

Krzysztof Józwiakowski
Katedra Melioracji i Budownictwa Rolniczego,
Akademia Rolnicza w Lublinie

PRÓBA ZWIĘKSZENIA SKUTECZNOŚCI USUWANIA FOSFORU W MODELU OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

Streszczenie

W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań, dotyczące niekonwencjonalnego sposobu usuwania fosforu, przy wykorzystaniu skały wapiennej – opoki, wcześniej poddanej dekarbonizacji w temperaturze 900°C. Badania prowadzono w okresie 6 tygodni na modelowej oczyszczalni ścieków ze złożem piaskowym bez opoki i z opoką. Podczas badań analizowano stężenie fosforu w ściekach dopływających i odpływających z oczyszczalni. Wyniki badań wykazały, że opoka bardzo dobrze sorbuje fosfor ze ścieków bytowych. Średnia skuteczność usuwania fosforu ogólnego w modelowej oczyszczalni ścieków z opoką (90,9%) była ponad dwukrotnie większa, niż w tej samej oczyszczalni bez opoki (42,4%). Szersze zastosowanie tej skały, do usuwania fosforu, wymaga jednak prowadzenia dalszych, szczegółowych badań, które powinny mieć m.in. na celu określenie długości czasu sorpcji fosforu przez opokę.

Słowa kluczowe: fosfor, oczyszczanie ścieków, opoka, badania modelowe

Wprowadzenie

Fosfor jest ważnym wskaźnikiem zanieczyszczenia wód. Jego obecność w wodach powierzchniowych stanowi poważne niebezpieczeństwo nasilania się eutrofizacji. Zbyt wysokie stężenia fosforu w wodzie, prowadzą do zwiększonego przyrostu glonów i wodorostów, które następnie obumierają i ulegają biologicznej degradacji. Powoduje to z kolei deficyt rozpuszczonego tlenu, co prowadzi do obumierania fauny wodnej.

Jednym z głównych źródeł fosforu w wodach powierzchniowych są ścieki bytowe. Ilość fosforu w surowych ściekach bytowych może zmieniać się w szerokich

granicach od 10 do 25 g P·m⁻³. Pochodzi on, przede wszystkim, z przetrawionych pokarmów ludzi oraz ze środków czystości [Bever i in. 1997]. Eliminacja fosforu ze ścieków jest problemem o bardzo wysokim znaczeniu.

Usuwanie fosforu ze ścieków może się odbywać poprzez chemiczne strącania solami glinu, żelaza oraz wapnem, jak również przez zastosowanie metody biologicznej jego eliminacji [Bernacka i in. 1995]. Jednak nie wszystkie metody usuwania fosforu, stosowane w dużych oczyszczalniach, można wykorzystać w małych obiektach, przede wszystkim, ze względu na wysokie koszty ich instalacji i eksploatacji. Alternatywą dla aktualnie stosowanych środków chemicznych do eliminacji fosforu może być wykorzystanie sorbentów pochodzenia naturalnego. W ostatnich latach podejmowane są próby zastosowania opoki do wiązania fosforu ze ścieków [Brogowski, Gworek 1996; Karczmarczyk 2000, 2003].

Celem tej pracy jest przedstawienie wstępnych wyników badań dotyczących niekonwencjonalnego sposobu usuwania fosforu, przy wykorzystaniu skały wapiennej – opoki, wcześniej poddanej dekarbonizacji w temperaturze 900°C.

Charakterystyka opoki

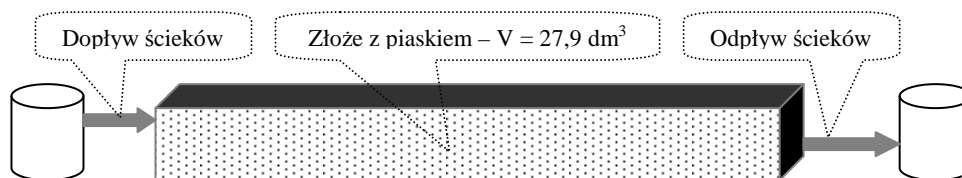
Opoka jest skałą węglanowo-krzemionkową, o stosunkowo dużej porowatości – ponad 50%. W stanie naturalnym charakteryzuje ją wysoka zawartość CaCO₃ (55,7%) i SiO₂ (33,2%) [Brogowski, Gworek 1996].

Fosfor jest zatrzymywany i kumulowany w środowisku zasadowym głównie, na drodze sorpcji chemicznej – łącząc się z wapniem, tworzy fosforany wapnia [Grinberg, Thomas 1954; Boćko 1965]. Ze względu na to, że opoka zawiera dość dużo wapnia może być stosowana jako reagent do strącania fosforu.

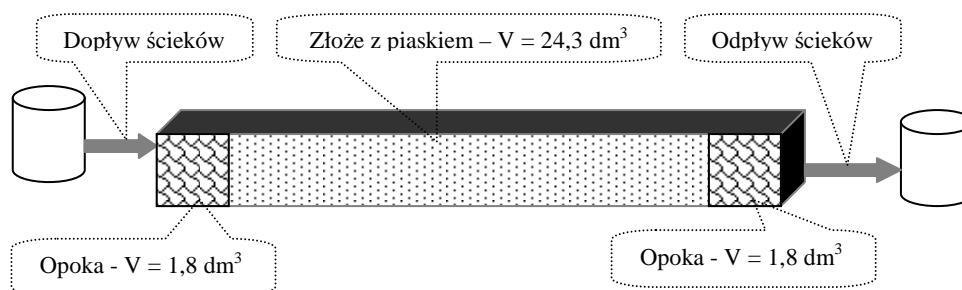
Opokę, którą wykorzystywano do badań pobrano na terenie południowej części Lublina. Skałę po wysuszeniu rozdrabniano i sortowano na sitach o średnicach oczek 2 i 5 mm, a następnie poddano dekarbonizacji w temperaturze 900°C. Opoka po wyprażeniu w takiej temperaturze, pozwala na bardzo skuteczne wiązanie fosforu ze ścieków [Brogowski, Gworek 1996].

Materiały i metodyka badań

Badania nad zwiększaniem skuteczności usuwania fosforu ze ścieków prowadzono, przez 6 tygodni, na modelowej oczyszczalni ze złożem piaskowym, z poziomym przepływem ścieków. W pierwszym etapie badań złożo modelowej oczyszczalni wypełnione było wyłącznie piaskiem (rys. 1). W drugim etapie badań część wlotową i wylotową złoża wypełniono opoką (rys. 2).



Rys. 1. Schemat modelowej oczyszczalni ścieków ze złożem piaskowym bez opoki
 Fig. 1. Diagramme of a model wastewater treatment plant with sand filter bed without bedrock



Rys. 2. Schemat modelowej oczyszczalni ścieków ze złożem piaskowym z opoką
 Fig. 2. Diagramme of a model wastewater treatment plant with a sand bed with bedrock

Badane złożo piaskowe miało długość 0,775 m, szerokość 0,6 m, a jego powierzchnia wynosiła 0,465 m². Spadek dna złoża wynosił 1 % w kierunku odpływu ścieków, zaś głębokość 0,06 m. Do wypełnienia złoża w laboratorium zastosowano piasek luźny, średnioziarnisty, którego gęstość wynosiła 1,67 g·cm⁻³, a gęstość fazy stałej 2,45 g·cm⁻³. Porowatość ogólna piasku wynosiła 31,8 %. Przepuszczalność piasku, określona za pomocą współczynnika filtracji, była dosyć dobra – wynosiła 14,04 m·d⁻¹.

Ścieki do badań modelowych w laboratorium dowożono z przydomowej oczyszczalni w Jastkowie (woj. lubelskie). Badania nad skutecznością usuwania fosforu w modelu małej oczyszczalni prowadzono przy obciążeniu hydraulicznym wynoszącym 0,003 m³·m⁻²·d⁻¹ (1 ml·min⁻¹) oraz przy obciążeniu 2-krotnie większym – 0,006, m³·m⁻²·d⁻¹ (2 ml·min⁻¹) i 4-krotnie większym, czyli 0,012 m³·m⁻²·d⁻¹ (4 ml·min⁻¹). Dla porównania – według danych amerykańskich [Metcalf, Eddy 1991] zaleca się eksploatację złóż przy obciążeniu hydraulicznym nie większym niż 0,015 – 0,050 m³·m⁻²·d⁻¹, a według danych duńskich [Brix 1987] - 0,02 – 0,07 m³·m⁻²·d⁻¹.

Podczas badań w ściekach dopływających i odpływających z oczyszczalni analizowano stężenie fosforu oraz oznaczano: temperaturę, pH, stężenie O_2 i przewodność właściwą. Analizy i pomiary fizykochemiczne ścieków, wykonywano według powszechnie stosowanych metod [Hermanowicz i in. 1999]. Efekty usuwania fosforu obliczano w oparciu o zmianę wielkości jego stężenia w ściekach dopływających i odpływających z oczyszczalni.

Wyniki badań i dyskusja

Charakterystyka ścieków dopływających do oczyszczalni. Ścieki doprowadzane do modelu oczyszczalni zawierały dość dużo fosforu – od 23,5 do 43,1 $mg \cdot dm^{-3}$ (I etap badań) i od 16,5 – 25,1 $mg \cdot dm^{-3}$ (II etap badań) (tab. 1). Temperatura ścieków wahała się w niewielkim zakresie – od 18,0 do 20,7°C (tab. 2). Z kolei wartość pH w ściekach poddawanych oczyszczaniu wynosiła od 7,64 – 7,93 (I etap badań) i 8,05 – 8,24 (II etap badań) (tab. 3). Przewodność właściwa w ściekach dopływających do złoża bez opoki (1668 – 1921 $\mu S \cdot cm^{-1}$) była wyższa, niż w ściekach dopływających do złoża z opoką (1246 – 1293 $\mu S \cdot cm^{-1}$) (tab. 4).

Tabela 1. Stężenie fosforu ogólnego w ściekach dopływających i odpływających z modelu oczyszczalni

Table 1. General phosphorus concentration in the sewage coming in and leaving the wastewater treatment plant model

Obciążenie ściekami [$m^3 \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$]	Złoże bez opoki		Złoże z opoką	
	przed złożem	za złożem	przed złożem	za złożem
	Fosfor ogólny [$mg \cdot dm^{-3}$]			
0,012	43,1	19,9	25,1	2,1
0,006	35,9	20,3	19,5	2,2
0,003	23,5	16,5	16,5	1,3

Tabela 2. Temperatura ścieków dopływających i odpływających z modelu oczyszczalni

Table 2. Temperature of the sewage coming in and leaving the wastewater treatment plant model

Obciążenie ściekami [$m^3 \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$]	Złoże bez opoki		Złoże z opoką	
	przed złożem	za złożem	przed złożem	za złożem
	Temperatura [$^{\circ}C$]			
0,012	18,6	16,9	19,0	17,4
0,006	19,0	17,6	20,7	19,4
0,003	18,0	17,1	20,4	18,1

Tabela 3. Wartość pH w ściekach dopływających i odpływających z modelu oczyszczalni

Table 3. The pH value in the sewage coming in and leaving the wastewater treatment plant model

Obciążenie ściekami [m ³ ·m ⁻² ·d ⁻¹]	Złoże bez opoki		Złoże z opoką	
	przed złożem	za złożem	przed złożem	za złożem
	[pH]			
0,012	7,64	7,70	8,05	12,60
0,006	7,77	7,86	8,11	12,66
0,003	7,93	7,89	8,24	12,76

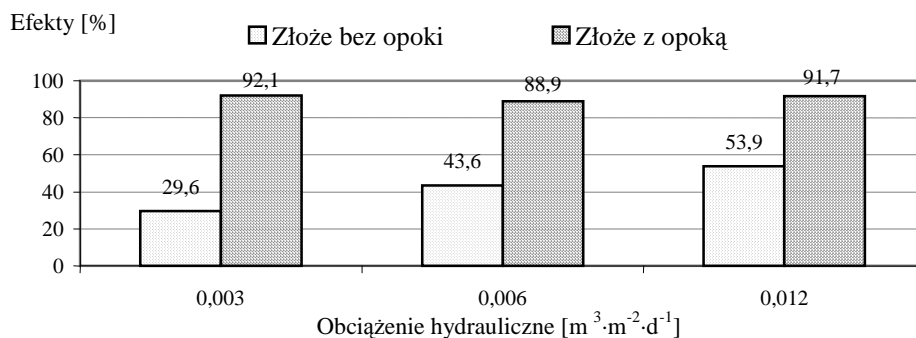
Tabela 4. Przewodność właściwa ścieków dopływających i odpływających z modelu oczyszczalni

Table 4. Specific conductance of the sewage coming in and leaving the wastewater treatment plant model

Obciążenie ściekami [m ³ ·m ⁻² ·d ⁻¹]	Złoże bez opoki		Złoże z opoką	
	przed złożem	za złożem	przed złożem	za złożem
	Przewodność właściwa [μS·cm ⁻¹]			
0,012	1868	1710	1293	2870
0,006	1921	1780	1246	4450
0,003	1668	1459	1274	4730

Efekty usuwania fosforu. Podczas I etapu badań, prowadzonych na złożu piaskowym bez opoki skuteczność usuwania fosforu była niewielka i wahała się od 29,6 do 53,9%, a średnio wynosiła 42,4%. Najlepszą odnotowano przy obciążeniu hydraulicznym złoża 0,012 m³·m⁻²·d⁻¹ (rys. 3).

Dzięki zastosowaniu opoki w modelu małej oczyszczalni uzyskano znaczną poprawę efektów usuwania fosforu – wahała się ona od 88,9 – 92,1%, a średnio wynosiła 90,9%. Zmiana obciążenia hydraulicznego oczyszczalni nie miała wpływu na wzrost efektów usuwania fosforu (rys. 3).



Rys. 3. Efekty usuwania fosforu w modelowej oczyszczalni ścieków z opoką i bez opoki przy różnym obciążeniu hydraulicznym

Fig. 3. Phosphorus disposal effects in the model wastewater treatment plant with and without bedrock at different hydraulic load

Charakterystyka ścieków odpływających z modelu oczyszczalni. Podczas I etapu badań, prowadzonych na złożu piaskowym bez opoki, stężenia fosforu ogólnego w odpływie wahały się od 16,5 – 20,3 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Po zastosowaniu opoki stężenia fosforu ogólnego w odpływie wahały się od 1,3 do 2,2 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ – były zatem znacznie niższe, od tych które notowano wcześniej (tab. 1).

Temperatura w ściekach odpływających ze złoża nieznacznie spadała, w stosunku do tej którą notowano w ściekach doprowadzanych do obiektu i zarówno w I, jak i II etapie badań wahała się na podobnym poziomie od 16,9 - 19,4°C (tab. 2).

Wartość pH 7,70 – 7,89 ścieków odpływających ze złoża bez opoki była zazwyczaj podobna do tej, którą notowano w ściekach dopływających. Po zastosowaniu opoki obserwowano znaczny wzrost odczynu w ściekach odprowadzanych, sięgający 12,76 pH (tab. 3). Przy tak wysokiej wartości pH wymagana jest redukcja odczynu. Dlatego wskazane jest, aby opokę stosować po biologicznym etapie oczyszczania ścieków.

Przewodność właściwa w ściekach odpływających ze złoża piaskowego bez opoki (1459 – 1780 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) była niższa od tej, którą notowano w ściekach dopływających. Natomiast, gdy złoże wypełniono opoką, w ściekach odpływających stale obserwowano podwyższoną wartość przewodności – w zakresie od 2870 do 4730 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. Zwiększona przewodność ścieków, świadczy o wymywaniu składnika mineralnego, prawdopodobnie wapnia (tab. 4).

Podsumowanie

1. W pracy przetestowano niekonwencjonalny sposób usuwania fosforu ze ścieków w modelowej oczyszczalni, przy wykorzystaniu opoki, wcześniej poddanej dekarbonizacji w temperaturze 900°C.
2. Wyniki badań wykazały, że opoka bardzo dobrze sorbuje fosfor. Skuteczność jego usuwania ze ścieków w oczyszczalni ze złożem piaskowym z opoką (90,9%) była ponad dwukrotnie większa, niż w tej samej oczyszczalni bez opoki (42,4%).
3. Pewnym problemem, w przypadku wykorzystania opoki do usuwania fosforu, jest wzrost odczynu w ściekach odprowadzanych z obiektu (maksymalnie do 12,8 pH). Przy tak wysokiej wartości pH wymagana jest jego redukcja. Dlatego wskazane jest stosowanie opoki po biologicznym etapie oczyszczania ścieków.
4. Mankamentem metody usuwania fosforu przy wykorzystaniu opoki jest konieczność wypalania jej w temperaturze 900°C, co obecnie jest dość kosztowne. Koszty mogłyby ulec obniżeniu, gdyby realizować jej wypalanie na większą skalę.
5. Szersze zastosowanie opoki, do usuwania fosforu, wymaga prowadzenia dalszych, szczegółowych badań, które powinny mieć m.in. na celu określenie maksymalnego czasu sorpcji fosforu przez tą skałę.
6. Otrzymane wyniki badań mogą być wykorzystywane do projektowania i w modernizacji obecnie istniejących małych oczyszczalni ścieków.

Bibliografia

- Bernacka J., Kurbiel J., Pawłowska L. 1995. Usuwanie związków biogenych ze ścieków miejskich. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, ss. 92.
- Bever J., Stein A., Teichmann H. 1997. Zaawansowane metody oczyszczania ścieków. Eliminacja azotu i fosforu, sedymentacja i filtracja. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz, s. 440.
- Boćko J. 1965. Gleba jako środowisko oczyszczania ścieków. Roczniki Gleboznawcze - Tom XV, Zeszyt 2, Warszawa, s. 497-548.
- Brix H. 1987. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants - the root - zone method. Water Science Technology. vol. 19, s. 107-118.
- Brogowski Z., Gworek B. 1996. Próba zastosowania nowego naturalnego sorbentu do oczyszczania ścieków z fosforanów. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie, 4/1996, s.162-163.
- Grinberg A. R., Thomas U. F. 1954. Sewage effluent reclamations for industrial and agricultural use. Sewage and Industrial Wastes, 26, no 6.

Hermanowicz W., Dożańska W., Dojlido J., Koziorowski B. 1999. Fizykochemiczne badanie wody i ścieków. Wyd. Arkady, Warszawa.

Karczmarczyk A. 2000. Influence of some properties of potential sorbent on P-removal from domestic wastewater. Annals of Warsaw Agricultural University SGGW, Land Reclamation, No 30, s. 59-65.

Karczmarczyk A. 2003. Upgrading of phosphorus removal in subsurface flow constructed wetlands. Acta horticulturae et regiotecturae – Mimoriadne číslo. Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, s. 107-109.

Metcalf and Eddy 1991. Wastewater Engineering - Treatment, Disposal, Reuse. Third Edition McGraw-Hill, Inc., New York.

Praca naukowa była finansowana ze środków KBN w latach 2002-2004 jako projekt badawczy nr 3 P06S 058 23

EXPERIMENT OF INCREASING EFFECTIVENESS OF PHOSPHORUS REMOVAL IN A MODEL OF WASTEWATER TREATMENT PLANT

Summary

The paper presents preliminary results of the study on an alternative method of phosphorus removal by using limestone which was first decarbonized at 900°C. The 6-week research was conducted in a model sewage treatment plant with a sandy bed with and without the application of calcareous rock. Phosphorus concentration in sewage influents and effluents was analyzed. The results suggest that limestone is a very good sorbing agent in relation to phosphorus occurring in domestic sewage. The model sewage treatment plant was on average twice as efficient (90.9%) when calcareous rock was used as it was without the application of the rock (42.4%). However, the use of this rock in phosphorus removal on a large scale requires further, more detailed research which, among other things, should determine the duration of phosphorus sorption by calcareous rock.

Key words: phosphorus, wastewater treatment, opoka, model studies