Date of sampling					
	I – wiosenny/ spring			II – jesienny/ autumn		
	rok/year					
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Bardzo lekka Very light	1,01 $\pm$ 0,59ab	0,59 $\pm$ 0,43a	0,27 $\pm$ 0,10ab	0,55 $\pm$ 0,23ab	0,30 $\pm$ 0,12b	0,30 $\pm$ 0,12a
Lekka/ Light	3,44 $\pm$ 1,48a	0,51 $\pm$ 0,39a	0,13 $\pm$ 0,06b	0,36 $\pm$ 0,12b	0,40 $\pm$ 0,21b	0,10 $\pm$ 0,02a
Średnia/ Medium	0,88 $\pm$ 0,60b	0,34 $\pm$ 0,21a	0,63 $\pm$ 0,45a	0,76 $\pm$ 0,43ab	0,47 $\pm$ 0,27ab	0,19 $\pm$ 0,09a
Ciężka/ Heavy	0,74 $\pm$ 0,46b	0,22 $\pm$ 0,15a	0,44 $\pm$ 0,21ab	1,10 $\pm$ 0,62a	0,61 $\pm$ 0,54ab	0,16 $\pm$ 0,10a
Organiczna/ Organic	0,03 $\pm$ 0,02c	0,17 $\pm$ 0,04a	0,26 $\pm$ 0,14ab	0,46 $\pm$ 0,11ab	1,77 $\pm$ 1,01a	0,25 $\pm$ 0,15a

Średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie pomiędzy kategorią agronomiczną ( $p < 0,05$ )  
 Means marked with the same letter do not differ significantly between agronomic categories ( $p < 0.05$ )

W terminie jesiennym stężenia fosforanów charakteryzowały się większą stabilnością. Odnotowane zostały trzy przypadki różnic: w 2008 r. pomiędzy glebą lekką i ciężką oraz w 2009 r. pomiędzy glebą organiczną a lekką i bardzo lekką. Jeżeli będziemy rozpatrywać zawartość fosforanów w wodach tylko pod względem kategorii agronomicznej (bez lat i terminów wiosennego i jesiennego), to okaże się, że największa była w wodzie pobranej z gleb lekkich ( $0,82 \text{ mg P dm}^{-3}$ ); w wodzie z pozostałych kategorii była wyrównana i nieznacznie przekraczała  $0,5 \text{ mg P dm}^{-3}$ . Należy odnotować, że różnice w tej zawartości były nieistotne statystycznie (tab. 3). W kolejnych latach badań w próbkach wody pobranych w terminie wiosennym i jesiennym zawartość fosforanów zauważalnie się zmniejszała, jednak obliczone średnie nie różniły się istotnie (tab. 4).

Tabela 2. Zawartość azotanów(V) (średnia  $\pm$ SD) w wodzie drenarskiej w zależności od kategorii agronomicznej gleby, lat badań i terminu pobierania próbek ( $\text{mg N dm}^{-3}$ )

Table 2. The content of nitrates(V) (mean  $\pm$ SD) in drainage water depending on the agronomic category of soils, years of testing and the date of sampling ( $\text{mg N dm}^{-3}$ )

Kategoria agronomiczna gleby Category agronomic soil	Termin/ Date of sampling					
	I – wiosenny/ spring			II – jesienny/ autumn		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Bardzo lekka Very light	4,21 $\pm 2,04a$	3,77 $\pm 2,07a$	1,50 $\pm 0,98b$	2,54 $\pm 1,67a$	2,05 $\pm 1,21ab$	0,15 $\pm 0,04b$
Lekka/ Light	1,72 $\pm 1,02ab$	5,84 $\pm 2,98a$	5,12 $\pm 3,21a$	1,53 $\pm 1,00ab$	2,88 $\pm 1,10ab$	0,24 $\pm 0,09b$
Średnia/ Medium	1,69 $\pm 0,98ab$	3,79 $\pm 1,87a$	4,28 $\pm 2,11ab$	2,10 $\pm 0,98a$	1,51 $\pm 0,79bc$	1,90 $\pm 1,01a$
Ciężka/ Heavy	0,94 $\pm 0,64b$	4,61 $\pm 1,76a$	1,62 $\pm 1,04b$	0,14 $\pm 0,09c$	0,75 $\pm 0,43c$	0,17 $\pm 0,05b$
Organiczna/ Organic	2,23 $\pm 1,02ab$	0,67 $\pm$ 0,4 3b	0,12 $\pm 0,06c$	0,55 $\pm 0,32bc$	4,07 $\pm 3,21a$	3,15 $\pm 1,89a$

Średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie pomiędzy kategorią agronomiczną ( $p < 0,05$ )

Means marked with the same letter do not differ significantly between agronomic categories ( $p < 0.05$ )

Zawartość azotanów(V) w wodach wykazała istotną zależność od większej liczby różnych kategorii agronomicznych gleby w porównaniu ze stężeniem fosforanów. Ponadto różnice występowały częściej w okresie pomiarowym niż te obserwowane w przypadku stężeń fosforanów (tab. 2). W okresie wiosennym istotne różnice wystąpiły głównie w roku 2009 oraz 2010 i w większości przypadków dotyczyły stężeń azotanów(V) w wodach gleb lekkiej, średniej, ciężkiej i organicznej. W roku 2009 i 2010 najmniejsze stężenie odnotowano w glebie organicznej ( $0,67$  i  $0,12 \text{ mg N dm}^{-3}$ ), a największe – w glebie lekkiej ( $5,84$  i  $5,12 \text{ mg N dm}^{-3}$ ). W stosunku do roku 2009 w następnym, 2010, zaobserwowano o dwa przypadki różnic więcej: pomiędzy glebą bardzo lekką i lekką oraz lekką i ciężką. W terminie jesiennym stężenie azotanów(V) było zależne od niektórych kategorii agronomicznych gleby w każdym z trzech lat badań. Najwięcej dysproporcji wystąpiło w roku 2008 i 2010. W obu tych latach różnice stwierdzono pomiędzy glebą organiczną a bardzo lekką, lekką i średnią oraz średnią a ciężką. Dane w tabeli 3, nieuwzględniające lat badań i terminów, potwierdzają, że zawartość

azotanów(V) była największa w próbkach wody pochodzących z gleb lekkich, a najmniejsza – w wodach gleby organicznej. Największą zawartość azotanów(V) stwierdzono w wodach pobranych w terminie wiosennym w 2008 r., a mniejszą w 2010 r. Zawartość tej formy azotu w próbkach wody pobranej jesienią była kilkakrotnie mniejsza niż w terminie wiosennym (tab. 4).

Tabela 3. Średnie z lat zawartości fosforanów i azotanów(V) w wodzie drenarskiej w zależności od kategorii agronomicznej gleby  
Table 3. Average from years of content of phosphates and nitrates(V) in drainage water depending on the agronomic category of the soil

Kategoria agronomiczna Category agronomic	Fosforany/ Phosphates (mg P dm <sup>-3</sup> )	Azotany(V)/ Nitrates(V) (mg N dm <sup>-3</sup> )
Bardzo lekka/ Very light	0,50a	2,37a
Lekka/ Light	0,82a	5,47a
Średnia/ Medium	0,55a	2,55a
Ciężka/ Heavy	0,55a	1,37a
Organiczna/ Organic	0,49a	1,80a

Średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie na poziomie istotności  $p < 0,05$   
Means marked with the same letter do not differ significantly at  $p < 0.05$  level of probability

Tabela 4. Zawartość fosforanów i azotanów(V) (średnia  $\pm$ SD) w wodzie drenarskiej w zależności od lat badań i terminu pobierania próbek  
Table 4. The content of phosphates and nitrates(V) (mean  $\pm$ SD) in the drainage water depending on the years of testing and the date of sampling

Rok Year	Fosforany/ Phosphates (mg P dm <sup>-3</sup> )		Azotany(V)/ Nitrates(V) (mg N dm <sup>-3</sup> )	
	termin/ date of sampling			
	I – wiosenny spring	II – jesienny autumn	I – wiosenny spring	II – jesienny autumn
2008	1,68 $\pm$ 0,99a	0,69 $\pm$ 0,32b	6,90 $\pm$ 2,98a	1,49 $\pm$ 0,62b
2009	0,39 $\pm$ 0,21a	0,51 $\pm$ 0,43a	4,52 $\pm$ 1,71a	1,95 $\pm$ 0,89b
2010	0,38 $\pm$ 0,19a	0,17 $\pm$ 0,15a	3,58 $\pm$ 1,58a	0,87 $\pm$ 0,75b

Średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie pomiędzy terminem pobrania próbek i latami badań ( $p < 0,05$ )

Means with the same letter do not differ significantly between the date of sampling and years of research

Nie stwierdzono istotnych korelacji pomiędzy zawartością fosforanów i azotanów(V) w wodzie pobranej w terminie wiosennym a  $pH_{KCl}$ ,  $C_{org.}$ , zawartością przyswajalnych form P, K i Mg w glebie oraz nawożeniem azotem zastosowanym pod przedplon w 2008 r. (tab. 5).

Tabela 5. Zależność zawartości fosforanów i azotanów(V) w wodzie od niektórych właściwości gleby i zabiegów agrotechnicznych, 2008 r.,  $p < 0,05$ ;  $n = 624$   
 Table 5. Dependence of the content of phosphates and nitrates(V) in water on some soil properties and agrotechnical procedures, 2008,  $p < 0.05$ ;  $n = 624$

Zmienna/ Variable	I, $\text{H}_2\text{PO}_4^-$	I, $\text{N-NO}_3$
$\text{pH}_{\text{KCl}}$	n.s.	n.s.
$\text{C}_{\text{org.}}$ / C organic	n.s.	n.s.
P przyswajalny/ P available	n.s.	n.s.
K przyswajalny/ K available	n.s.	n.s.
Mg przyswajalny/ Mg available	n.s.	n.s.
Przedplon/ Forecrop	n.s.	n.s.
Nawożenie organiczne/ Organic fertilization	n.s.	n.s.
Dawka azotu pod roślinę Dose of nitrogen for the plant ( $\text{kg N ha}^{-1}$ )	n.s.	n.s.
I, $\text{N-NO}_3$ (0–30 cm)	n.s.	n.s.
I, $\text{N-NH}_4$ (0–30 cm)	n.s.	n.s.
I, $\text{N}_{\text{min.}}$ , $\text{kg ha}^{-1}$ (0–30 cm)	n.s.	n.s.
I, $\text{N}_{\text{min.}}$ , $\text{kg ha}^{-1}$ (0–90 cm)	n.s.	n.s.
I, $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , woda/ water	–	0,831
I, $\text{NO}_3$ , woda/ water	0,831	–
2,0–0,05 mm (30 cm)	n.s.	0,860
$\text{S}_{\text{og.}}$ (%)	n.s.	n.s.
S- $\text{SO}_4$	n.s.	n.s.

n.s. – zależność nieistotna statystycznie/ dependency not statistically significant

I – termin pobrania próbek: wiosna/ date of sampling: spring

Podobnych, istotnych, zależności nie stwierdzono również pomiędzy fosforanami i azotanami(V) w wodzie a nawożeniem organicznym i mineralnym azotem stosowanymi w 2008 r. oraz zawartością  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  i azotu mineralnego w próbkach glebowych pobranych z warstwy 0–30 cm w 2008 r. Takich zależności nie odnotowano także pomiędzy tymi dwoma elementami zawartymi w wodzie gruntowej (fosforany, azotany(V)) a zawartością w glebie siarki siarczanowej, ogólnej oraz frakcji ilastych. Jedynie pomiędzy zawartością fosforanów w wodach pobranych w terminie wiosennym 2008 r. a występowaniem w nich azotanów(V) odnotowano istotną korelację ( $r_{xy} = 0,831$ ).

#### DYSKUSJA

Analiza wyników pomiarów stężeń biogenów w odniesieniu do wartości normatywnych umożliwia ocenę jakości wód podziemnych. W niniejszych badaniach stężenia azotanów(V) były niewielkie i znacznie niższe od dopuszczalnej normy  $50 \text{ mg NO}_3 \text{ dm}^{-3}$  dla wód przeznaczonych do spożycia [za Zbierska i in. 2011, Kaczor-Kurzawa 2015,

Rozporządzenie... 2017]. Należy podkreślić, że w większości próbek wody stężenia azotanów(V) nie przekroczyły  $5 \text{ mg NO}_3 \text{ dm}^{-3}$ . Większe stężenia, powyżej  $5 \text{ mg NO}_3 \text{ dm}^{-3}$ , odnotowano w 2009 i 2010 r. w czasie wiosennego poboru prób na glebach lekkich. Podobnie w przypadku stężeń fosforanów stan przekroczenia normy  $1 \text{ mg PO}_4 \text{ dm}^{-3}$  występował sporadycznie [Rozporządzenie... 2015]. Oznacza to, że w okresie prowadzonych badań analizowane wody nie były zanieczyszczone azotanami(V) i fosforanami.

Z badań wynika, że poziom stężenia azotanów(V) i fosforanów wykazywał związek z kategorią agronomiczną gleby. Największe stężenia badanych substancji występowały w próbkach wód pobranych spod gleby lekkiej. Wyniki badań dotyczące stężeń azotanów(V) w wodach gruntowych na glebach lekkich są zbieżne z badaniami Pietrzak [2012]. Gleby tego typu cechują się małymi zdolnościami retencyjnymi wynikającymi z ich składu granulometrycznego. W glebach o takich właściwościach składniki biogenne wykazują wysoki potencjał migracji do wód [Kancelerz i in. 2015]. W punktach poboru wody na pozostałych glebach stężenia azotanów(V) były niższe i cechowały się zmiennością, stężenia fosforanów zaś podlegały niewielkim zmianom. Natomiast niskie stężenie azotanów(V) i fosforanów oznaczono na glebach organicznych. Z literatury wiadomo, że azotany(V) i fosforany podlegają w glebach różnym procesom, które wpływają na wielkość ich wymycia do wód gruntowych. Azotany(V) są słabo zatrzymywane przez kompleks sorpcyjny gleby w przeciwieństwie do fosforanów, które ulegają sorpcji w dużo większym stopniu. Sorpcja fosforanów wykazuje zależność od pojemności sorpcyjnej gleby i zawartości materii organicznej. W glebach zasobnych w próchnicę fosfor ulega immobilizacji głównie w postaci połączeń organicznych [Sapek i in. 2011]. Dużą pojemność sorpcyjną w stosunku do fosforanów wykazują także gleby o dużej zawartości tlenków żelaza i glinu. Z kolei azotany(V) w glebach z dużą zawartością próchnicy są poddawane intensywnemu procesowi denitryfikacji [Szczykowska i in. 2016]. Można przypuszczać, że wspomniane procesy mogły przyczynić się do zmniejszenia stężeń azotanów(V) i fosforanów w wodach gleby organicznej. Z kolei na glebach z mniejszą zawartością materii organicznej fosfor jest słabiej wiązany i w związku z tym szybciej zachodzi jego uwalnianie. Z badań Urbaniak i Sapek [2004] wynika, że na stężenie fosforu w profilu gleb organicznych mają wpływ warunki wodne. Wysoki poziom wód gruntowych powoduje większe uwalnianie fosforanów z gleb organicznych. Jak wykazały badania Urbaniak i Sapek [2004], zmiany poziomu wód gruntowych miały największy wpływ na frakcje diwodorofosforanów oraz fosforu zaadsorbowanego przez koloidy glebowe. Podobnie Kiryluk [2003] i Sapek [2010] podkreślają, że opady i uwilgotnienie gleby mają znaczny wpływ na możliwość przedostawania się fosforu do wód. Przenikanie fosforu do wód zależy także od jego zawartości w wierzchniej warstwie gleb. W przypadku wysycenia migracja może zwiększać się, gdy zaś gleba nie jest nasycona, przenikanie w głąb profilu zachodzi w ograniczonym stopniu [Roy i in. 2004, Kiryluk i Rauba 2011].

W badaniach wykazano, że wiosną następował wzrost stężenia azotanów(V) w stosunku do okresu jesienno. W przypadku fosforanów taką zależność zaobserwowano w 2008 r. Sezonowa zmienność stężeń badanych biogenów stanowi potwierdzenie przemieszczania się tych składników z gleb do wód gruntowych. Taki sam kierunek zmian stężeń w wodach powierzchniowych w okresie jesień-wiosna został opisany przez Szczykowską i in. [2016]. Zaobserwowane różnice autorzy tłumaczą brakiem wykorzystania biogenów przez rośliny ze względu na ustanie wegetacji w okresie od późnej je-



sieni do wczesnej wiosny. Jako drugą przyczynę Szczykowska i in. [2016] i Krasowska [2017] podają warunki pogodowe, jakie panują wiosną, przed rozpoczęciem wegetacji roślin. Według tych autorów rozmarzanie gleby, topnienie śniegu i opady powodują wzmożony spływ powierzchniowy i podpowierzchniowy. Efektem tego zjawiska są wysokie stężenia fosforanów w wodach. Dodatkowym czynnikiem może być utrudniona infiltracja wody do wód gruntowych z powodu zamarznięcia gleby oraz możliwość występowania spływu powierzchniowego w warunkach rozmarzania płytkich warstw gleby [Banaszuk i in. 2009]. Zwiększone stężenia azotanów(V) w wodach gruntowych badanych wiosną w stosunku do wód pobieranych jesienią zanotowali także Igras i Jadczyzyn [2008].

Obliczenia statystyczne wykazały, że w próbkach wody pobieranych wiosną 2008 r. stężenia azotanów(V) i fosforanów były dodatnio skorelowane. Obserwowana zależność występowania tych składników w wodzie może sugerować ich pochodzenie z tego samego źródła [Kaczor-Kurzawa 2015].

#### WNIOSKI

1. Nie stwierdzono istotności różnic w zawartości fosforanów w próbkach wód gruntowych pobranych na glebach o różnych kategoriach agronomicznych w terminach wiosennym i jesiennym, w latach badań 2009 i 2010, pomimo zauważalnego zróżnicowania wartości średnich tego pierwiastka w obrębie wprowadzonych klasyfikacji.

2. W badanych punktach pomiarowych pomimo intensywnej produkcji zwierzęcej nie stwierdzono wpływu nawożenia na zanieczyszczenie wód azotanami(V) i fosforanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych.

#### PIŚMIENNICTWO

- Adamczyk W., Jachimowski A., 2013. Wpływ składników biogennych na jakość i eutrofizację powierzchniowych wód płynących, stanowiących źródło wody pitnej Krakowa. *Żywn. Nauka Technol. Jakość* 6(91), 175–190.
- Banaszuk P., Krasowska M., Kamocki A., 2009. Źródła azotu i fosforu oraz drogi ich migracji podczas wezbrania roztopowego w małej zlewni rolniczej. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* 9(4/28), 5–26.
- Chomutowska H., Wilamowski K., 2014. Analiza czystości wód rzeki Łutownia na terenie Puszczy Białowieskiej. *Inż. Ekol.* 38, 117–128, <https://doi.org/10.12912/2081139X.38>.
- Dupas R., Gascuel-Oudou Ch., Gilliet N., Grimaldi C., Gruau G., 2015. Distinct export dynamics for dissolved and particulate phosphorus reveal independent transport mechanisms in an arable headwater catchment. *Hydrol. Process.* 29(14), 3162–3178, <https://doi.org/10.1002/hyp.10432>.
- Grochowska J., 2016. Spływ powierzchniowy wapnia, magnezu, żelaza, manganu oraz azotu i fosforu ze zlewni górnej Pasłęki. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* 16(4/56), 33–42.
- Igras J., Jadczyzyn T., 2008. Zawartość azotanów i fosforanów w płytkich wodach gruntowych w Polsce. *Probl. Inż. Rol.* 2, 91–101.
- Jadczyzyn J., Mroczkowski W., Gosek S., 2014. Erozyjne straty fosforu w doświadczeniu modelowym. *Inż. Ochr. Środ.* 17(1), 89–103.

- Kaczor-Kurzawa D., 2015. Ocena i przyczyny zanieczyszczenia azotanami wód podziemnych w zachodniej części Polesia Lubelskiego i Wołyńskiego. *Inż. Ochr. Środ.* 18(2), 141–153.
- Kanclerz J., Wiatrowska K., Adamska A., 2015. Formy specjacyjne fosforu w wodach powierzchniowych w zlewni Jeziora Gorzuchowskiego. *Pol. J. Agron.* 22, 10–17.
- Kiryłuk A., 2003. Wpływ sposobu użytkowania torfowiska niskiego na zawartość biogenów i innych składników w wodach gruntowych i w wodach z rowów melioracyjnych na obiekcie Supraśl Dolna. *Acta Agrophys.* 1(2), 245–253.
- Kiryłuk A., Rauba M., 2011. Wpływ rolnictwa na stężenie fosforu ogólnego w wodach powierzchniowych zlewni rzeki Śliny. *Inż. Ekol.* (26), 122–132.
- Krasowska M., 2017. Sezonowe zmiany składu chemicznego wód rzecznych w zlewni rolniczej. *Inż. Ekol.* 18(3), 175–183, DOI: 10.12912/23920629/69378.
- Królak E., Biardzka E., Łapińska R., Semeniuk A., 2014. Stężenie związków biogenych w osadach ściekowych i wodach odciekowych wytwarzanych w gminnych oczyszczalniach ścieków (Łomazy i Sławatycze). *Inż. Ochr. Środ.* 17(2), 211–219.
- Pawełek J., Grenda W., 2011. Wpływ zbiorników retencyjnych na ujęciu z Rudawy na jakość wody przeznaczonej do zaopatrzenia Krakowa. *Ochr. Środ.* 33(4), 63–66.
- Pawęska K., Malczewska B., Zyglińska B., 2012. Charakterystyka wód ze studni ze szczególnym uwzględnieniem związków azotu na przykładzie wsi Przeździec. *Proc. ECOpole* 6(1), 253–260, DOI: 10.2429/proc.2012.6(1)034.
- Pietrzak S., 2012. Azotany w wodach gruntowych na terenach zajmowanych przez użytki zielone w Polsce. *Pol. J. Agron.* 11, 34–40.
- PN-ISO 10390:1997. Jakość gleby. Oznaczanie pH. PKN, Warszawa.
- PN-ISO 14235:2003. Jakość gleby. Oznaczanie zawartości węgla organicznego przez utlenianie dwuchromianem (VI) w środowisku kwasu siarkowego (VI). PKN, Warszawa.
- PN-R-04020:1994/Az1:2004. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego magnezu. PKN, Warszawa.
- PN-R-04022:1996/Az1:2002. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych. PKN, Warszawa.
- PN-R-04023:1996. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych. PKN, Warszawa.
- PN-R-04028:1997. Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Metody pobierania próbek i oznaczania zawartości jonów azotanowych i amonowych w glebach mineralnych. PKN, Warszawa.
- Roy M., Kamińska G., Winkler L., 2004. Erozyjne obciążenia fosforanami wód Gowienicy Miedwiańskiej. *Rocz. Glebozn. – Soil Sci. Ann.* LV(4), 129–138.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych. *Dz.U.* 2016 poz. 85.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *Dz.U.* 2017 poz. 2294.
- Sapek B., 2010. Uwalnianie azotu i fosforu z materii organicznej gleby. *Woda Środ. Obsz. Wiew.* 10(3/31), 229–256.
- Sapek A., Sapek B., Chrzanowski S., Jaszczyński J., 2011. Dziesięcioletnie badania zmian stężenia składników mineralnych w różnego rodzaju wodach z obiektów gleb torfowych zakładu doświadczalnego ITP w Biebrzy. *Woda Środ. Obsz. Wiew.* 11(4/36), 183–196.
- Szczykowska J.E., Siemieniuk A., Wiater J., 2016. Zanieczyszczenia fosforem jako bariera jakości wód zbiorników małej retencji na Podlasiu. *Inż. Ekol.* 48, 202–207, DOI: 10.12912/23920629/63269.
- Świtajska I.J., Szymczyk S., 2014. Wpływ wierzby uprawianej na cele energetyczne na zawartość związków azotu i fosforu w wodach gruntowych. *Proc. ECOpole* 8(1), 301–309, DOI: 10.2429/proc.2014.8(1)039.

Urbaniak M., Sapek B., 2004. Zmiany we frakcjach fosforu w glebie torfowo-murszowej w zależności od poziomu wody gruntowej. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* 4(2a/11), 493–502. [www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl).

Zbierska J., Ławniczak A.E., Kupiec J., Zbierska A., 2011. Stężenie składników biogennych w wodach gruntowych i podziemnych w zlewni bezpośredniej Jeziora Niepruszewskiego narażonego na zanieczyszczenia pochodzenia rolniczego. *Nauka Przyr. Technol.* 5(5), 1–16.

Badania zostały przeprowadzone w ramach monitoringu „Badania zawartości N-NO<sub>3</sub> w wodach gruntowych oraz tworzenie i prowadzenie baz danych dotyczących zanieczyszczenia azotanami wód w profilu glebowym do 90 cm od powierzchni gruntu”. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Krajowa Stacja Chemiczno-Rolniczej w Warszawie.

**Summary.** The paper presents results of testing the content of nitrates(V) and phosphates in drainage water from agricultural areas of Lublin province. The tests were carried out in 2008–2010. Water samples were taken from wells or from piezometers on two dates: in spring and autumn. It was shown that significantly different concentrations of nitrates(V) and phosphates occurred in the waters between some agronomic categories of soils. At the spring time, the most cases with the highest concentration of nitrates(V) and phosphates were found in water samples taken from light soils, while in the autumn – from organic (nitrates(V)) and organic and heavy soil (phosphates). In samples collected in spring, regardless of the study year, there were higher concentrations of nitrates(V) than in waters collected in autumn. A similar compound was observed for phosphate concentrations in 2008. This means that there was a loss of nitrates(V) and phosphates from studied soils and one of the ways of moving these components beyond the soil profile could be leaching to groundwater. A positive and statistically significant relationship was found between nitrate(V) and phosphate concentrations in water samples collected in spring 2008.

**Key words:** groundwater, phosphates, nitrates(V)

Otrzymano/ Received: 4.11.2018  
Zaakceptowano/ Accepted: 21.12.2018