

Wojciech Balcerzak, Bartosz Łuszczek

Próba oceny możliwości wykorzystania osadów z procesów klarowania wody do strącania związków fosforu w oczyszczalniach ścieków komunalnych

Osady powstające podczas oczyszczania wód powierzchniowych charakteryzują się znaczną zawartością związków glinu i żelaza, która jest wynikiem stosowania koagulantów w procesie klarowania wody [1–3]. Ograniczenia w wykorzystaniu osadów z klarowania wody, wynikające z uwarunkowań prawnych, w powiązaniu z jakością osadów zawierających często znaczną liczbę bakterii, wirusów i pasożytów, powodują konieczność ponoszenia znaczących kosztów związanych z zagospodarowaniem tych osadów [4, 5]. Dodatkowe koszty wynikają z konieczności prowadzenia procesów zagęszczania i odwadniania osadów w celu zmniejszenia ich objętości i wynikają między innymi ze zużycia energii, środków chemicznych (flokulantów) oraz są związane z eksploatacją specjalistycznych obiektów i urządzeń.

Sole glinu i żelaza mogą mieć szerokie zastosowanie zarówno w oczyszczaniu ścieków komunalnych, jak i w przeróbce osadów ściekowych. Najpopularniejsze z nich dotyczą strącania fosforu na różnych etapach oczyszczania ścieków, wiązania siarczków, ograniczenia zjawiska pęcznienia osadu oraz kondycjonowania osadów przed ich odwadnianiem [6–8]. Uwzględniając rozwiązania organizacyjne, łączące w ramach jednego przedsięwzięcia eksploatację zakładów oczyszczania wody oraz oczyszczalni ścieków, zasadne wydaje się dążenie do wykorzystania właściwości osadów z oczyszczania wody, wynikających z zawartości w nich związków glinu i żelaza [9, 10].

Cel i zakres badań

W strukturach MPWiK SA w Krakowie funkcjonują cztery stacje wodociągowe ujmujące wody powierzchniowe. W trzech z nich – „Raba”, „Rudawa” i „Dłubnia” procesy technologiczne obejmują między innymi koagulację objętościową i filtrację pospieszną oraz przeróbkę wód popłucznych i osadów pokoagulacyjnych. Jednocześnie w strukturach przedsiębiorstwa funkcjonują dwie mechaniczno-biologiczne oczyszczalnie ścieków – „Płaszów” i „Kujawy” z podwyższonym usuwaniem biogenów oraz

pełną przeróbką osadów ściekowych. W obydwu oczyszczalniach ścieków wykorzystywane są koagulanty żelazowe do symultanicznego strącania fosforu („Kujawy”) oraz w celu wiązania fosforu i kondycjonowania osadów prefermentowanych („Płaszów”) [11].

Celem badań była ocena możliwości wykorzystania osadów z oczyszczania wody pozwalająca na określenie potencjalnych zastosowań tych osadów w oczyszczalni ścieków oraz określenie kierunków dalszych badań. W ramach badań opisanych w niniejszym artykule przeprowadzono testy laboratoryjne usuwania fosforanów ze ścieków oraz z przefermentowanych osadów ściekowych, a także testy usuwania siarczków ze ścieków.

Metody badawcze

W testach strącania fosforanów zawartych w ściekach komunalnych wykorzystano osady pokoagulacyjne oraz osady z wód popłucznych pochodzące ze stacji wodociągowej „Dłubnia”. W celach porównawczych przeprowadzono testy z zastosowaniem komercyjnych koagulantów. Charakterystykę osadów z oczyszczania wody zamieszczono w tabeli 1, natomiast podstawową charakterystykę zastosowanych koagulantów podano w tabeli 2. Ścieki do testów strącania fosforanów pobrano z kanału dopływowego do oczyszczalni „Płaszów”. Z uwagi na opady atmosferyczne występujące w czasie prowadzenia badań w ściekach odnotowano względnie małą zawartość poszczególnych zanieczyszczeń:

- ChZT: 727 gO₂/m³,
- pH: 8,2,
- zawiesiny ogólne: 510 g/m³,
- fosforany: 1,87 gP/m³,
- siarczki: 0,013 gS²⁻/m³.

Przeprowadzono serię pięciu testów strącania fosforu w ściekach z zastosowaniem osadów pokoagulacyjnych, osadów z wód popłucznych i siarczanu żelaza(III) w zakresie dawek 0÷10 gFe/m³, a także chlorku poliglinu w ilości 0÷5 gAl/m³. Każdy test polegał na dawkowaniu odpowiedniego środka strącającego fosforany, mieszanii przez 5 min, sedymentacji w czasie 1,5 h oraz dekantacji. Próbkę ścieków po dekantacji przesączono przez filtr 0,45 μm i oznaczono pH (metodą elektrometryczną), zawartość fosforanów (metodą spektrofotometryczną z molibdenianem amonu) oraz zawartość siarczków (metodą spektrofotometryczną z błękitem metylenowym).

Dr hab. W. Balcerzak: Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Technologii Środowiskowych, ul. Warszawska 24, 30-155 Kraków
wb@vistula.wis.pk.edu.pl

Mgr inż. B. Łuszczek: Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji SA, ul. Senatorska 1, 30-106 Kraków
bartosz.luszczek@mpwik.krakow.pl

Tabela 1. Charakterystyka osadów z oczyszczania wody
Table 1. Water treatment sludge characteristics

Rodzaj próbki osadu		pH	ChZT gO ₂ /m ³	Azot amonyowy gN/m ³	Fosfor ogólny gP/m ³	Żelazo ogólne gFe/m ³	Glin gAl/m ³	Sucha masa %	Strata prażenia %
Osad pokoagulacyjny	osad	7,5	5850	<1,23	102	790	632	4,6	11,8
	przesącz*		14,4	0,07	0,09	0,1	0,03	–	–
Osad z wód popłucznych	osad		3100	9,98	48,2	110	195	1,4	16,4
	przesącz*		73,8	4,37	<0,01	0,1	0,03	–	–

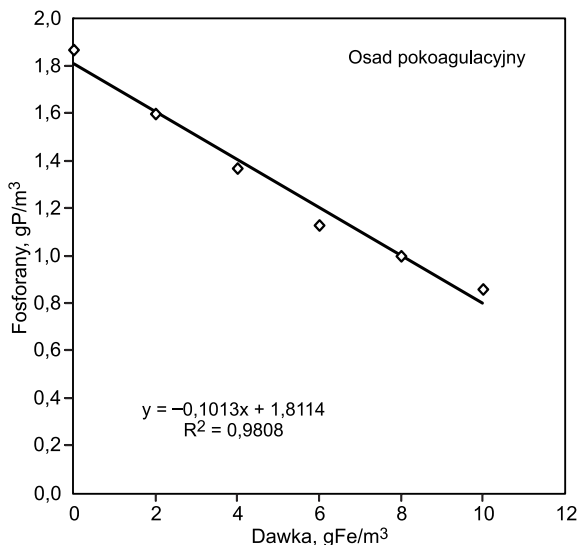
*probka przesączona przez filtr 0,45 μm

Tabela 2. Charakterystyka koagulantów
Table 2. Coagulant characteristics

Koagulant*	Żelazo ogólne %	Glin %	pH	Gęstość kg/m ³
Siarczan żelaza(III)	11,8	–	<1,0	1550
Chlorek poliglinu	–	8,2	1,0	1330

*roztwór wodny

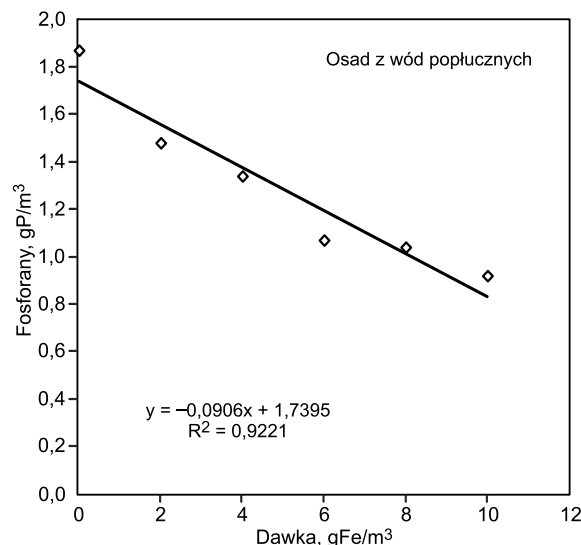
Do strącania fosforanów w osadzie przefermentowanym wykorzystano jedynie osad pokoagulacyjny. Próbkę osadu przefermentowanego pobrano z przelewu wydzielonej komory fermentacji w oczyszczalni „Płaszów” w której prowadzona jest fermentacja mezofilowa w czasie 20÷25 d i temperaturze około 38 °C. Osad przefermentowany zawierał 3,3% suchej masy (strata prażenia 59,4%), charakteryzował się pH równym 7,1, wartość jego ChZT wynosiła 29,6 kgO₂/m³, a zawartość fosforanów 194 gP/m³. Do osadu przefermentowanego wprowadzono osad pokoagulacyjny w dawkach 0÷708 gFe/m³ i tym samym utworzono mieszaninę o udziale objętościowym osadu pokoagulacyjnego w zakresie 0÷47,3%. Następnie osady mieszano przez 1 h, oddzielono zawiesiny poprzez wstępne odwirowanie (5000 obr./min) oraz przesączenie przez filtr 0,45 μm. W cieczy nadosadowej oznaczono fosforany metodą spektrofotometryczną z molibdenianem amonu.



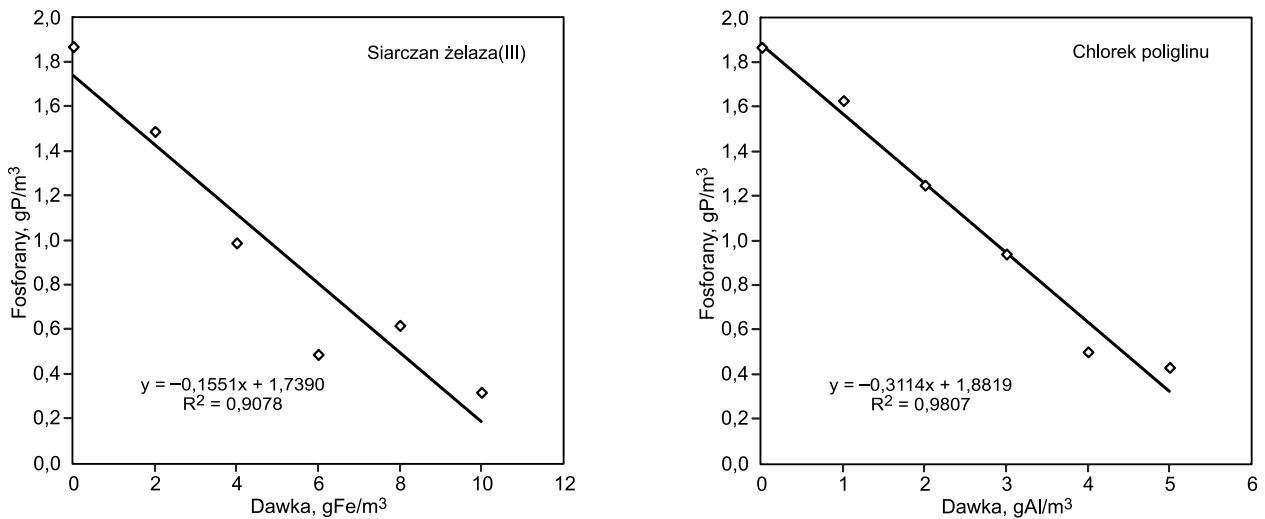
Omówienie wyników

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono zależności zawartości fosforanów od dawki środka strącającego. W przypadku typowych koagulantów testy wykazały konieczność zastosowania znacznie większych dawek niż spotykane w literaturze [12, 13]. Wyniosły one odpowiednio 6,4 gFe/gP (siarczan żelaza(III)) oraz 3,2 gAl/gP (polichlorek glinu) i były większe od dawek teoretycznych odpowiednio 3,5- i 3,7-krotnie. Przy zastosowaniu największej dawki obu rodzajów osadów, wynoszącej 10 g/m³, skuteczność strącania fosforanów wynosiła odpowiednio 54% (osad pokoagulacyjny) i 51% (osad z wód popłucznych) i była mniejsza niż po zastosowaniu siarczanu żelaza(III). Dawki jednostkowe osadów pokoagulacyjnych oraz osadów z wód popłucznych wynosiły odpowiednio 9,9 gFe/gP i 11,0 gFe/gP, tj. 1,5- i 1,7-krotnie większe niż w przypadku siarczanu żelaza(III). Praktyczna dawka objętościowa osadu pokoagulacyjnego, niezbędna do usunięcia ze ścieków 1 gP/m³, wynosiła 12,5 dm³/m³, natomiast odpowiednia dawka osadów z wód popłucznych wynosiła 100 dm³/m³. Pomimo niewielkiej zawartości siarczków w ściekach stwierdzono ich usuwanie w przypadku wszystkich testowanych środków (rys. 3).

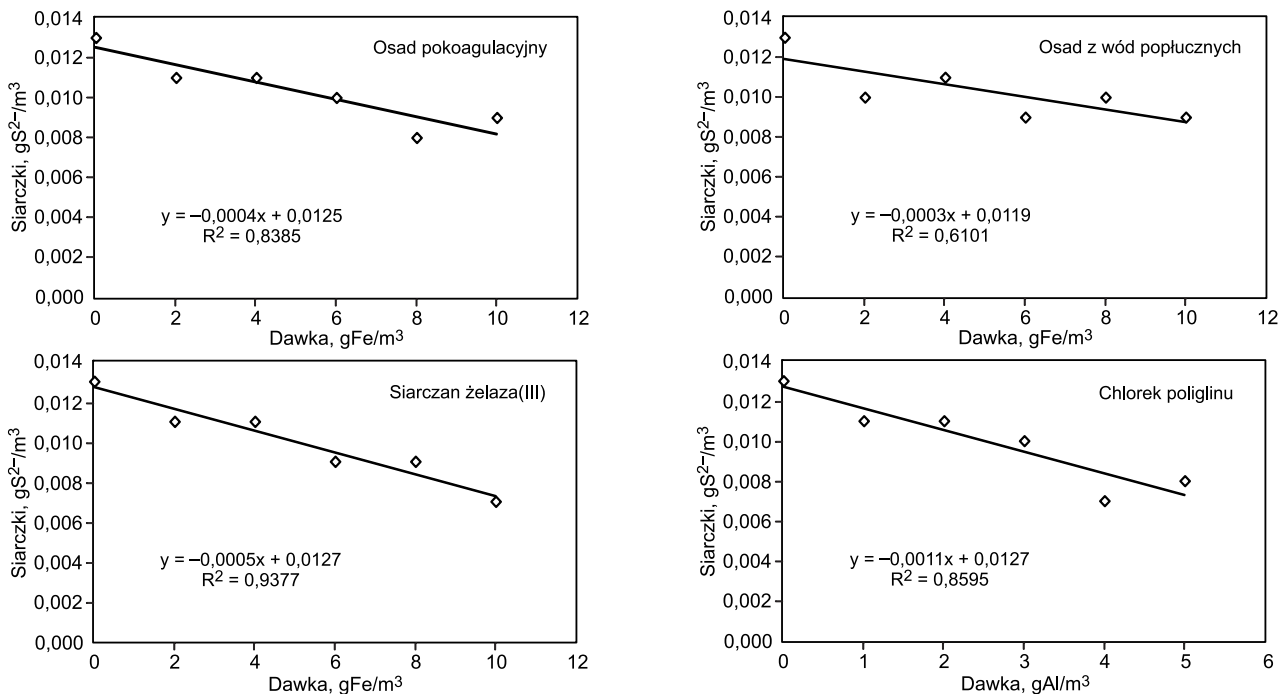
Uzyskana zależność strącania fosforu w osadach przefermentowanych (rys. 4) nie miała charakteru liniowego. Zwiększanie dawki skutkowało zmniejszaniem ilości fosforanów w filtracie, które asymptotycznie dążyło do zera. Z zależności pokazanej na rysunku 5 wynika możliwość



Rys. 1. Skuteczność usuwania fosforanów z zastosowaniem osadu pokoagulacyjnego i osadu z wód popłucznych
Fig. 1. Efficacy of phosphates removal with post-coagulation sludge and filter backwash sludge

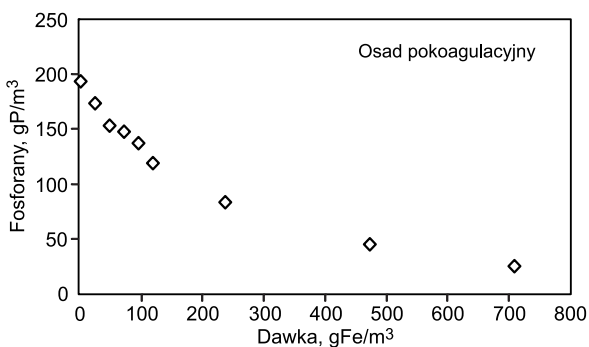


Rys. 2. Skuteczność usuwania fosforanów z zastosowaniem typowych koagulantów
Fig. 2. Efficacy of phosphates removal with commercial coagulants

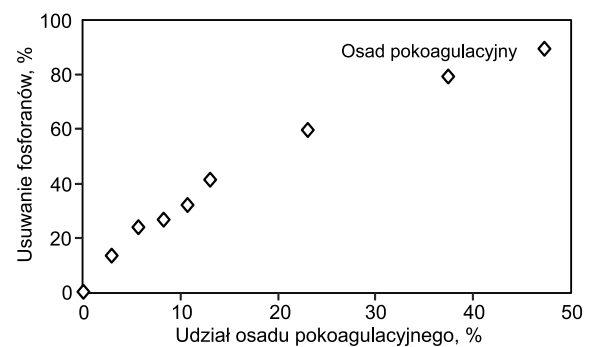


Rys. 3. Skuteczność usuwania siarczków z zastosowaniem osadu pokoagulacyjnego i osadu z wód popłucznych oraz typowych koagulantów

Fig. 3. Efficacy of sulphides removal with post-coagulation sludge and filter backwash sludge and with commercial coagulants



Rys. 4. Zależność zawartości fosforanów w odciekach z osadów przefermentowanych od dawki związków żelaza
Fig. 4. Correlation between phosphorus concentrations in digested sludge liquor and the iron dose



Rys. 5. Zależność skuteczności usuwania fosforanów z odcieków z odwadniania osadów od udziału osadów pokoagulacyjnych
Fig. 5. Correlation between efficacy of phosphates removal from digested sludge liquor and the share of post-coagulation sludge

uzyskania znacznego stopnia usuwania fosforanów około 90%, przy blisko 50% udziale osadu pokoagulacyjnego w mieszaninie. Przy małym udziale wynoszącym około 3% uzyskano skuteczność usuwania fosforanów około 13%. Wyznaczone dawki jednostkowe wzrastały znacząco wraz ze zwiększaniem udziału osadu pokoagulacyjnego w mieszaninie i zmieniały się od 0,91 gFe/gP (przy udziale 2,9%) do 4,1 gFe/gP (przy udziale około 47%).

Podsumowanie

Wyniki testów laboratoryjnych wskazują na możliwość wykorzystania w oczyszczalniach ścieków komunalnych zarówno osadów pokoagulacyjnych, jak i osadów z wód popłucznych powstających w procesach oczyszczania wód powierzchniowych. Określone dawki badanych osadów wskazują na znacznie większe możliwości praktycznego wykorzystania osadów pokoagulacyjnych niż osadów z wód popłucznych. Uzyskane w tym zakresie rezultaty były korzystne w przypadku ścieków komunalnych i wskazują na możliwość ograniczenia zużycia klasycznych koagulantów stosowanych do strącania związków fosforu. W badaniach stwierdzono także usuwanie siarczków, jednakże niezbędne jest wykonanie testów przy większej zawartości siarczków w ściekach, odpowiadającej typowym warunkom. Wyniki testów wiązania fosforu w przefermentowanych osadach ściekowych były znacznie mniej obiecujące, co było najprawdopodobniej związane z usuwaniem fosforanów w procesie adsorpcji.

Uzyskane wyniki wskazują na celowość rozważenia możliwości wykorzystania osadów z klarowania wody zarówno w samych oczyszczalniach ścieków, jak i przez ich wprowadzenie bezpośrednio do strumienia ścieków w sieci kanalizacyjnej. Dalsze prace w tym zakresie, oprócz pogłębienia wiedzy o mechanizmach badanego procesu, powinny koncentrować się także na ocenie ewentualnych negatywnych skutków związanych na przykład ze zwiększeniem masy osadów kierowanych do dalszej przeróbki, a także na ocenie aspektów ekonomicznych i eksploatacyjnych tego procesu.

LITERATURA

1. A. NOWACKA, M. WŁODARCZYK-MAKUŁA: Charakterystyka osadów powstających w procesach uzdatniania wody ze szczególnym uwzględnieniem osadów pokoagulacyjnych. *Technologia Wody* 2014, nr 6, ss. 34–39.
2. A.L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓŹ: Oczyszczanie wody. Podstawy teoretyczne i technologiczne, procesy i urządzenia. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
3. M.M. SOZAŃSKI [red.]: Technologia usuwania i unieszkodliwiania osadów z uzdatniania wody. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.
4. S. SZERZYNA: Możliwości wykorzystania osadów powstających podczas oczyszczania wody. Mat. konf. „Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013, t. 3, ss. 609–617.
5. M. LESZCZYŃSKA, M.M. SOZAŃSKI: Szkodliwość i toksyczność osadów i popłuczyn z procesu uzdatniania wody. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 2009, nr 40, ss. 575–585.
6. Z. DYMACEWSKI, J.A. OLESZKIEWICZ, M.M. SOZAŃSKI [red.]: Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. Oddział Wielkopolski PZITS, Poznań 2011.
7. M. HENZE, P. HARREMOËS, J.C. JANSEN, E. ARVIN: Oczyszczanie ścieków. Procesy biologiczne i chemiczne. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, Kielce 2000.
8. J. PODEDWORNA, K. UMIEJEWSKA: Technologia osadów ściekowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
9. M. KYNCL, S. CIHALOWA, M. JUROKOVA, S. LANGAROVA: Unieszkodliwianie i zagospodarowanie osadów z uzdatniania wody. *Inżynieria Mineralna* 2012, nr 2(30), ss. 11–20.
10. P. KRAJEWSKI, M.M. SOZAŃSKI: Możliwości i metody wykorzystania osadów z uzdatniania wody. *Technologia wody* 2010, nr 5, ss. 30–36.
11. B. ŁUSZCZEK: Problem ładunków powrotnych azotu i fosforu w odciekach z odwadniania osadów na przykładzie krakowskich oczyszczalni ścieków. *Instal* 2014, nr 4, ss. 47–51.
12. A.M. ANIELAK: Chemiczne i fizykochemiczne oczyszczanie ścieków. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
13. K. MIKSCH: Biotechnologia ścieków. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.

Balcerzak, W., Łuszczek, B. An Attempt at Assessment of Possibilities for Utilization of Sludge Produced During Water Clarification for Phosphorus Precipitation in Municipal Wastewater Treatment Plants. *Ochrona Środowiska* 2015, Vol. 37, No. 3, pp. 57–60.

Abstract: The results of laboratory studies aimed at an assessment of possibilities for utilization of water treatment sludge produced in municipal plants were presented. For this purpose, content analysis was performed for the sludge coming from surface water treatment systems of Krakow, taking account of post-coagulation sludge and filter backwash sludge specifics. The sludge samples were used in the laboratory tests for phosphorus precipitation in municipal sewage and digested sewage sludge from Krakow treatment plants. The amounts of sludge tested indicated much wider possibilities for management of the post-coagulation

compared to the backwash sludge. The results were clearly beneficial especially in case of the municipal sludge and pointed to a possible reduction in the amount of commercial coagulants applied to phosphorus precipitation. Additionally, sulfide removal from the sludge was noted. The study results indicate that it is purposeful to consider the possibility of utilization of sludge from water clarification, both in treatment plants alone and by introducing it directly into the sludge stream in a sewer system. Further studies should, beside extending the knowledge on the mechanisms of studied processes, focus on the evaluation of potential adverse effects related to e.g. increase in the amount of sludge directed for further processing as well as on the assessment of economic and operating aspects of the process.

Keywords: Water treatment sludge, coagulants, wastewater treatment, phosphorus removal.