

Wpłynęło 05.11.2014 r.
Zrecenzowano 30.01.2015 r.
Zaakceptowano 10.02.2015 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

FOSFORANY W WODACH GRUNTOWYCH NA TERENACH ZAJMOWANYCH PRZEZ UŻYTKI ZIELONE W POLSCE

Stefan PIETRZAK^{ABCDEF}

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Jakości Wody

Streszczenie

W pracy zaprezentowano wyniki badań stężenia fosforu fosforanowego w wodach gruntowych spod użytków zielonych w Polsce. Badania przeprowadzono w latach 2008–2011 w ramach systemu monitoringu gleby i wody na terenach zajmowanych przez użytki zielone, prowadzonego przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą i podlegające jej okręgowe stacje we współpracy z Instytutem Technologiczno-Przyrodniczym w Falentach. Stwierdzono w szczególności, że: 1) średnie roczne stężenie P-PO₄ w wodzie gruntowej spod użytków zielonych kształtowało się w granicach 0,19–0,29 mg·dm⁻³ w okresie wiosennym i 0,28–0,62 mg·dm⁻³ w okresie jesiennym; 2) każdego roku badań w okresie jesiennym zawsze występowało większe średnie roczne stężenie P-PO₄ w próbkach wody niż w okresie wiosennym; 3) ze względu na stężenie fosforu fosforanowego, jakość wody w ok. 80–86% punktów monitoringu w okresach wiosennych i w przybliżeniu w 76–82% punktów monitoringu w okresach jesiennych spełniała kryteria klas jakości wód podziemnych od I do III (obejmują wody odznaczające się dobrym stanem chemicznym); 4) stężenie P-PO₄ w wodach gruntowych było zróżnicowane w zależności od kategorii agronomicznej gleby, formy wykorzystania użytku zielonego, rodzaju punktu monitoringu i odczynu gleby; 5) stosunkowo największe stężenie P-PO₄ występowało w wodach gruntowych związanych z glebami bardzo lekkimi i ciężkimi, z pastwiskami, w dużej mierze także z glebami o odczynie lekko kwaśnym oraz w wodzie gruntowej odprowadzanej drenami.

Słowa kluczowe: fosforany, monitoring, użytki zielone, wody gruntowe

WSTĘP

Fosfor zawarty w glebie jest w niej mało ruchliwy, stąd też na ogół słabo podlega wmywaniu i, jak się na ogół uważa, nie stanowi zagrożenia dla jakości wód

Do cytowania Forcitation: Pietrzak S. 2015. Fosforany w wodach gruntowych na terenach zajmowanych przez użytki zielone w Polsce. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 3 (51) s. 89–100.

gruntowych. Jednak w ostatnich latach wymywanie fosforu do wód gruntowych zaczyna być postrzegane za ważny problem [FORREST i in. 2006], stosunkowo duże stężenia fosforu rejestruje się bowiem również w tego rodzaju wodach [HOLMAN i in. 2010]. Zarazem wyniki badań dowodzą, że fosfor z wód gruntowych przemieszcza się do cieków wodnych [DOMAGALSKI, JOHNSON 2011] i może przez to wpływać na ich status ekologiczny. W kontekście powyższego formułowane są postulaty, że należy rozwijać wiedzę o źródłach i przyczynach zanieczyszczenia wód gruntowych fosforem oraz zagrożeń stwarzanych przez ten składnik dla wód podziemnych, a poprzez nie – wód powierzchniowych [HOLMAN i in. 2008; WELCH i in. 2010].

Potencjalne duże prawdopodobieństwo zanieczyszczenia wód gruntowych fosforanami istnieje na obszarach zajmowanych przez uprawy rolnicze (zwłaszcza, jeśli stosowane są na nie długotrwale i w nadmiernych ilościach nawozy zawierające fosfor) [DOMAGALSKI, JOHNSON 2012; HOLMAN i in. 2008]. Problem ten nie jest jeszcze w wystarczającym stopniu zdiagnozowany w kontekście uwarunkowań Polski, szczególnie w odniesieniu do wód płytko zalegających pod powierzchnią użytków zielonych. Próbę częściowego wypełnienia tej luki stanowi niniejsza praca. Jej celem jest rozpoznanie poziomu stężenia fosforu fosforanowego w wodach gruntowych występujących pod użytkami zielonymi w skali całego kraju, w aspekcie wybranych czynników wpływających na ich jakość.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W pracy wykorzystano wyniki monitoringu jakości wód gruntowych na terenach zajmowanych przez użytki zielone w Polsce, który jest prowadzony przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą (KSChR) i okręgowe stacje chemiczno-rolnicze, we współpracy z Instytutem Technologiczno-Przyrodniczym [PIETRZAK 2012]. Badania przeprowadzono w latach 2008–2011. W ich ramach:

- scharakteryzowano punkty monitoringu, w tym określono: odczyn gleby; kategorie gleb (bardzo lekka, lekka, średnia, ciężka, organiczna); sposoby użytkowania użytku zielonego (łąka, pastwisko, użytek przemienny) oraz rodzaj punktu poboru próbek wody (piezometr, studzienka melioracyjna, wylot drenu);
- dwukrotnie w ciągu roku – wiosną i jesienią – pobierano próbki wody i poddawano je analizie laboratoryjnej, oznaczając fosfor fosforanowy metodą spektrometryczną z molibdenianem amonu, zgodnie z normą PN-EN ISO 6878:2006.

Prace terenowe i laboratoryjne wykonywały okręgowe stacje chemiczno-rolnicze. Wyniki oznaczeń ze wszystkich okręgowych stacji były przekazywane do bazy danych prowadzonej przez KSChR.

Wyniki analiz laboratoryjnych opracowano w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Falentach, na podstawie danych przekazanych przez KSChR. Wykorzystano w tym celu klasyczne metody statystyczne, obejmujące wyznaczenie

średniej arytmetycznej i mediany (jako miary średnie) oraz odchylenia standardowego (jako miarę rozproszenia) w stosunku do wyników oznaczeń fosforu fosforanowego w próbkach wody. Analizę statystyczną wyników przeprowadzono z uwzględnieniem okresu pobierania próbek gleby, odczynu i rodzaju gleby oraz sposobu użytkowania użytków zielonych.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W okresie między 2008 a 2011 r. średnie roczne stężenie fosforu fosforanowego w wodzie gruntowej na obszarach zajmowanych przez użytki zielone w Polsce kształtowały się w granicach 0,19–0,29 mg P-PO₄·dm⁻³ okresie wiosennym i 0,28–0,62 mg P-PO₄·dm⁻³ w okresie jesiennym (tab. 1).

Tabela 1. Statystyki opisowe stężenia fosforu fosforanowego (mg P-PO₄·dm⁻³) w wodzie gruntowej w latach 2008–2011 na terenach zajmowanych przez użytki zielone

Table 1. Descriptive statistics of phosphate-phosphorus concentrations (mg P-PO₄·dm⁻³) in ground water under grasslands in the years 2008–2011

Czynnik Factor	Wiosna Spring					Jesień Autumn				
	2008	2009	2010	2011	2008–2011	2008	2009	2010	2011	2008–2011
<i>n</i>	380	376	363	364	1483	346	360	361	340	1407
\bar{x}	0,23	0,29	0,22	0,19	0,24	0,32	0,41	0,28	0,62	0,41
Mediana Median	0,07	0,08	0,06	0,05	0,06	0,12	0,11	0,07	0,1	0,1
<i>SD</i>	0,48	0,61	0,47	0,39	0,50	0,61	0,79	0,58	1,77	1,05

Objaśnienia: *n* – liczba próbek, \bar{x} – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe.

Explanations: *n* – number of samples, \bar{x} – arithmetic mean, *SD* – standard deviation.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KSChR.

Source: own study based on CCAS data.

Populacje wyników, na podstawie których wyznaczono średnie arytmetyczne, cechowały się dużą zmiennością. Wynika to z faktu, że badania prowadzono na terenie całego kraju, w miejscach częstokroć odmiennych od siebie ze względu na uwarunkowania prowadzenia produkcji rolniczej, a wiadomo, że skład chemiczny wód gruntowych, w tym stężenie w nich fosforu, kształtuje się pod wpływem wielu różnych czynników naturalnych i antropogenicznych [CYMES, SZYMCZYK 2004; PARZYCH 2011; RAUBA 2009; SALAZAR i in. 2011; SZYMCZYK, CYMES 2004].

Między poszczególnymi latami badań odnotowano znaczne wahania stężenia P-PO₄ w monitorowanych wodach. Prawdopodobnie w największym stopniu spowodowane to było zróżnicowanymi w tych latach opadami. Stanowią one, wg KOCA i SOLARSKIEGO [2004], wraz z temperaturą, najważniejsze czynniki wpływające na obieg wody i przemieszczanie się biogenów w środowisku. W każdym roku

badania zaobserwowano natomiast, że średnie stężenie P-PO₄ w próbkach wody pobranych w okresie jesiennym było większe niż w okresie wiosennym. Może to wynikać z sezonowych zmian zasilania wód gruntowych. Jest ono zazwyczaj duże wiosną [BRYKAŁA 2009; TARKA, STAŚKO 2001], a małe w okresie letnim w związku ze znacznym natężeniem parowania terenowego (z gruntu i roślinności) [STAŚKO, CHODACKI 2014]. Stąd też można sądzić, że duże wiosenne dopływy wody do warstwy wodonośnej zmniejszyły w niej stężenie fosforanów (efekt rozcieńczania roztworu), natomiast niewielkie dopływy letnie (lub też ich brak) przyczyniły się do jego zwiększenia jesienią. Na istniejące w tym zakresie zależności pośrednio wskazują wyniki badań SZYPEREK i SZYMCZYKA [2005], dotyczące jakości wód drenarskich na Pojezierzu Olsztyńskim. Autorzy ci wykazali, że największe stężenie związków fosforu w tych wodach występowało podczas względnie suchych lub bardzo suchych sezonów, bez względu na sposób zagospodarowania terenu i rodzaj gleby.

Oceniając uzyskane wyniki badań w odniesieniu do wartości granicznych (tab. 2) stwierdzono, że w większości punktów monitoringu wody gruntowe odpowiadały kryteriom określonym dla klas I–III jakości wód podziemnych ze względu na stężenie fosforanów, tzn. w odniesieniu do tego wskaźnika odznaczały się dobrym stanem chemicznym. W latach 2008–2011 do tych klas (obejmujących wody o bardzo dobrej, dobrej i zadowalającej jakości) w okresie wiosennych pobrań zakwalifikowano próbki wody z ok. 80%–86% punktów monitoringu i w przybliżeniu z 76–82% punktów monitoringu w okresie pobrań jesiennych (rys. 1–2).

Rozpatrując zależności między stężeniem fosforu fosforanowego w próbkach wody, a wybranymi czynnikami naturalnymi i antropogenicznymi oddziałującymi na jego poziom zaobserwowano, że stężenie to było zróżnicowane w zależności od:

Tabela 2. Wartości graniczne stężenia fosforanów w wodach podziemnych w klasach jakości wód podziemnych

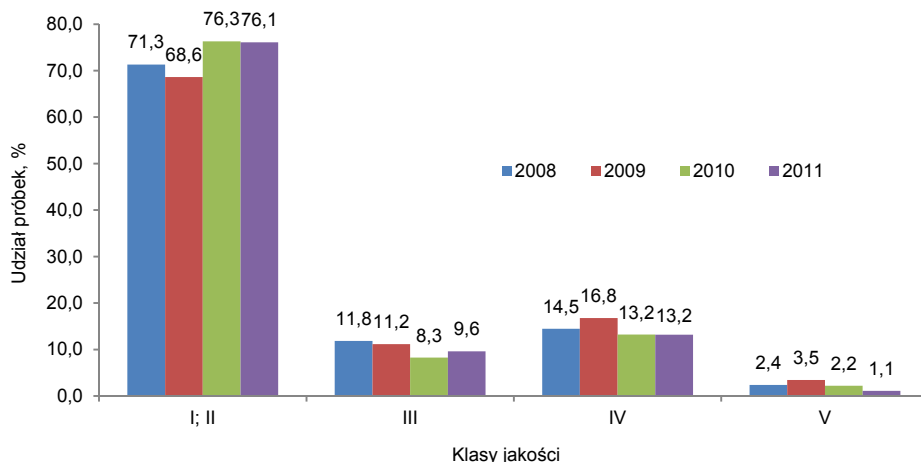
Table 2. Threshold phosphate concentrations in ground waters in particular classes of ground water quality

Wskaźnik Index	Jednostka Unit	Tło hydrogeochemiczne (zakres wartości stężeń charakterystycznych) Hydrogeochemical back- ground (range of charac- teristic concentrations)	Wartości graniczne w klasach Border values in classes				
			I	II	III	IV	V
Fosforany	mg PO ₄ ·dm ⁻³	0,01–1,0	0,5 ¹⁾	0,5 ¹⁾	1	5	>5
Phosphates	mg P-PO ₄ ·dm ⁻³	0,003–0,33	0,16 ¹⁾	0,16 ¹⁾	0,33	1,63	>1,63

¹⁾ Brak dostatecznych podstaw do zróżnicowania wartości granicznych w klasach jakości; w klasyfikacji do oceny przyjmuje się klasę o najwyższej jakości spośród klas posiadających tę samą wartość graniczną.

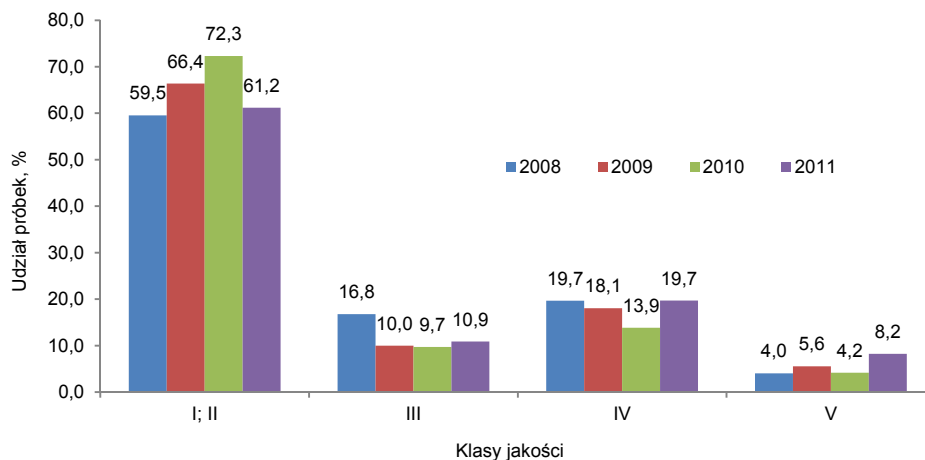
¹⁾ No grounds for differentiating threshold values in classes; class of the highest quality among classes of the same threshold value is adopted in classification

Źródło: na podstawie: Rozporządzenie MŚ... [2008]. Source: based on Rozporządzenie MŚ... [2008].



Rys. 1. Odsetek próbek wody pobranych w okresie wiosennym w 2008, 2009, 2010 i 2011 r. w poszczególnych klasach zawartości fosforanów ($n_{2008}=380$; $n_{2009}=376$; $n_{2010}=363$; $n_{2011}=364$) w punktach monitoringu, w których występowała woda; źródło: opracowanie własne na podstawie wyników KSChR

Fig. 1. Percent of water samples collected in spring periods of 2008, 2009, 2010 and 2011 in particular classes of phosphate concentrations ($n_{2008}=380$; $n_{2009}=376$; $n_{2010}=363$; $n_{2011}=364$) in monitoring sites with water; source: own study based on CCAS data



Rys. 2. Odsetek próbek wody pobranych w okresie jesiennym w 2008, 2009, 2010 i 2011 r. w poszczególnych klasach zawartości fosforanów ($n_{2008}=346$; $n_{2009}=360$; $n_{2010}=361$; $n_{2011}=340$) w punktach monitoringu, w których występowała woda; źródło: opracowanie własne na podstawie wyników KSChR

Fig. 2. Percent of water samples collected in autumn periods of 2008, 2009, 2010 and 2011 in particular classes of phosphate concentrations ($n_{2008}=346$; $n_{2009}=360$; $n_{2010}=361$; $n_{2011}=340$) in monitoring sites with water; source: own study based on CCAS data

- kategorii gleby użytków zielonych – tabela 3;
- sposobu użytkowania – tabela 4;
- rodzaju punktu monitoringu – tabela 5;
- odczynu gleby – tabela 6.

Tabela 3. Statystyki opisowe stężenia fosforu fosforanowego ($\text{mg P-PO}_4\text{-dm}^{-3}$) w wodzie gruntowej w latach 2008–2011 w zależności od kategorii gleby

Table 3. Descriptive statistics of phosphate-phosphorus concentrations ($\text{mg P-PO}_4\text{-dm}^{-3}$) in ground water in the years 2008–2011 in relation to soil category

Parametr Parameter	Wiosna Spring					Jesień Autumn				
	kategoria gleby soil category									
	bardzo lekka very light	lekka light	średnia medium	ciężka heavy	organiczna organic	bardzo lekka very light	lekka light	średnia medium	ciężka heavy	organiczna organic
<i>n</i>	267	377	403	150	286	253	352	383	142	277
\bar{x}	0,28	0,20	0,22	0,30	0,22	0,49	0,39	0,37	0,46	0,36
Mediana Median	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,1	0,10	0,10	0,08	0,11
<i>SD</i>	0,50	0,36	0,58	0,61	0,44	1,04	1,20	0,97	1,38	0,73

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KSChR.

Source: own study based on CCAS data.

Tabela 4. Statystyki opisowe stężenia fosforu fosforanowego ($\text{mg P-PO}_4\text{-dm}^{-3}$) w wodzie gruntowej w latach 2008–2011 w zależności od sposobu użytkowania UZ

Table 4. Descriptive statistics of phosphate-phosphorus concentrations ($\text{mg P-PO}_4\text{-dm}^{-3}$) in ground water in the years 2008–2011 in relation to grassland use

Parametr Parameter	Wiosna Spring			Jesień Autumn		
	sposób użytkowania grassland use					
	kośno-pastwiskowy mown-grazed	kośny mown	pastwiskowy grazed	kośno-pastwiskowy mown-grazed	kośny mown	pastwiskowy grazed
<i>n</i>	169	1050	272	166	995	254
\bar{x}	0,12	0,25	0,26	0,19	0,41	0,53
Mediana Median	0,04	0,06	0,08	0,06	0,10	0,10
<i>SD</i>	0,27	0,51	0,52	0,38	0,91	1,67

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KSChR.

Source: own study based on CCAS data.

Tabela 5. Statystyki opisowe stężenia fosforu fosforanowego (mg P-PO₄·dm⁻³) w wodzie gruntowej w latach 2008–2011 w zależności od rodzaju punktu poboru próbek wody

Table 5. Descriptive statistics of phosphate-phosphorus concentrations (mg P-PO₄·dm⁻³) in ground water in the years 2008–2011 in relation to the type of sampling site

Parametr Parameter	Wiosna Spring			Jesień Autumn		
	punkt poboru próbek sampling site					
	piezometr piesometer	studzienka melioracyjna reclamation well	wylot drenu drain outlet	piezometr piesometer	studzienka melioracyjna reclamation well	wylot drenu drain outlet
<i>n</i>	560	445	481	512	436	466
\bar{x}	0,24	0,23	0,24	0,41	0,33	0,47
Mediana Median	0,06	0,06	0,07	0,10	0,10	0,10
<i>SD</i>	0,49	0,43	0,55	0,97	0,66	1,38

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KSChR.

Source: own study based on CCAS data.

Tabela 6. Statystyki opisowe stężenia fosforu fosforanowego (mg P-PO₄·dm⁻³) w wodzie gruntowej w latach 2008–2011 w zależności od pH gleby

Table 6. Descriptive statistics of phosphate-phosphorus concentrations (mg P-PO₄·dm⁻³) in ground water in the years 2008–2011 in relation to soil pH

Parametr Parameter	Wiosna Spring					Jesień Autumn				
	pH									
	<4,5	(4,5– 5,5)	(5,5– 6,5)	(6,5– 7,2)	>7,2	<4,5	(4,5– 5,5)	(5,5– 6,5)	(6,5– 7,2)	>7,2
	Gleby mineralne Mineral soils									
<i>n</i>	123	357	344	240	133	120	339	329	216	126
\bar{x}	0,19	0,25	0,25	0,23	0,24	0,45	0,42	0,44	0,40	0,35
Mediana Median	0,04	0,07	0,06	0,07	0,05	0,07	0,11	0,09	0,09	0,08
<i>SD</i>	0,33	0,50	0,51	0,59	0,51	1,30	1,04	0,96	1,46	0,78
	Gleby organiczne Organic soils									
<i>n</i>	15	67	121	75	8	14	66	118	71	8
\bar{x}	0,10	0,17	0,24	0,28	0,06	0,13	0,36	0,40	0,36	0,18
Mediana Median	0,07	0,07	0,06	0,08	0,045	0,05	0,135	0,09	0,14	0,105
<i>SD</i>	0,08	0,25	0,51	0,49	0,06	0,21	0,72	0,86	0,61	0,23

Objaśnienia, jak pod tabelą 1. Explanations as in Tab. 1.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KSChR.

Source: own study based on CCAS data.

Stwierdzono, że względnie największe średnie roczne wartości stężeń P-PO₄ występowały w wodzie pochodzącej z punktów monitoringu, stanowiących wyloty drenów zlokalizowanych na glebach bardzo lekkich i ciężkich oraz na pastwiskach, a w dużej części też – usytuowanych na glebach charakteryzujących się pH w przedziale od 5,5 do 6,5.

Wyniki wskazujące, że stosunkowo największe wymycie fosforanów do wód gruntowych nastąpiło z gleb lekkich i ciężkich, mogą wydawać się kontrowersyjne. Wiadomo bowiem, że gleby gruboziarniste generalnie odznaczają się większym potencjałem wymycia fosforanów (mają ograniczoną zdolność do adsorpcji fosforu) niż gleby drobnoziarniste [HAVLIN 2004]. Jednak, jak donosi SAPEK [2014] za LIU i in. [2012], duże ryzyko wymycia fosforu występuje też w glebach o strukturze gliny ilastej. W glebach gliniastych transport fosforu do wód gruntowych może zachodzić makroporami [HAVLIN 2004 za DJODJIC i in. 1999; LAUBEL i in. 1999]. Warto nadmienić, że według niektórych autorów wymywanie fosforu z gleby w głąb jej profilu nie jest zjawiskiem porównywalnym z wymywaniem z niej azotu, a jest raczej skanalizowanym przepływem tego składnika przez duże pęknięcia w gruncie, rozpadliny i kanały drażnione przez dżdżownice [SAPEK 2014 za MCDONALD, REID 2003].

Względnie duże stężenie P-PO₄ w wodzie spod pastwisk można, w podstawowym ujęciu, interpretować jako efekt oddziaływania znacznych ładunków fosforu wnoszonych na nie w odchodach zwierząt podczas wypasu. Jednak z badań przeprowadzonych przez SIGUA i in. [2010] wynika, że z pastwisk, w warunkach poprawnego zarządzania nimi, niewielkie ilości fosforu trafiają do płytkich wód gruntowych. Zdaniem wymienionych autorów, zagadnienie zanieczyszczenia wód gruntowych fosforem pochodzącym ze zdeponowanego na pastwisku moczu i kału zwierząt nie jest dostatecznie wyjaśnione i wymaga dalszych badań. Podobny pogląd wyrażają SILVEIRA i in. [2010].

Z kolei stosunkowo największe stężenie fosforanów w wodzie z wylotów drenów można wyjaśnić jej pochodzeniem ze stosunkowo małych głębokości – na łąkach i pastwiskach dreny umieszczane są 70–90 cm pod powierzchnią terenu [SZYMAŃSKI, KOSTRZEWA 1986]. Stężenie fosforu w wodach gruntowych zależy bowiem m.in. od głębokości zwierciadła wody – ogólnie większe stężenie występuje w wodach płytkich niż głębszych [FLORES-LÓPEZ i in. 2013 za OBOUR i in. 2011 oraz MARTIN i in. 1997].

Zmiany stężenia fosforu fosforanowego w wodzie gruntowej w zależności od pH gleby odznaczały się swoistą specyfiką. W tym zakresie nie zaobserwowano jednoznacznych prawidłowości między odczynem gleby a średnim rocznym stężeniem P-PO₄ w próbkach wody w odniesieniu do gleb mineralnych (biorąc pod uwagę zarówno okres wiosenny, jak i jesienny). W odniesieniu do gleb organicznych stwierdzono natomiast, że najmniejsze średnie roczne stężenie P-PO₄ w próbkach wody występowało, gdy gleby charakteryzowały się odczynem bardzo kwaśnym (pH < 4,5) lub zasadowym (pH > 7,2), co należy wiązać z tym, że: „W gle-

bach silnie kwaśnych jony fosforanowe przechodzą w nierozpuszczalne fosforany hydroksyglinowe lub hydrokso-żelowe, natomiast w glebach o odczynie zasadowym powstają nierozpuszczalne fosforany 3-wapniowe” [PAWĘSKA i in. 2011 za DROZD i in. 2002]. W obu rodzajach gleb zanotowano występowanie stosunkowo dużego stężenia P-PO₄ w wodzie gruntowej, gdy pH gleby wynosiło od 5,5 do 6,5, tj. w zakresie jej odczynu zbliżonego do optymalnego ze względu na wymagania roślinności łąkowo-pastwiskowej. Niejednoznaczne niekiedy relacje, występujące w ramach rozpatrywanej zależności: pH gleby – stężenie P-PO₄ w wodzie, mogły wynikać z nakładania się różnych czynników wpływających na wymywanie fosforanów z gleby.

WNIOSKI I STWIERDZENIA

1. W latach 2008–2011 średnie roczne stężenia fosforu fosforanowego w wodzie gruntowej spod użytków zielonych w Polsce wynosiło od 0,19 do 0,29 mg P-PO₄·dm⁻³ w okresie wiosennym i od 0,28 do 0,62 mg P-PO₄·dm⁻³ w okresie jesiennym.

2. W każdym roku okresu badawczego średnie roczne stężenie P-PO₄ w wodzie gruntowej spod użytków zielonych było większe jesienią niż wiosną.

3. W analizowanym przedziale lat, w przybliżeniu w 80–86% i 76–82% punktach monitoringu – odpowiednio w porze wiosennej i jesiennej – występowały wody spełniające wymagania od I do III klasy jakości wód podziemnych (oznaczające brak lub co najwyżej słabe oddziaływanie antropogeniczne) ze względu na stężenie fosforu fosforanowego.

4. Stężenie fosforu fosforanowego w próbkach wody pod użytkami zielonymi było zróżnicowane w zależności od kategorii agronomicznej gleby, sposobu użytkowania, rodzaju punktu monitoringu i odczynu gleby.

5. Stosunkowo największe średnie roczne wartości stężeń P-PO₄ w wodzie gruntowej występowały w punktach monitoringu zlokalizowanych na glebach bardzo lekkich i ciężkich, na pastwiskach, będących wylotami drenów, jak też w dużym stopniu w punktach monitoringu usytuowanych na glebach, charakteryzujących się odczynem lekko kwaśnym (pH w przedziale od 5,5 do 6,5).

LITERATURA

- BRYKAŁA D. 2009. Przestrzenne i czasowe zróżnicowanie odpływu rzecznej w dorzeczu Skrwu Lewej. Warszawa. IGiPZ PAN. ISBN 978-83-61590-09-5 ss. 142.
- CYMES I., SZYMCZYK S. 2004. Wpływ sposobu użytkowania terenu, melioracji i czynników naturalnych na stężenie związków azotu, fosforu i potasu w wodach gruntowych gleb związłych. Nawozy i Nawożenie. Nr 2(19) s. 9–19.

- DJODJIC F., BERGSTOM L., ULEN B., SHIRMOHAMMADI A. 1999. Mode of transport of surface applied phosphorus-33 through a clay and sandy soil. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 28 s. 1273–1282.
- DOMAGALSKI J.L., JOHNSON H.M. 2011. Subsurface transport of orthophosphate in five agricultural watersheds, USA. *Journal of Hydrology*. Vol. 409. Iss. 1–2 (28) s. 157–171.
- DOMAGALSKI J.L., JOHNSON H. 2012. Phosphorus and groundwater: Establishing links between agricultural use and transport to streams: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2012–3004 [online]. [Dostęp 10.02.2015]. Dostępny w Internecie: <http://pubs.usgs.gov/fs/2012/3004/pdf/fs20123004.pdf>
- DROZD J., LICZNAR M., LICZNAR S.E., WEBER J. 2002. *Gleboznawstwo z elementami mineralogii i petrografii*. Wrocław. Wydaw. AR. ISBN 83-87866-78-4 ss. 210.
- FLORES-LÓPEZ F., EASTON Z.M., GEOHRING L.D., VERMEULEN P.J., HADEN V.R., STEENHUIS T.S. 2013. Factors affecting phosphorous in groundwater in an alluvial valley aquifer: Implications for best management practices. *Water*. Vol. 5. Iss. 2 s. 540–559.
- FORREST F., RODVANG J., REEDYK S., WUITE J. 2006. A survey of nutrients and major ions in shallow groundwater of Alberta's agricultural areas. Prepared for the Prairie Farm Rehabilitation Administration Rural Water Program, Project Number 4590-4-20-4 [online]. Edmonton. Alberta Agriculture, Food and Rural Development. [Dostęp 10.02.2015]. Dostępny w Internecie: <http://environment.alberta.ca/documents/A-Survey-of-Nutrients-and-Major-Ions-in-Shallow-Groundwater-of-Albertas-Agricultural-Areas.pdf>
- HAVLIN J.L. 2004. Technical basis for quantifying phosphorus transport to surface and groundwaters [online]. *Journal of Animal Science*. Vol. 82. No. 13 sup. E277-E291. [Dostęp 10.02.2015]. Dostępny w Internecie: http://www.journalofanimalscience.org/content/82/13_suppl/E277.full
- HOLMAN I.P., HOWDEN N.J.K., BELLAMY P., WILLBY N., WHELAN M. J., RIVAS-CASADO M. 2010. An assessment of the risk to surface water ecosystems of groundwater-P in the UK and Ireland. *Science of the Total Environment*. Vol. 408(8) s. 1847–1857.
- HOLMAN I.P., HOWDEN N.J.K., WHELAN M. J., BELLAMY P. RIVAS-CASADO M., WILLBY N. 2008. An improved understanding of phosphorus origin, fate and transport within groundwater and the significance for associated receptors [online]. Scotland & Northern Ireland Forum for Environmental Research (SNIFFER). [Dostęp 10.02.2015]. Dostępny w Internecie: http://www.sniffer.org.uk/files/5613/4183/8005/WFD85_Final-Report_with_security.pdf
- KOC J., SOLARSKI K. 2004. Wpływ systemu melioracyjnego na odpływ składników nawozowych z gleb użytkowanych rolniczo. *Nawozy i Nawożenie*. Nr 2(19) s. 31–40.
- LAUBEL A., JACOBSEN O.H., KRONVANG B., GRANT R., ANDERSEN H.E. 1999. Subsurface drainage loss of particles and phosphorus from field plot experiments and tile-drained catchment. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 28. No 2 s. 576–584.
- LIU J., ARONSSON H., BERGSTRÖM L., SHARPLEY A. 2012. Phosphorus leaching from loamy sand and clay loam top soils after application of pig slurry [online]. *Springer Plus*. Vol. 1(1) ss. 53. [Dostęp 02.10.2013]. Dostępny w Internecie: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3593004/>
- MARTIN H.W., IVANOFF D.B., GRAETZ D.A., REDDY K.R. 1997. Water table effects on histosol drainage water carbon, nitrogen, and phosphorus. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 26. No. 4 s. 1062–1071.
- MCDONALD I.D., REID K. 2003. Phosphorus Leaching? *Crop Talk*. Vol. 3. Iss. 5 ss. 11.
- OBOUR A.K., SILVEIRA M.L., VENDRAMINI J.M.B., SOLLENBERGER L.E., O'CONNOR G.A. 2011. Fluctuating water table effect on phosphorus release and availability from a Florida Spodosol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Vol. 91. Iss. 2 s. 207–217.
- PARZYCH A. 2011. Zawartość związków azotu i fosforu w wodach gruntowych wybranych zespołów leśnych Słowińskiego Parku Narodowego. *Archives of Environmental Protection*. Vol. 37. No. 4 s. 95–105.

- PAWĘSKA K., MALCZEWSKA B., ZYGLIŃSKA B. 2011. Zawartość fosforanów w wodach studziennych na przykładzie wsi Przeździec. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 7 s. 169–177.
- PIETRZAK S. 2012. Azotany w wodach gruntowych na terenach zajmowanych przez użytki zielone w Polsce. Polish Journal of Agronomy. Vol. 11 s. 34–40.
- PN-EN ISO 6878:2006. Jakość wody. Oznaczanie fosforu. Metoda spektrometryczna z molibdeniem amonu.
- RAUBA M. 2009. Zawartość związków azotu i fosforu w wodach gruntowych zlewni użytkowanej rolniczo na przykładzie zlewni rzeki Śliny. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych. Nr 40 s. 505–512.
- Rzporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych. Dz.U. 2008. Nr 143 poz. 896.
- SALAZAR O., WESSTRÖM I., JOEL A. 2011. Identification of hydrological factors controlling phosphorus concentration in drainage water in sandy soils. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. Vol. 11. No 2 s. 31–46.
- SAPEK B. 2014. Nagromadzenie i uwalnianie fosforu w glebach – źródła, procesy, przyczyny. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 14. Z. 1 (45) s. 77–100.
- SIGUA G.C., HUBBARD R.K., COLEMAN S.W. 2010. Quantifying phosphorus levels in soils, plants, surface water, and shallow groundwater associated with bahiagrass-based pastures. Environmental Science and Pollution Research. Vol. 17 s. 210–219.
- SILVEIRA M.L., VENDRAMINI J.M.B., SOLLENBERGER L.E. 2010. Phosphorus management and water quality problems in grazingland ecosystems. International Journal of Agronomy. Vol. 2010 s. 1–9.
- STAŚKO S., CHODACKI M. 2014. Infiltracja do wód podziemnych na podstawie pomiarów lizymetrycznych w Górach Sowich. Przegląd Geologiczny. Vol. 62. Nr 8 s. 414–419.
- SZYMAŃSKI J., KOSTRZEWA S. 1986. Odwadnianie użytków rolnych. W: Podstawy melioracji rolnych. T. 1. Pr. zbior. Red. P. Prochal. Warszawa. PWRiL s. 321–323.
- SZYMCZYK S., CYMES I. 2004. Wpływ ilości opadów i sposobu użytkowania terenu na odpływ składników nawozowych siecią drenarską z gleb ciężkich. Nawozy i Nawożenie. Nr 2(19) s. 20–30.
- SZYPEREK U., SZYMCZYK S. 2005. Erozja chemiczna gleb obszarów pojeziernych. Cz. 2. Odpływ fosforu. Acta Agrophysica. Vol. 5(1) s. 185–192.
- TARKA R., STAŚKO S. 2001. Zasilanie wód podziemnych na obszarze masywu Śnieżnika. Współczesne Problemy Hydrogeologii. T. 10 s. 271–278.
- WELCH H.L., KINGSBURY J.A., COUPE R. H. 2010. Occurrence of phosphorus in groundwater and surface water of northwestern Mississippi. W: Proceedings of the 2010 Mississippi Water Resources Conference [online]. Raymond. [Dostęp 10.02.2015]. Dostępny w Internecie: <http://www.wri.msstate.edu/pdf/welch10.pdf>

Stefan PIETRZAK

PHOSPHATES IN GROUND WATERS UNDER GRASSLANDS IN POLAND

Key words: *grasslands, ground waters, monitoring, phosphates*

S u m m a r y

The paper presents results of studies on phosphate-phosphorus concentrations in ground water under grasslands in Poland. Studies were made in the years 2008–2011 within the soil and water monitoring programme in areas occupied by grasslands carried out by the Country Chemical and Agricultural Station (CCAS) and subordinate regional stations in cooperation with the Institute of Technolo-

gy and Life Sciences in Falenty. It was found that: 1) annual mean concentrations of P-PO₄ in ground water from under grasslands varied between 0.19 and 0.29 mg·dm⁻³ in spring and between 0.28 and 0.62 mg·dm⁻³ in autumn, 2) autumn concentrations of phosphates were always higher than the spring ones every year, 3) as for phosphate concentrations, 80–86% of spring samples and 76–82% of autumn samples met criteria of the first to third class of ground water quality (corresponding to waters of good chemical status), 4) phosphate concentrations varied in relation to agronomic soil category, grassland utilisation, sampling site and soil pH, 5) relatively high concentrations of P-PO₄ were noted in ground waters from light and heavy soils, under pastures and largely in soils of slightly acidic pH and in drained waters.

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