

INAKTYWACJA JONÓW FOSFORANOWYCH W ŚRODOWISKU WODNYM Z UŻYCIEM SYNTETYCZNEGO GETYTU

Hanna SIWEK, Małgorzata WŁODARCZYK

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Zakład Chemii Ogólnej i Ekologicznej

Słowa kluczowe: eutrofizacja, fosforany, getyt, rekultywacja, wody powierzchniowe, żelazo

Streszczenie

Celem pracy było zbadanie procesu wiązania jonów fosforanowych na syntetycznym getycie $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$. Wyznaczono izotermy adsorpcji oraz zbadano wpływ zawartości żelaza w getycie na ten proces. Badano izotermy adsorpcji jonów fosforanowych z ich roztworów w wodzie odjonizowanej oraz z dwóch wód naturalnych, pochodzących ze zbiornika Rusalka i Jeziora Głębokiego. Parametry w równaniu izotermy Freundlicha, którym opisano usuwanie fosforanów z roztworów wodnych z udziałem syntetycznego getytu wskazują, że adsorpcja z wód naturalnych jest większa niż z wody odjonizowanej i przebiega najefektywniej na getycie o najmniejszej zawartości żelaza.

WSTĘP

Nadmiar jonów fosforanowych w wodach powierzchniowych jest główną przyczyną ich przyspieszonej eutrofizacji. Próby cofnięcia lub zahamowania tego procesu przez wyeliminowanie lub ograniczenie zewnętrznych źródeł fosforu nie zawsze dają zadowalające efekty. Przyczyną jest fosfor zdeponowany w osadach dennych, będących autochtonicznym źródłem jego przyswajalnych form w wodzie. Ładunki fosforu uwalniane z osadów do wód jeziornych mogą być większe od ładunków wprowadzanych ze zlewni. Szacuje się, że ponad 90% fosforu wykorzystanego do tworzenia biomasy w procesach produkcji pierwotnej i wtórnej jest

Adres do korespondencji: dr inż. H. Siwek, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Zakład Chemii Ogólnej i Ekologicznej, ul. J. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin; tel. +48 (91) 449-63-20, e-mail: hanna.siwek@zut.edu.pl

uwalniana z osadów dennych, czyli w skali ekosystemu jeziornego stanowią one niemal niewyczerpalne źródło fosforu [KOC, SKWIERAWSKI 2004]. Szczególnie narażone na zanieczyszczenia troficzne są małe polimiktyczne zbiorniki wodne, stanowiące centrum akumulacji materii w obrębie swoich mikrozelewni, którymi są zazwyczaj tereny rolnicze [SKWIERAWSKI 2003; 2004].

Jedną z metod rekultywacji zeutrofizowanych zbiorników wodnych jest unieruchamianie fosforu w osadzie dennym przez wiązanie chemiczne. Najczęściej badane i stosowane w chemicznych metodach dezaktywacji jonów fosforanowych są, obok związków glinu i wapnia, związki żelaza, np.: $\text{Fe}(\text{OH})_3$, FeCl_3 [DEPPE, BENNDORF 2002; WIŚNIEWSKI 1999], $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ [PERKINS, UNDERWOOD 2001] lub ich mieszaniny, np. z jonami NO_3^- i Ca^{2+} w preparacie Depox [WAUER i in. 2005] i z gipsem [BASTIN i in. 1999]. Badane były także odpady zawierające żelazo, np. pył zawierający żelazo i tlenek żelaza(III) [ZENG i in. 2004] oraz minerały żelaza, wśród których najczęściej uwagi poświęcono getytowi [CHITRAKAR i in. 2005; GEELHOED i in. 1997; KENTZER, BUCZKOWSKI 2005; NOWACK, STONE 2006].

Getyt jest minerałem powszechnie występującym w przyrodzie. Jest to uwodniony tlenek żelaza $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$. W stanie naturalnym rzadko tworzy kryształy, najczęściej występuje w skupieniach zbitych, ziarnistych, nerkowatych oraz groniatych. Jest to minerał często spotykany w utworach osadowych, gdzie tworzy złoża rud żelaza pochodzenia morskiego, jeziornego lub bagiennego (m.in. żelaziak brunatny, ruda bagienna, ruda jeziorna). Stanowi on ważny składnik limonitu i laterytu [BOLEWSKI 1982]. Jest to minerał o silnych właściwościach sorpcyjnych.

Syntetyczny getyt charakteryzuje się bardzo dużą powierzchnią właściwą, która wynosi średnio $100 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ oraz dużym powinowactwem sorpcyjnym i selektywnością w stosunku do jonów fosforanowych(V) [GEELHOED i in. 1997].

Celem pracy była charakterystyka zdolności preparatów syntetycznego getytu, o różnej zawartości żelaza, do adsorpcji jonów fosforanowych. Zbadano także zmiany właściwości sorpcyjnych tego adsorbentu w zależności od pH i obecności wybranych jonów w wodach naturalnych.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

PRZYGOTOWANIE GETYTU

Do 1200 cm^3 $0,25 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ roztworu siarczanu(VI) żelaza(III) ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) dodano taką ilość $5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ roztworu wodorotlenku sodu (NaOH), aby pH zawiesiny wynosiło 12. W celu otrzymania preparatów getytu o różnej zawartości żelaza, oznaczonych w pracy jako GI, GII i GIII, mieszaninę reakcyjną pozostawiono w temperaturze pokojowej na 1, 48 i 96 godzin. Otrzymane osady przemyto wodą odjonizowaną, usuwając w ten sposób powstałe podczas syntezy getytu jony wodorotlenowe (OH^-) i siarczanowe(VI) (SO_4^{2-}), których obecność kontrolowano za pomocą papierka wskaźnikowego oraz roztworu BaCl_2 . Przemyte osady odwiro-

wano, wysuszono w temperaturze 40°C [KENTZER, BUCZKOWSKI 2005], utarto w moździerzu i rozdzielono na sicie o średnicy oczek 0,1 mm. Oddzielone frakcje o uziarnieniu <0,1 mm poddano dalszym badaniom.

W celu oznaczenia zawartości żelaza w otrzymanych preparatach getytu, ich próby o masie 0,01 g rozpuszczono w 10 cm³ roztworu kwasu solnego (HCl) (1:4). Następnie, po rozcieńczeniu otrzymanego roztworu do 100 cm³, oznaczono zawartość żelaza metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej [ELBANOWSKA i in. 1999].

WYZNACZANIE PARAMETRÓW IZOTERMY ADSORPCJI JONÓW FOSFORANOWYCH NA GETYCIE

Wyznaczono izotermę adsorpcji jonów fosforanowych na wszystkich otrzymanych preparatach getytu, z roztworów o różnej zawartości jonów PO₄ (1, 2, 4, 10, 20, 40, 80 mg PO₄dm⁻³), powstałych przez rozpuszczenie KH₂PO₄ w wodzie odjonizowanej (WD). Do kolb Erlenmeyera, objętości 50 ml zamykanych na szlif, dodano po 25 ml przygotowanych roztworów i po 0,01 g getytu. Analogicznie przygotowano próby kontrolne bez getytu. Wszystkie próby przygotowano w trzech powtórzeniach. Proces adsorpcji przebiegał w temperaturze 20°C, zmiany zawartości jonów fosforanowych w roztworach badano po 48 godzinach. Mieszaniny były wytrząsane na wstrząsarce laboratoryjnej przez dwie godziny, na początku i na końcu procesu wiązania jonów fosforanowych. Zawartość jonów fosforanowych (V) (PO₄³⁻) oznaczono spektrofotometrycznie metodą molibdenianową błękitną [EN 1189 1997] na spektrofotometrze dwuwiązkowym, przy długości fali 890 nm. Analogicznie wyznaczono izotermę adsorpcji jonów fosforanowych na getycie w dwóch wodach naturalnych, wzbogaconych w KH₂PO₄ – W1 (ze zbiornika Ruśka) i W2 (z Jeziora Głębockiego). W wodach naturalnych W1 i W2 oznaczono dodatkowo, metodami elektrometrycznymi, pH i konduktancję oraz metodami spektrofotometrycznymi – stężenie azotu azotanowego(V) (z kwasem fenolodisulfonowym) oraz rozpuszczony azot amonowy (z odczynnikiem Nesslera). Metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej oznaczono – stężenie ogólne wapnia, żelaza, cynku, magnezu i manganu [ELBANOWSKA i in. 1999].

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Najwięcej żelaza zawierał preparat GI (72,0%), a najmniej – preparat GIII (57,2%) (tab. 1).

Izotermę adsorpcji jonów fosforanowych na syntetycznym getycie wykreślono jako zależności ilości fosforu zaadsorbowanego przez 1 g getytu od stężenia równowagowego fosforu w badanych roztworach (WD, W1 i W2) (rys. 1). Uzyskano jedną grupę izoterm według klasyfikacji Gilesa [GILES i in. 1974], których kształt

Tabela 1. Zawartość żelaza w preparatach syntetycznego getytu, $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ **Table 1.** Iron content in preparations of synthetic goethite, $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$

Wyszczególnienie Specification	G I	G II	G III
Zawartość żelaza Iron content	$720 \pm 3,5$	$657 \pm 11,5$	$572 \pm 13,5$

Objaśnienie: GI, GII, GIII – preparaty getytu po 1, 48 i 96 godzinach reakcji $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ z NaOH.

Detail: GI, GII, GIII – goethite after 1, 48, 96 hour of reaction $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ with NaOH.

świadczy o tym, że są to izotermy klasy L. Grupa ta obejmuje izotermy charakterystyczne dla układów, w których nie występuje konkurencyjne oddziaływanie adsorbentu z wodą. Taki sam kształt izoterm otrzymali autorzy, badający proces adsorpcji fosforu na getycie [GEELHOED i in. 1997; CHITRAKAR i in. 2005] i na różnych adsorbentach zawierających żelazo, np.: na biomacie drzewnej częściowo impregnowanej karboksymetylocelulozą i chlorkiem żelaza [EBERHARDT i in. 2006, EBERHARDT i in. 2008]. W wyniku badań nad adsorpcją fosforu na mieszaninie tlenku żelaza i gipsu otrzymano izotermę adsorpcji klasy S, charakterystyczną dla układów, w których woda jest silnie adsorbowana [BASTIN i in. 1999].

Proces sorpcji jonów fosforanowych na preparatach getytu o różnej zawartości żelaza opisano równaniem izotermi Freundlicha:

$$a = kC^n$$

gdzie:

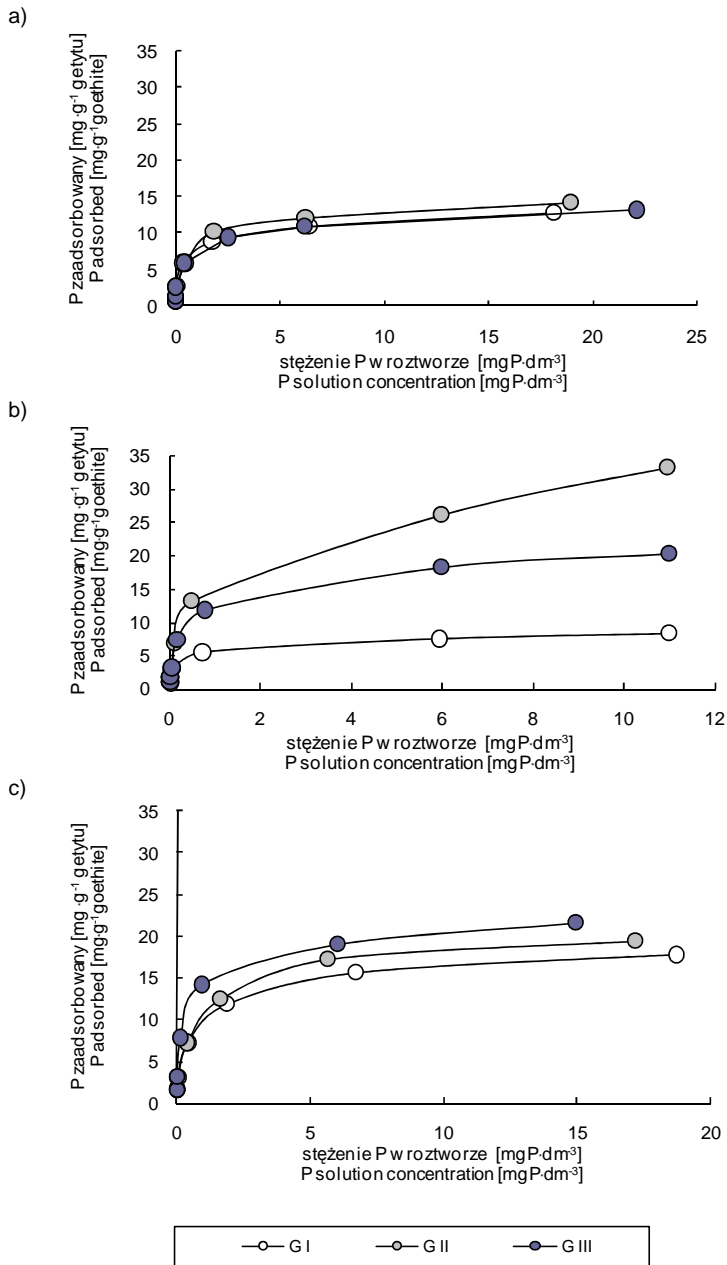
a – adsorpcja rzeczywista, $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$;

C – stężenie adsorbentu w roztworze w stanie równowagi, $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$;

k, n – parametry stałe (tab. 2).

We wszystkich przypadkach otrzymano wysoce istotne korelacje – współczynnik korelacji r dla obliczonych parametrów w większości przypadków był większy niż 0,99 (tab. 2). Równanie izotermi Freundlicha najslabiej ($r = 0,945$) opisywało adsorpcję jonów fosforanowych na getycie zawierającym najwięcej żelaza (GI) w wodach zbiornika Rusałka (W1).

Zawartość żelaza w getycie syntetycznym nie wpływała istotnie na proces adsorpcji jonów fosforanowych z roztworów przygotowanych przez rozpuszczenie KH_2PO_4 w wodzie odjonizowanej. Parametry izotermi Freundlicha (k i n) adsorpcji na wszystkich adsorbentach były zbliżone. Parametr k , charakteryzujący pojemność sorpcyjną adsorbenta wynosił 7,721–7,970, a parametr n , charakteryzujący intensywność adsorpcji – 0,347–0,384 (tab. 2). W równaniach izotermi Freundlicha, opisujących proces adsorpcji jonów fosforanowych na syntetycznym getycie z wód naturalnych, wartości parametrów k i n zwiększały się wraz ze zmniejszeniem zawartości żelaza w getycie. Wynika z tego, że zarówno pojemność sorpcyjna getytu, jak i intensywność adsorpcji jonów fosforanowych na nim zwiększają



Rys. 1. Izotermi adsorpcji jonów fosforanowych na preparatach syntetycznego getytu z: a) roztworu w wodzie odjonizowanej (WD), b) wody ze zbiornika Rusalka (W1), c) wody z Jeziora Głębokiego (W2); GI, GII, GIII – jak pod tabelą 1

Fig. 1. Isotherms of phosphate ion adsorption on synthetic goethite from: a) deionized water (WD), b) water from Rusalka Reservoir (W1), c) water from Lake Głębokiego (W2); GI, GII, GIII – as in tab. 1

Tabela 2. Parametry k i n izoterm adsorpcji Freundlicha jonów fosforanowych (V) na różnych rodzajach syntetycznego getytu

Table 2. Parameters of Freundlich isotherms of phosphate ion adsorption on different types of synthetic goethite

Wyszczególnienie Specification	Rodzaj getytu Type of goethite	k	n	Współczynnik korelacji Correlation coefficient
Roztwór w wodzie odjonizowanej Deionized water	G I	7,72	0,347	0,997
	G II	7,97	0,384	0,999
	G III	7,78	0,369	0,994
Woda ze zbiornika Rusałka Water from Rusałka Reservoir	G I	5,05	0,277	0,945
	G II	10,62	0,464	0,999
	G III	15,60	0,609	0,974
Woda z Jeziora Głębokiego Water from Lake Głębokie	G I	7,99	0,398	0,987
	G II	9,28	0,402	0,991
	G III	13,50	0,329	0,995

Objaśnienie: GI, GII, GIII – jak w tabeli 1.

Detail: GI, GII, GIII – as in tab. 1.

się wraz ze zmniejszaniem się zawartości żelaza w adsorbencie. W wodzie z Jeziora Głębokiego wpływ zawartości żelaza w getycie na wartość parametrów k i n był mniejszy niż w wodach zbiornika zaporowego Rusałka.

Badania nad wykorzystaniem otrzymanych syntetycznych preparatów getytu do wiązania i usuwania jonów fosforanowych z wód naturalnych wykazały, że adsorpcja fosforanów z wód naturalnych wzbogaconych w jony fosforanowe na każdym z badanych adsorbentów była większa niż z roztworu przygotowanego w wodzie odjonizowanej. Wyjątkiem był proces adsorpcji na getycie o największej zawartości żelaza (GI) w wodzie ze zbiornika Rusałka (rys. 1).

Odnotowane zróżnicowanie zdolności sorpcyjnych getytu raczej nie było związane z różnym pH badanych wód, gdyż największą adsorpcję odnotowano w wodzie W1 o największym pH, które wynosiło 7,89 (tab. 3). Powierzchnia tlenku żelaza jest naładowana dodatnio, gdy wartość pH jest mniejsza niż odpowiadająca punktowi izoelektrycznemu (w przypadku tlenków żelaza punkt ten występuje przy pH = 7,1). Jeśli wartość pH jest większa niż odpowiadająca temu punktowi, na powierzchni tlenku żelaza występują ładunki ujemne [DĄBKOWSKA-NASKRĘT 2009]. Potwierdziły to badania nad wpływem pH na proces adsorpcji jonów fosforanowych z roztworów KH_2PO_4 na syntetycznym getycie, które wykazały zmniejszanie się adsorpcji jonów fosforanowych wraz ze zwiększeniem się pH od 2 do 10. W przypadku wody morskiej wzbogaconej w jony fosforanowe obserwowano zwiększanie adsorpcji w zakresie pH od 2 do 7, natomiast powyżej tej wartości ilość adsorbowanych jonów fosforanowych malała [CHITRAKAR i in. 2005].

Adsorpcja jonów fosforanowych na getycie zależy nie tylko od pH roztworu, ale także od siły jonowej i zwiększa się wraz z jej wzrostem [ANTELO i in. 2005]. Otrzymane wyniki wskazują też na zmiany właściwości sorpcyjnych getytu w wyniku oddziaływania innych jonów zawartych w wodach naturalnych. Konduktancja i twardość wody ze zbiornika Rusałka (W1) były prawie dwukrotnie większe niż wody z Jeziora Głębokiego (tab. 3) i w wodzie tej odnotowano największe powinowactwo sorpcyjne getytu GII i GIII do jonów fosforanowych. Wskazuje to na modyfikację otrzymanych preparatów syntetycznego getytu pod wpływem jonów zawartych w wodach naturalnych. Nie dotyczy to raczej anionów, np. jonów azotanowych(V), gdyż mogłyby one jedynie konkurować z jonami fosforanowymi i raczej zmniejszać ich sorpcję na getycie. Liczne badania wykazały, że getyt charakteryzuje się dużą selektywnością w stosunku do jonów fosforanowych i obecność innych anionów w niewielkim stopniu wpływa na ten proces [GEELHOED i in. 1997; CHITRAKAR i in. 2005; ZHANG i in. 2009]. Zwiększenie pojemności sorpcyjnej getytu w wodach naturalnych może być związane z obecnością jonów metali wielowartościowych. Nie stanowią one konkurencji dla jonów fosforanowych i nie wypierają ich z powierzchni adsorbenta, a ich obecność zwiększa jego powinowactwo do jonów fosforanowych. ZENG i in. [2004] stwierdzili, że obecność glinu, wapnia i innych metali znajdujących się w pyłe, który zawierał 30% tlenków żelaza, powodowała zwiększenie zdolności sorpcyjnych tego adsorbenta w odniesieniu do jonów fosforanowych. Podwójne tlenki metali, np. Fe-Mn adsorbują większe ilości fosforanów niż same tlenki żelaza [ZHANG i in. 2009], a obecność jonów metali w roztworze przyczynia się do współadsorpcji jonów fosforanowych na getycie [WANG, XING 2003].

WNIOSKI

Badania nad wykorzystaniem syntetycznych preparatów getytu do wiązania i usuwania jonów fosforanowych z wód naturalnych wykazały, że adsorpcja fosforanów z wód naturalnych wzbogaconych w jony fosforanowe była większa niż z roztworu przygotowanego w wodzie odjonizowanej.

Zawartość żelaza w getycie syntetycznym nie wpływa istotnie na proces adsorpcji jonów fosforanowych z roztworów przygotowanych przez rozpuszczenie KH_2PO_4 w wodzie odjonizowanej. W wodach naturalnych, zarówno pojemność sorpcyjna getytu, jak i intensywność adsorpcji jonów fosforanowych na nim, zwiększa się wraz ze zmniejszaniem zawartości żelaza w adsorbencie.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2010 jako projekt badawczy nr N N305 1515 33.

LITERATURA

- ANTELO J., AVENA M., FIOLO S., LOPEZ R., ARCE F. 2005. Effect of pH and ionic strength on the adsorption of phosphate and arsenate at the goethite-water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. 285 s. 476–486.
- BASTIN O., JANSSENS F., DUFÉY J., PEETERS A. 1999. Phosphorus removal by a synthetic iron oxide-gypsum compound. *Ecological Engineering*. Vol. 12 s. 339–351.
- BOLEWSKI A. 1982. *Mineralogia szczegółowa*. Warszawa. Wydaw. Geologiczne ss. 528.
- CHITRAKAR R., SATOKO T., SONODA A., SAKANE K., OOI K., HIROTSU T. 2005. Phosphate adsorption on synthetic goethite and akaganeite. *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. 298 s. 602–607.
- DEPPE T., BENNDORF J. 2002. Phosphorus reduction in shallow hypereutrophic reservoir by in-lake dosage of ferrus iron. *Water Research*. Vol. 36 s. 4525–4534.
- DĄBKOWSKA-NASKRĘT H. 2009. Naturalne i syntetyczne tlenki jako adsorbenty pierwiastków śladowych w glebach. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*. Nr 41 s. 631–639.
- EBERHARDT L.T., MIN S.H. 2008. Biosorbents prepared from wood particles treated with anionic polymer and iron salt: Effect of particle size on phosphate adsorption. *Bioresource Technology*. Vol. 99 s. 626–630.
- EBERHARDT L.T., MIN S.H., HAN J.S. 2006. Phosphate removal by refined aspen wood fiber treated with carboxymethyl cellulose and ferrus chloride. *Bioresource Technology*. Vol. 97 s. 2371–2376.
- ELBANOWSKA H., ZERBE J., SIEPAK J. 1999. *Fizyczno-chemiczne badanie wód*. Poznań. Wydaw. Nauk. UAM s. 108–110.
- EN 1189 1997. Water quality-determination of phosphorus-ammonium molybdate spectrometric method.
- GEELHOED J. S., HIEMSTRA T., VAN RIEMSDIJK W.H. 1997. Phosphate and sulfate adsorption on goethite: Single anion and competitive adsorption. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. Vol. 61 no 12 s. 2389–2396.
- GILES C.H., SMITH D., HUITSON A. 1974. A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm: 1. Theoretical. *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. 47 s. 755–762.
- KENTZER A., BUCZKOWSKI R. 2005. Application of goethite for immobilisation of phosphorus in lake sediments. *Nauki Matematyczno-Przyrodnicze*. Z. 112 s. 85–101.
- KOC J., SKWIERAWSKI A. 2004. Fosfor w wodach obszarów rolniczych. *Zeszyty Naukowe AE Wrocław. Ser. Chemia*. Nr 1017 s. 165–167.
- NOWACK B., STONE A.T. 2006. Competitive adsorption of phosphate and phosphonates onto goethite. *Water Research*. Vol. 40 s. 2201–2209.
- PERKINS R.G., UNDERWOOD G.J.C. 2001. The potential for phosphorus release across the sediment-water interface in an eutrophic reservoir dosed with ferric sulphate. *Water Research*. Vol. 35(6) s. 1399–1406.
- SKWIERAWSKI A. 2003. Skład chemiczny osadów dennych małych zbiorników wodnych jako odzwierciedlenie nasilania procesów antropopresji w krajobrazie rolniczym. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*. Vol. 10 nr S1 s. 159–169.
- SKWIERAWSKI A. 2004. Akumulacja fosforu w wodzie i osadach dennych jako wskaźnik poziomu degradacji stawów wiejskich i oczek śródpolnych. *Zeszyty Naukowe AE Wrocław. Chemia*. Nr 1017 s. 183–192.
- WANG K., XING B. 2003. Mutual effect of cadmium and phosphate on their adsorption and desorption by goethite. *Environmental Pollution*. Vol. 127 s. 13–20.
- WAUER G., GONSIORCZYK T., CASPER P., KOSCHEL R. 2005. P-immobilisation and phosphatase activities in lake sediment following treatment with nitrate and iron. *Limnologia*. Vol. 35 s. 102–108.

- WIŚNIEWSKI R. 1999. Phosphate inactivation with iron chloride during sediment resuspension. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*. Vol. 4 s. 65–73.
- ZENG L., LI X., LIU J. 2004. Adsorptive removal of phosphate from aqueous solutions using iron oxide coatings. *Water Research*. Vol. 38 s. 1318–1326.
- ZHANG G., LIU H., LIU R., QU J. 2009. Removal of phosphate from water by a Fe-Mn binary oxide adsorbent. *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. 335 s. 168–174.

Hanna SIWEK, Małgorzata WŁODARCZYK

**PHOSPHATE INACTIVATION
IN AQUATIC ENVIRONMENT USING SYNTHETIC GOETHITE**

Key words: eutrophication, ferric, goethite, phosphate, reclamation, surface water

S u m m a r y

The aim of this work was to study the process of binding phosphate ions by synthetic goethite $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$, to define adsorption isotherms and to examine the influence of iron content in goethite on this process. Adsorption isotherms were examined in deionized water and in two natural waters taken from Rusałka Reservoir and Lake Głębokie. Parameters calculated from the Freundlich isotherm equation, which describes the removal of phosphates from aquatic solutions in the presence of goethite, show that the adsorption from natural waters is several times higher than the adsorption from deionized water and is most effective in the presence of synthetic goethite with the lowest iron content.

Recenzenci:

prof. dr hab. Józef Mosiej

prof. dr hab. Barbara Sapek

Praca wpłynęła do Redakcji 28.12.2009 r.

Tabela 3. Charakterystyka chemiczna badanych wód naturalnych**Table 3.** Chemical characteristics of examined natural water

Woda Water	pH	Twardość Hardness mg CaCO ₃ ·dm ⁻³	Konduktancja Conductivity μS	PO ₄ mg·dm ⁻³	NH ₄ mg N·dm ⁻³	NO ₃ mg N·dm ⁻³	Zawartość metali, mg·dm ⁻³ Concentrations of metals, mg·dm ⁻³				
							Ca	Fe	Mg	Mn	Zn
W1	7,89	379,9	421	0,132	0,527	0,463	57,3	0,03	15,3	0,092	0,045
W2	7,24	189,9	189	0,096	0,463	0,527	29,4	0,00	7,2	0,007	0,031

Objaśnienia: W1 – woda ze zbiornika Rusalka, W2 – woda z Jeziora Głębokiego.

Detail: W1 – water from Rusalka Reservoir, W2 – water from Lake Głębokie.