



WYKORZYSTANIE MATERIAŁÓW REAKTYWNYCH W SYSTEMACH ZAGOSPODAROWANIA WODY OPADOWEJ W OSIEDLACH MIESZKANIOWYCH

Agnieszka Karczmarczyk, Agnieszka Bus, Anna Baryła
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

THE USE OF REACTIVE MATERIALS IN RAINWATER MANAGEMENT IN URBAN RESIDENTIALS

Streszczenie

Zanieczyszczenia powietrza, hałas, wszechobecny ruch i towarzyszący im stres powodują, że życie w mieście nie jest dla człowieka korzystne. Dodatkowo zabudowa i związane z nią uszczelnianie powierzchni ziemi pod kolejne osiedla zwiększa efekt miejskiej wyspy ciepła oraz powoduje problemy z zagospodarowaniem wód opadowych. Dlatego współczesne osiedla mieszkaniowe muszą sprostać wyzwaniu zapewnienia mieszkańcom wysokiej jakości życia. Efekt ten można osiągnąć dzięki wprowadzaniu na osiedla zieleni, w tym także w postaci dachów zielonych oraz budowy zbiorników wodnych w postaci połączonych systemów zagospodarowania wód opadowych. Kolejnym wyzwaniem jest utrzymanie jakości wody w zbiornikach. W pracy przedstawiono wyniki badań dwóch materiałów reaktywnych pod kątem ich zastosowania w celu utrzymania poziomu fosforu w wodzie do poziomu poniżej $0,01 \text{ mg dm}^{-3}$. Według wytycznych FLL (2011) dla stawów kąpielowych, jest to zawartość fosforu przy której woda w zbiorniku będzie przejrzysta i atrakcyjna wizualnie. Badania wykazały, że wyprażona opoka okazała się być bardziej efektywnym sorbentem fosforu niż dedykowany temu celowi komercyjny wyrób FerroSorp®.

Słowa kluczowe: FerroSorp®, fosfor, opoka, wody opadowe, zbiornik retencyjny

Summary

Air pollution, noise, omnipresent traffic and the accompanying stress make an adverse effect on human life in the city. In addition, buildings and related impermeable surfaces, enhance the urban heat island effect and cause problems with the management of rainwater. Therefore, modern housing developments must meet the challenge of ensuring a high quality of life for residents. This effect can be achieved by putting on the green, including green roofs, and the construction of ponds in the form of rainwater management systems. Another challenge is to maintain the quality of water in the reservoir. The paper presents the results of two reactive materials laboratory scale tests, for their use in order to maintain the level of phosphorus in the water. According to the FLL guidelines (2011) for swimming ponds, phosphorus concentration below 0.01 mg/L will provide transparent and visually attractive water. Studies have shown that the opoka turned out to be more effective sorbent for phosphorus than dedicated to this goal commercial product FerroSorp®.

Key words: *FerroSorp®, opoka, phosphorus, rain water management*

WSTĘP

Rozwój miast oraz wzrost liczby ich mieszkańców stwarza nowe wyzwania w obszarze poprawy jakości życia w terenach zurbanizowanych. W roku 2014 w miastach żyło 60% ludności w Polsce (GUS 2014), a w Europie w 2020 r. udział ten wyniesie 75% (UNHSP 2011). Zabudowa powierzchni i ograniczone możliwości rozbudowy infrastruktury kanalizacji deszczowej wymuszają konieczność uwzględniania retencji wody opadowej w projekcie każdego osiedla. Jednocześnie, niezwykle „magnetyzm” wody, powoduje, że ludzie potrzebują jej bliskości. W mieście woda jest spójnikiem pomiędzy sztucznym tworem zurbanizowanego krajobrazu a magią dzikiej przyrody (Januchta-Szostak 2008). Dlatego też, w wielu współcześnie powstających osiedlach łączy się funkcję retencyjną i infiltracyjną zbiorników wodnych z jej funkcją krajobrazową i rekreacyjną. Jednym z wyzwań, które stają przed projektantami, wykonawcami oraz administratorami osiedli jest w chwili obecnej utrzymanie w zbiornikach przejrzystej i „czystej” wody.

Utrzymanie odpowiedniej jakości wody w małych i płytkich zbiornikach wodnych jest dużym wyzwaniem. Kluczowym czynnikiem wpływającym na rozwój glonów w tego typu obiektach jest zawartość fosforu. Można ją regulować stosując gotowe preparaty i środki chemiczne, jednak ich stosowanie silnie wpływa na jakość ekosystemu. Korzystniejsze jest zatem stosowanie metod

przyjaznych środowisku, wykorzystujących naturalne procesy filtracji mechanicznej, biologicznej i chemicznej, które znalazły zastosowanie w stawach kąpielowych (FLL 2011). Jedną z takich metod jest zastosowanie w systemach filtracyjnych materiałów reaktywnych, których celem jest utrzymanie poziomu fosforu w wodzie na poziomie poniżej $0,01 \text{ mg dm}^{-3}$.

MATERIAŁY I METODY

W pracy wykorzystano dwa materiały o różnym pochodzeniu: kruszywo mineralne (opoka) oraz produkt komercyjny FerroSorp® (tabela 1). Opoka jest skałą wapienno-krzemionkową, powszechną w południowej i wschodniej Polsce. Badany materiał pochodzi z pokładów zlokalizowanych w Polsce wschodniej. Przed testami został poddany obróbce termicznej w temperaturze 900°C . W zależności od rodzaju skały udział głównych komponentów: CaO i SiO_2 może zmieniać się w szerokich granicach, wynoszących odpowiednio $14,0 \div 53,2\%$ dla CaO oraz $5,0 \div 75\%$ dla SiO_2 (Kozłowski 1986). Ta różnorodność może mieć istotny wpływ na pojemność sorpcyjną materiału (Bus i Karczmarczyk 2014). FerroSorp® jest granulowanym produktem opartym o $\text{Fe}(\text{OH})_3$, przeznaczonym do usuwania fosforu w oczyszczaniu ścieków, oczyszczaniu spływu powierzchniowego z dróg i nawierzchni utwardzonych oraz w rekultywacji wód (www.ferrosorp.de).

Przydatność materiałów do zastosowania w filtrach kontrolujących jakość wody w stawach osiedlowych określono w badaniach laboratoryjnych prowadzonych w trzech etapach. W pierwszym etapie materiały poddano testom na uwalnianie fosforu według procedury przewidzianej dla substratów stosowanych w stawach kąpielowych. W tym celu naważki materiału wytrząsano przez 24 h w 1nHCl (stosunek masy 1:2) oraz w wodzie destylowanej (stosunek masy 1: 50). Za przydatny do zastosowania w stawach kąpielowych uznaje się materiał, z którego wymywanie po kontakcie z 1nHCl nie przekracza 5 mgP kg^{-1} materiału.

W kolejnym etapie wykonano testy szybkości wiązania fosforu przez badane materiały. $1 \text{ g} (\pm 0,05 \text{ g})$ naważki materiału wytrząsano z roztworem KH_2PO_4 o stężeniu $2,0 \text{ mg P-PO}_4 \text{ dm}^{-3}$ w zmiennym czasie kontaktu adsorbentu z adsorbentem wynoszącym od 5 min do 5 h. Stężenie fosforu w roztworze na poziomie $2,0 \text{ mg P-PO}_4 \text{ dm}^{-3}$ symuluje niekorzystne warunki jakie można napotkać w wodzie wykorzystywanej do napełniania stawów (tabela 2).

Badanie procesu adsorpcji (trzeci etap) przeprowadzono metodą statyczną, polegającą na określeniu stężeń roztworu wyjściowego i roztworu będącego w równowadze z adsorbentem (Anielak 2002). Jednogramowe naważki materiałów mieszano z roztworem fosforu o rosnącym stężeniu od $2,0 \text{ mg dm}^{-3}$ do

1000,0 mg dm⁻³ przez 1 godzinę. Zatrzymanie fosforu obliczono na podstawie różnicy ładunku w roztworze przed i po kontakcie z materiałem.

Wszystkie testy wykonano w trzech powtórzeniach, a prezentowane dane są wartościami średnimi. Oznaczenia wykonano metodą analizy przepływowej na aparacie FIAstar™ 5000.

Tabela 1. Charakterystyka badanych materiałów

Table 1. Characteristics of tested materials

Material	Frakcje [mm]	Porowatość [%]	pH [-]	Pojemność sorpcyjna [mg g ⁻¹]
Opoka	1 ÷ 5	67,9	11,9	12,3* ÷ 25,5*
FerroSorp®	1 ÷ 3	70,1	8,8	20,1**

Źródło: * Bus i Karczmarczyk (2014); ** Sperlich (2010)

WYNIKI I DYSKUSJA

Źródłem fosforu w zbiorniku osiedlowym może być woda wodociągowa lub studzienna wykorzystana do napełnienia i uzupełniania strat na parowanie; woda deszczowa dostarczana bezpośrednio oraz ze spływem powierzchniowym i odpływem z dachów (w tym dachów zielonych) (tabela 2); szczątki roślin wodnych oraz opadłe z drzew liście. W zarybionych stawach osiedlowych, źródłem fosforu mogą być także karpie Koi lub karasie oraz przeznaczona dla nich karma.

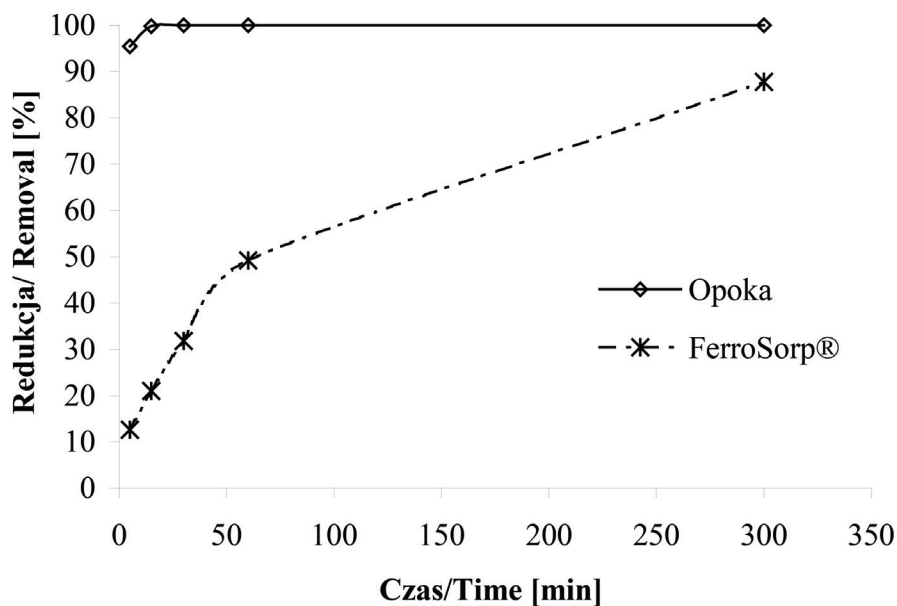
Tabela 2. Fosfor w wodzie z różnych źródeł

Table 2. Phosphorus content in water from different sources

Źródło wody Source of water	Stężenie [mg dm ⁻³] Concentration [mg/L]	Źródło informacji Source of the information
Woda deszczowa	0-1,20 (P-PO ₄)	Root i in. 2004
	0-0,82 (P)	Karczmarczyk i in 2012
	0,10-0,30 (PO ₄) 3,57-13,24 (P)	Glass i ETEC L.L.C. 2007
Woda kranowa	0-0,22 (P)	Kalembasa i Jaremko 2008
Woda studzienna (studnie kopane)	0,20-4,90 (PO ₄)	Raczuk i in. 2009
Woda studzienna (studnie wiercone)	0,10-0,57 (PO ₄)	Raczuk i in. 2009
Dach zielony	0,07-1,15 (PO ₄) 1,43-33,09 (P)	Glass i ETEC L.L.C. 2007
Dach zielony (intensywny) Dach zielony (ekstensywny)	0,06-0,39 (P-PO ₄) 0,02-0,28 (P-PO ₄)	Karczmarczyk i in 2012

Według wytycznych FLL (2011) jedną z metod stosowanych do kontroli jakości wody w stawie kąpielowym jest zastosowanie filtrów pionowych zatopionych lub nie zatopionych o wymuszonym przepływie. Materiał wypełniający filtr powinien charakteryzować się stałą usuwania fosforu odpowiednio na poziomie 0,15 lub 0,20. Oznacza to, że materiał powinien zapewnić usuwanie fosforu na poziomie 15-20% podczas filtracji z prędkością $5-10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ przez złożo o miąższości 0,8-1,0 m. Niezwykle ważne jest również, aby materiał filtracyjny sam nie był źródłem fosforu w wodzie. Materiał uznaje się za przydatny do zastosowania w stawach kąpielowych jeżeli wymywanie po kontakcie z 1nHCl nie przekracza 5 mgP kg^{-1} materiału. Oba badane materiały spełniały powyższe wymagania, ponieważ nie wykryto fosforu w badanym roztworze.

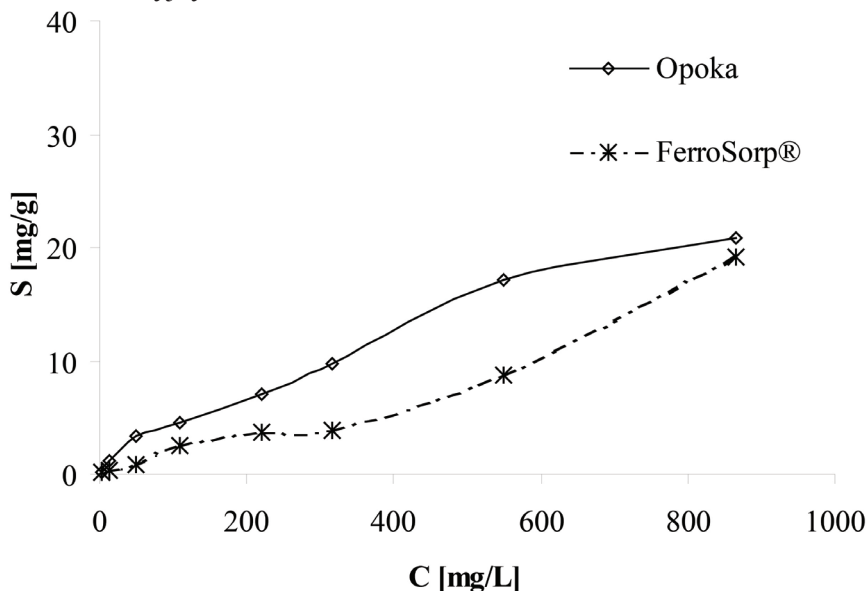
Szybkość wiązania fosforu przez badane materiały przedstawiono na rysunku 1. Bardziej skuteczna w krótkim czasie kontaktu okazała się opoka. Badany sorbent mineralny usunął z roztworu fosfor już w pierwszych minutach testu (redukcja 95% po 5 minutach kontaktu). FerroSorp® był również skuteczny w efekcie końcowym, jednak przy krótszych czasach kontaktu nie był tak efektywny (po 5 minutach redukcja wynosiła 13%). Podsumowując, można stwierdzić, że opoka okazała się być bardziej efektywnym sorbentem fosforu niż dedykowany temu celowi komercyjny wyrób FerroSorp®.



Rysunek 1. Szybkość wiązania fosforu przez badane materiały przy stężeniu początkowym $2,0 \text{ mgP-PO}_4 \text{ dm}^{-3}$

Figure 1. Kinetics of phosphorus removal by tested materials; initial concentration $2.0 \text{ mgP-PO}_4 \text{ dm}^{-3}$

Potencjał badanych materiałów do usuwania fosforu przedstawiono na rysunku 2. Przebieg procesu adsorpcji potwierdza wyższą skuteczność sorbentu mineralnego naturalnego pochodzenia. Badanie prowadzono przy czasie kontaktu 60 min, co odpowiada około połowie sprawności FerroSorp® potwierdzonej w teście kinetyki. Osiągnięta końcowa wartość sorpcji $19,15 \text{ mg dm}^{-3}$ w przybliżeniu jest równa teoretycznej zdolności sorpcyjnej tego materiału określonej przez Sperlich'a (2010) (tabela 1). W przypadku materiału pochodzenia naturalnego, jakim jest opoka, jego cechą charakterystyczną jest niejednorodność, co zostało potwierdzone we wcześniejszych badaniach (Bus i Karczmarczyk 2014, tab. 1). Zastosowanie opoki w warunkach technicznych powinno być poprzedzone badaniem laboratoryjnym każdej partii wykorzystanego materiału. Mimo tego, wyższa pojemność sorpcyjna, gwarantująca dłuższą skuteczną pracę filtru, oraz krótszy czas potrzebny na efektywne usuwanie fosforu, pozwalają na uznanie tego materiału jako bardziej efektywny niż dedykowany temu celowi produkt komercyjny.



Rysunek 2. Zatrzymanie fosforu (S) przez badane materiały w zależności od stężenia początkowego (C)

Figure 2. Sorption of phosphorus (S) by tested materials vs initial concentration (C).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Sorbenty znajdują coraz częstsze zastosowanie w szeroko pojętej ochronie wód. W literaturze można znaleźć liczne przykłady prób wykorzystania materia-

łów reaktywnych do oczyszczania ścieków, usuwania zanieczyszczeń ze źródeł obszarowych i liniowych. Ostatnio rozpoczęto również poszukiwania materiałów reaktywnych do poprawy jakości wody w mieście. Przykładem może być tu kontrolowanie zawartości fosforu w odpływie z dachów zielonych (Karczmarczyk i in. 2014). Biorąc pod uwagę, że utrzymanie zbiorników retencyjnych w osiedlach mieszkaniowych w dobrej estetyce wiąże się z kontrolą fosforu w wodzie, jest to kolejny obszar aplikacji dla materiałów reaktywnych. Jednak nie wszystkie z badanych dotychczas materiałów, dedykowanych oczyszczaniu ścieków, będą również odpowiednie do kontroli fosforu w zbiornikach osiedlowych. Podstawowym ograniczeniem jest tu stosunkowo niskie stężenie fosforu w wodzie. Wcześniejsze badania wykazały, że niektóre materiały np. Pollytag® (Karczmarczyk i in. 2014). są atrakcyjnymi sorbentami fosforu w wysokich stężeniach i mogą być stosowane np. w przydomowych oczyszczalniach ścieków, natomiast w niskich stężeniach nie są aktywne. Dlatego zastosowanie materiałów reaktywnych do usuwania fosforu ze ścieków do kontroli stężenia fosforu w stawach osiedlowych nie jest możliwe bez przeprowadzenia odpowiednich badań. W prezentowanej pracy przedstawiono przeprowadzono trzy testy, które umożliwiają określenie przydatności materiału reaktywnego do tego celu. Należy jednak pamiętać, że zastosowanie każdego materiału w praktyce wymaga współpracy specjalistów wielu dyscyplin, w celu stworzenia efektywnego systemu filtracyjnego o odpowiednich parametrach hydraulicznych, jednocześnie nie wpływającego niekorzystnie na stan ekosystemu.

Kompleksowe zagospodarowanie wody opadowej w osiedlach mieszkaniowych jest w chwili obecnej koniecznością. Przykładem takiej koncepcji jest projekt badawczy „Oszczędność zasobów wodnych i poprawa jakości powietrza dzięki wykorzystaniu retencyjnej wody opadowej” (akronim SWRW), który uzyskał finansowanie z NCBiR w ramach programu BIOSTRATEG.

PODZIĘKOWANIA

W pracy wykorzystano aparaturę będącą na wyposażeniu Pracowni Ekotechnologii Centrum Wodne SGGW.

LITERATURA

- Anielak, A. (2002). Chemiczne i fizykochemiczne oczyszczanie ścieków. PWN: Warszawa
- Bus, A., Karczmarczyk A. (2014). Charakterystyka skały wapienno-krzemionkowej opoki w aspekcie jej wykorzystania jako materiału reaktywnego do usuwania fosforu z wód i ścieków. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, Nr II/1, 227–238

- FLL (2011). Recommendations for Planning, Construction, Servicing and Operating of Outdoor Swimming Pools with Biological Water Purification (Swimming and Bathing Ponds). Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- Glass, Ch.C., ETEC L.L.C. (2007). Green Roof Water Quality and Quantity Monitoring. Raport. Howard University. Department of Civil Engineering. http://www.asla.org/uploadedFiles/CMS/Green_Roof/Green_Roof_Water_Monitoring_Report.pdf
- GUS (2014). Ludność. Stan i struktura w przekroju terytorialnym. Stan w dniu 30 IV 2014 r. Główny Urząd Statystyczny.
- Januchta-Szostak, A. (2008). Błękitna krew miasta. Woda jako ożywcza siła przestrzeni publicznych. (w:) Serce miasta. J. Gyurkovich (red.), Czasopismo Techniczne, Architektura z. 3-A, zeszyt 8 (rok 105), Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 21-27. <https://suw.biblos.pk.edu.pl/downloadResource&mid=137951>
- Kalembasa, D., Jaremko, D. (2008). Skład chemiczny wody w siedleckiej sieci wodociągowej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie t.8, z. 2a (23), 81-86
- Karczmarczyk, A., Baryła, A., Bus, A. (2014). Effect of P-Reactive Drainage Aggregates on Green Roof Runoff Quality. *Water*, 6, 2575-2589
- Karczmarczyk, A., Baryła, A., Charazińska, P., Bus, A., Frąk, M. (2012). Influence of the green roof substrate on runoff quality. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 03/III, 7-15
- Kozłowski, S. (1986). Surowce skalne Polski. Wydawnictwa Geologiczne: Warszawa.
- Raczuk, J., Biardzka, E., Michalczyk, M. (2009). Związki azotu w wodzie studziennej w świetle ryzyka zdrowotnego mieszkańców gminy Wodynie (woj. mazowieckie). Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie t.9, z. 1 (25), 87-97
- Root, E., Jones, W., Schwarz, B., Gibbons, J., Haileab, B. (2004). Rainwater Chemistry Across the United States. <http://www.people.carleton.edu/~bhaileab/environmentalgeology/RainWater.pdf>
- Sperlich, A. (2010). Phosphate adsorption onto granular ferric hydroxide (GFH) for wastewater reuse. Rozprawa doktorska obroniona w dniu 8 lipca 2010 r. na Politechnice w Berlinie. https://opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/files/2634/sperlich_alexander.pdf
- UNHSP (2011). Cities and climate change. Global report on human settlements 2011. United Nations Human Settlements Programme

Agnieszka Karczmarczyk, Agnieszka Bus, Anna Baryła
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Katedra Kształtowanie Środowiska,
Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
Agnieszka_karczmarczyk@sggw.pl

Wpłynęło: 9. 03.2015

Akceptowano do druku: 15.10.2015