

Elżbieta RADZYMIŃSKA-LENARCIK¹, Włodzimierz URBANIAK²,
Grażyna TOTCZYK³

¹WYDZIAŁ TECHNOLOGII I INŻYNIERII CHEMICZNEJ
UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

²WYDZIAŁ CHEMII
UNIwersytet im. Adama Mickiewicza, Poznań

³WYDZIAŁ BUDOWNICTWA, ARCHITEKTURY I INŻYNIERII ŚRODOWISKA,
UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy

ZAGOSPODAROWANIE OSADÓW POKOAGULACYJNYCH POWSTAŁYCH W PROCESIE UZDATNIANIA WODY

SLUDGE MANAGEMENT AFTER WATER TREATMENT PROCESS

Forming of deposits is an inherent part of water treatment processes. The amount of deposits, including post-coagulation ones, is still increasing, which results in the need to dispose of an increasing amount of contamination. Deposit that forms during water treatment process is waste, disposal of which is a serious problem. Disposal method depends mainly on physicochemical properties of deposits. One of the methods is usage for binding of hydrogen sulfide forming in sewage systems or hydrogen sulfide deriving from biogas that forms during anaerobic fermentation of sewage deposits; for remediation of land; in construction industry for production of cement, bricks and roof tiles or can be used for agricultural purposes. In Poland, disposal of such kind of waste is not unambiguously legally settled.

1. Wprowadzenie

Powstawanie osadów jest nieodłącznym elementem procesów uzdatniania wody. Ilość osadów, w tym pokoagulacyjnych, ciągle wzrasta, co wiąże się z koniecznością usuwania coraz większej ilości zanieczyszczeń. Osady powstające podczas uzdatniania wody są odpadami, których zagospodarowanie stanowi poważny problem. O sposobie zagospodarowania decydują głównie właściwości fizyko-chemiczne osadów.

Jednym ze sposobów jest wykorzystane do wiązania siarkowodoru powstającego w sieciach kanalizacyjnych lub siarkowodoru pochodzącego z biogazu powstającego podczas fermentacji beztlenowej osadów ściekowych; do rekultywacji terenów; w budownictwie do produkcji cementu, cegieł i dachówek lub mogą być przeznaczone na cele rolnicze. W Polsce zagospodarowanie tego typu odpadów nie jest jednoznacznie prawnie uregulowane.

Polska jest krajem o stosunkowo niewielkich zasobach wodnych, mniejszych niż w innych państwach Europy [1]. Ilość zużywanej wody na 1 mieszkańca w 2012 roku wynosiła 31,2 m³ [2]. Ujmowane na cele wodociągowe wody zawierają substancje pochodzenia naturalnego i antropogenicznego, które należy usunąć, aby woda była zdalna do picia. W tym celu stosowane są procesy technologiczne generujące odpady. Ich objętość wynosi od 2 do 5% objętości oczyszczanej wody [3].

Charakterystykę odpadów powstających w wybranych procesach jednostkowych stosowanych w stacjach uzdatniania wody przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka odpadów pochodzących z procesów
Table 1. Waste characteristic from processes used in Water Treatment Stations

nazwa procesu	odpady	zanieczyszczenia
koagulacja solami glinu bądź żelaza	uwodnione osady i popłuczyny o dużej zawartości glinu bądź żelaza	As, Ba, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn
odżelazianie, odmanganianie	uwodnione osady tlenków żelaza i manganu	Fe, Mn, As, Cd, Cr, Pb
dekarbonizacja metodą strącania	uwodnione osady węglanowe	As, Ba, Cd, Cr, Pb, ²²⁶ Ra
adsorbpcja	zużyty adsorbent	substancje organiczne, As, Ca, Cr, Pb,
wymiana jonowa	solanka, solanka kaustyczna obciążona fluorem i azotanami, solanka radioaktywna	As, Ba, Cd, Cr, Se, ²²⁶ Ra, F, NO ₃ ⁻
odwrócona osmoza	solanka	As, Cd, Cr, Se, ²²⁶ Ra
chemiczne utlenianie, dezynfekcja chlorem		THM-y, chloryny, chlorany, bromiany,

Z tabeli 1 wynika, że najwięcej szkodliwych zanieczyszczeń zawierają osady powstające podczas koagulacji, wymiany jonowej i dekarbonizacji. Jednak najwięcej osadów tworzy się w procesie koagulacji.

Do odpadów potehnologicznych powstających w stacjach uzdatniania wody, obok uwodnionych osadów pokoagulacyjnych, należą osady po procesie napowietrzania, osady powstające w procesie sedymentacji oraz zużyte wody (głównie popłuczyny z płukania złóż filtracyjnych i adsorpcyjnych, roztwory poregeneracyjne oraz ścieki po płukaniu urządzeń eksploatowanych w stacjach). Stanowią one poważny problem ekologiczny ze względu na dużą objętość oraz zawartość osadów wodorotlenku żelaza lub glinu, zanieczyszczeń występujących w ujmowanej wodzie (substancje mineralne i organiczne, glony, pierwotniaki i bakterie) oraz dodawanych chemikaliów [5,6].

Zgodnie z klasyfikacją odpadów określoną w Ustawie z dnia 14 grudnia 2012 roku o odpadach, osady i popłuczyny z uzdatniania wody należy traktować jako odpady niebezpieczne [7]. W stosunku do takich odpadów wymaga się wyznaczenia określonych parametrów charakteryzujących osad [4,8], takich jak:

- skład chemiczny osadu;
- zawartość substancji niebezpiecznych, w tym metali ciężkich;
- wymywalność tych zanieczyszczeń z osadu;
- wpływ czynników środowiskowych i czasu składowania na wymywalność;
- toksyczność osadu.

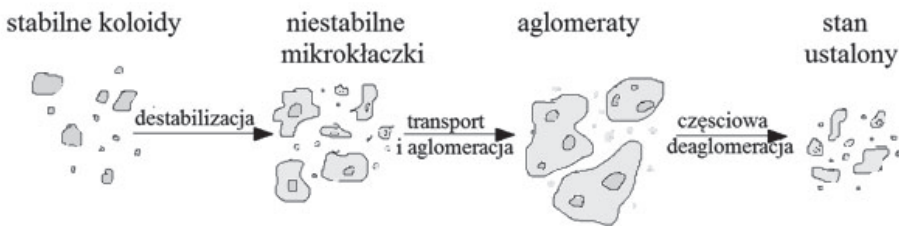
Bardzo często skład i wymywalność są głównymi kryteriami jakości odpadów i stanowią podstawę zarówno do ich klasyfikacji, jak i sposobu zagospodarowania. Toksyczność odpadów wyznacza się bardzo rzadko, a w Polsce prawie wcale. Nie stosuje się oznaczeń dotyczących toksyczności odpadów, mimo istniejących unormowań uniijnych w tym zakresie [4,9].

Skład i właściwości osadów z uzdatniania wody zależą od jakości surowej wody (zawartość zawiesin, mętność, intensywność barwy), metody uzdatniania oraz typu stosowanych reagentów. Najważniejszą grupę osadów, ze względu na możliwości zagospodarowania, stanowią osady z uzdatniania wody powierzchniowej w procesie koagulacji.

2. Charakterystyka osadów pokoagulacyjnych

Celem procesu koagulacji jest usunięcie z oczyszczanej wody substancji wpływających na mętność i barwę wody, a także związków żelaza, manganu i wybranych metali ciężkich oraz substancji organicznych i materii ożywionej np. planktonu [10,11]. Agencja Ochrony Środowiska USA udowodniła, że można skutecznie usunąć z wody arsen, kadm, rtęć, chrom i selen w omawianym procesie [11].

Kolejność procesów jednostkowych, które mają miejsce podczas koagulacji została przedstawiona na rys. 1.



Rys. 1. Mechanizm procesu koagulacji [12]

Pic 1. Coagulation process mechanism

Koagulacja może być prowadzona jako objętościowa, kontaktowa lub powierzchniowa. Koagulacja objętościowa realizowana jest w komorach mieszania współpracujących z osadnikami, natomiast kontaktowa prowadzona jest w osadnikach kontaktowych. Pierwszym i niezbędnym etapem tych koagulacji jest dodanie do uzdatnianej wody odpowiedniej dawki koagulantu i wymieszanie układu woda-koagulant w komorach szybkiego mieszania. Uśredniony czas mieszania wynosi ok. 1-3 min. Kolejnym etapem koagulacji jest flokulacja. W procesie tym powstają aglomeraty, które utworzone są w wyniku dysocjacji i hydrolizy koagulantu. Podczas koagulacji kontaktowej etap ten przeprowadzany jest w warstwie osadu zawieszonego w osadnikach kontaktowych, a w koagulacji objętościowej w komorach flokulacji (mieszania wolnego). W koagulacji kontaktowej usuwana jest tylko część kłaczków, pozostałość tworzy warstwę osadu zawieszonego, natomiast w koagulacji objętościowej aglomeraty w całości usuwane są z układu poprzez sedymentację w osadnikach. Koagulacja powierzchniowa stosowana jest do oczyszczania klarownych wód, o stałej i niewielkiej ilości zanieczyszczeń. Realizowana jest w złożu filtrów pośpiesznych, podczas przepływu uzdatnianej wody przez złoże filtracyjne (najczęściej złoże piaskowo-antracytowe). Koagulat dawkowy jest do wody bezpośrednio przed złożami filtracyjnymi, co eliminuje komory szybkiego mieszania. O skuteczności koagulacji powierzchniowej decydują właściwości katalityczne „wypracowanego” złoża filtracyjnego oraz pojemność złoża, uziarnienie materiału filtracyjnego czy prędkość filtracji [12].

We wszystkich sposobach prowadzenia koagulacji istotne jest stosowanie flokulantów jako środków wspomagających. Powstające kłaczkki są wówczas stabilniejsze.

O wyborze odpowiedniego sposobu koagulacji decyduje m.in. zawartość węgla organicznego oraz intensywność barwy i mętność wody.

Do koagulacji stosowane są dwa rodzaje koagulantów, niezhydrolizowane (sole glinu lub żelaza) oraz zhydrolizowane. Do koagulantów niezhydrolizowanych należą: siarczan glinu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, chlorek glinu AlCl_3 , glinian sodowy $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$, siarczan żelaza (II) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ siarczan żelaza (III) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, chlorek żelaza (III) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, koagulanty mieszane [13]. Siarczan glinu stosowany jest głównie do usuwania zanieczyszczeń organicznych oraz koloidów powodujących mętność i barwę wody. Jest on wrażliwy na niską temperaturę oczyszczanej wody. Negatywny wpływ temperatury można zminimalizować zapewniając optymalną wartość pH [13,14]. Koagulanty żelazowe tworzą cięższe i lepiej sedymentujące zawiesiny pokoagulacyjne oraz są mniej wrażliwe na niską temperaturę oczyszczanej wody. Jony żelaza mogą tworzyć ze związkami organicznymi rozpuszczonymi w wodzie barwne kompleksy, dlatego nie powinny być stosowane do oczyszczania wód, w których występują znaczne ilości takich związków. Zaletą soli żelaza jest ich mniejsza cena niż koagulantów glinowych oraz możliwość stosowania koagulacji zanieczyszczeń wody łącznie z dekarbonizacją wapnem. Koagulanty wstępnie zhydrolizowane zawierają grupy hydroksylowe, które zwiększają ich zasadowość i są wstępnie spolimeryzowane. Do koagulantów tych należą chlorki i siarczany poliglinu i poliżelaza (III), spośród których najczęściej stosowane są chlorki poliglinu. W porównaniu do soli glinu lub żelaza niezhydrolizowanych wstępnie, zaletą koagulantów wstępnie zhydrolizowanych jest większa skuteczność działania oraz związana z nią możliwość zmniejszenia wymaganych dawek, jak również obniżenie pH uzdatnianej wody [15-17]. Jest to szczególnie istotne, gdyż pH wody przekraczające wartość 7,5 (co ma miejsce w przypadku stosowania hydrolizujących koagulantów) może być powodem pojawienia się zwiększonej ilości glinu w oczyszczanej wodzie.

Związki glinu są szkodliwe dla zdrowia człowieka, powodują bowiem zwiększone ryzyko chorób mózgu np. Alzheimer [18]. Rozporządzenie Ministra Zdrowia [19] ogranicza maksymalną zawartość glinu w wodzie do 0,2 g Al/m³. Do zalet koagulantów wstępnie zhydrolizowanych należą również mniejsza wrażliwość na niską temperaturę uzdatnianej wody oraz powstawanie zawiesin pokoagulacyjnych o lepszych właściwościach sedymentacyjnych [12,14].

Ilość wytwarzanych osadów pokoagulacyjnych wynosi 0,1 ÷ 5,0 % dobowej wydajności zakładu oczyszczania wody [16,17,20]. Wszystkie tego typu osady są w bardzo dużym stopniu uwodnione, o czym świadczą dane zestawione w tabeli 2.

Tabela 2. Przykładowe uwodnienia osadów pokoagulacyjnych [20]
Table 2. Hydration sludge after coagulation

Rodzaj osadu	osady usuwane w sposób ciągły	osady usuwane okresowo	osady z klarowników
Uwodnienie, %	średnio 99,6	ok. 96,0-99,5	96,0-98,0

Uwodnienie osadów pokoagulacyjnych zależy od rodzaju osadnika, częstości usuwania osadów i przyjmuje wartości 96 ÷ 99,6% [20].

Obecność metali ciężkich w koagulantach wykryto w latach 80. XX wieku [21-23]. Ich zawartość w siarczanie glinu (Al₂(SO₄)₃) i w chlorku żelaza (FeCl₃) przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Zawartość metali ciężkich w typowych koagulantach [21]
Table 3. Heavy metals in coagulants

koagulant	zawartość metali ciężkich [mg/kg osadu]								
	As	Ba	Ca	Cr	Pb	Cu	Ni	Se	Zn
Al ₂ (SO ₄) ₃	214-270	< 5	0,5-7,5	16-24	< 0,5	0,2-5,3	< 5,0	84-104	0,5-2,3
FeCl ₃	108-122	5,0-7,0	0,5-59	do 568	0,5-332	32-840	1,5-114	129-150	69-7990

Z danych przedstawionych w tabeli 3 wynika, że preparaty glinowe zawierają mniej metali ciężkich w porównaniu do soli żelaza, za wyjątkiem arsenu, którego zawartość w osadach po koagulacji Al₂(SO₄)₃ jest dwukrotnie większa.

Zawartość metali ciężkich w osadach pokoagulacyjnych solami glinu przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Zawartość metali w osadach po koagulacji siarczanem glinu [21]
Table 4. Metals in sludge after coagulation aluminium sulfate [21]

zawartość metali ciężkich [mg/kg osadu]									
As	Ba	Mn	Cr	Pb	Cu	Ni	Sr	Zn	Hg
< 45	19-323	241-25350	1,8-592	9-120	2,9-412	24-131	20,2-160	3,5-2942	0,1-47

Z tabeli 4 wynika, że najwyższe stężenia zanotowano dla manganu i cynku, a najmniejsze dla rtęci i arsenu. Trudno jednoznacznie stwierdzić jaki jest skład jakościowy i ilościowy metali ciężkich w osadach pokoagulacyjnych, gdyż literatura na ten temat nie jest obszerna, a podawane dane są trudne do porównania. Jednakże można stwierdzić, że na obecność metali ciężkich w osadach wpływa przede wszystkim rodzaj i dawka zastosowanego koagulantu [4,20,24].

Do wody wraz z reagentami stosowanymi w procesie koagulacji oprócz wyżej wymienionych metali dostaje się także nikiel oraz związki organiczne, takie jak: dichloropropanol, dichloroamina, ftalany, akryloamid, kwas glikolowy [3,8,20,25].

Charakterystyka osadów z uzdatniania wody powierzchniowej i podziemnej odpowiednio koagulantami glinowymi i żelazowymi jest podana w tabeli 5. Osady zawierające glin, których skład podany jest w tabeli, pochodzą z zakładu uzdatniania wody Podhradí (Czechy) [3], w którym woda powierzchniowa uzdatniana jest w procesie jednostopniowej filtracji i koagulacji przy zastosowaniu koagulantu w postaci siarczanu glinu. Osady zawierające żelazo pochodzą z zakładu uzdatniania wody Hoštice [3], gdzie uzdatniana jest woda podziemna w procesie napowietrzenia i filtracji. Bardzo ważna jest zawartość w osadach metali ciężkich lub niektórych związków organicznych, jak np. chlorowane węglowodory.

Tabela 5. Charakterystyka osadów z uzdatniania wody [3]
Table 5. Sludge characteristics from water treatment [3]

Skład osadu	Osady zawierające glin			Osady zawierające żelazo	
	min.	max.	średnio	min.	max.
ubytek masy podczas prażenia, %	19,7	46,6	30,0	21,9	22,0
Al ₂ O ₃	14,5	44,6	26,0	0,08	0,17
Fe ₂ O ₃	1,3	10,4	3,8	53,0	64,0
MnO	0,13	2,0	0,2	0,35	2,2
CaO	1,0	3,4	1,9	2,5	6,2
MgO	0,25	1,3	0,7	0	1,0
pozostałe związki nieorganiczne	19,8	51,5	37,4	7,0	18,0

Zawartość w osadach pokoagulacyjnych metali ciężkich i toksycznych związków organicznych (np. chlorowane węglowodory) należy monitorować. Ma to podwójne znaczenie, gdyż wskazuje na ile osady są obciążone niebezpiecznymi związkami, które mogą niekorzystnie wpłynąć na możliwość ich wykorzystania.

3. Charakterystyka technologiczna stacji uzdatniania wody w Lubiczu [26]

Uzdatniana w Lubiczu woda pochodzi z ujęcia wody powierzchniowej rzeki Drwęca i z ujęcia wody infiltracyjnej w Jedwabnie. Technologia uzdatniania wody powierzchniowej polega na realizacji procesów: wstępnego ozonowania, koagulacji za pomocą koagulanta PAX-18 (roztwór chlorku poliglinu o zawartości glinu 17% w przeliczeniu na Al_2O_3 , stosowana jest dawka od 4 do 8 g Al/m³ wody), filtracji przez złożę antracytowo-piaskowe, wtórnego ozonowania, filtracji przez złożę węgla aktywnego i dezynfekcji za pomocą chloru i ditlenku chloru. Woda uzdatniona gromadzona jest w zbiornikach wyrównawczych, a następnie włączana do miejskiej sieci wodociągowej.

Powstające osady pokoagulacyjne transportowane są do zbiornika retencyjnego, w którym mieszają się z popłuczynami z filtrów antracytowo-piaskowych i węglowych. Następnie mieszanina kierowana jest na osadniki pionowe, w których następuje oddzielenie osadów i wód nadosadowych. Jako katalizator sedymentacji stosuje się polielektrolit: FLOPAM AN 923 SEP (średnioanionowy poliakryloamid w postaci proszkowej, stosowany w postaci roztworu o stężeniu 0,05% w dawce 1 g/m³ osadu kierowanego do osadników pionowych). Wody nadosadowe recyrkulowane są na początek ciągu technologicznego uzdatniania wody, do komór wstępnego ozonowania. Osady poddaje się zagęszczaniu mechanicznemu na prasie filtracyjnej. FLOPAM AN 923 SEP stosuje się jako środek wspomagający odwadnianie osadu, stosując dawki ok. 30 g/m³ nadawy na prasę (ok. 3 g/kg suchej masy). Następnie osady są okresowo składowane na terenie zakładu, po czym zostają przewiezione na składowisko odpadów komunalnych. Powstający odciek z prasy filtracyjnej zwracany jest do zbiornika retencyjnego popłuczyn i dalej do osadników pionowych.

Ilość uzdatnianej wody wynosi ok. 550 tys. m³ na miesiąc. W ciągu miesiąca powstaje ok. 80 ton osadów do zagospodarowania.

4. Zagospodarowanie odpadów

Zgodnie z ustawą o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. [7] odpady, których powstaniu nie udało się zapobiec i których negatywne oddziaływanie na środowisko musi zostać ograniczone, przed unieszkodliwieniem powinny zostać poddane odzyskowi. Jako odzysk rozumie się proces, dzięki któremu odpady będą służyły użytecznemu zastosowaniu przez zastąpienie innych materiałów, które w przeciwnym wypadku zostałyby użyte do spełnienia danej funkcji.

Osady, z których odzyskiwane są reagenty powinny być świeże, odwodnione oraz niekiedy wysuszone termicznie [27-30]. Ze względu na większą cenę koagulantów glinowych niż żelazowych bardziej opłacalne jest odzyskiwanie tych pierwszych.

Możliwości wykorzystania odpadów pot Technologicznych pochodzących ze stacji uzdatniania wody, głównie osadów pokoagulacyjnych i popłuczyn filtrów, były przedmiotem wielu badań w kraju i za granicą [3,11,16,20,25,29-33].

Na ich podstawie stwierdzono między innymi, że popłuczyny żelaziste, jako źródło dużej ilości żelaza odpadowego [31] mogą być wykorzystywane do wytwarzania koagulantów stosowanych w oczyszczaniu ścieków [3,14,17]; do utleniania ftalanów w procesie Fentona [33]; do wiązania siarkowodoru powstającego w sieciach kanalizacyjnych, czy pochodzącego z biogazu powstającego podczas fermentacji beztlenowej osadów ściekowych lub gnojowicy [16,25]. Uwodnione osady żelazowe powszechnie wykorzystywane są do wiązania siarkowodoru w Holandii i Stanach Zjednoczonych [16,25]. Osady pokoagulacyjne stosowane są także do usuwania fosforanów [14,28]. Osady zawierające żelazo lub glin można stosować w oczyszczaniu ścieków [3,16,20,24,34].

Osady pokoagulacyjne mogą także służyć jako wskaźniki zawartości niektórych metali ciężkich występujących w uzdatnianej wodzie w bardzo niskich stężeniach [20-22].

Badania wskazują, że możliwy jest odzysk koagulantów z osadów pokoagulacyjnych. Odzysk koagulantów glinowych z osadów pokoagulacyjnych jest uzasadniony wówczas, gdy zawartość $\text{Al}(\text{OH})_3$ w osadzie pokoagulacyjnym jest duża (średnio 25 %) [20,36] i może być on prowadzony z wykorzystaniem kwasów lub zasad. W praktyce stosuje się metodę polegającą na roztwarzaniu osadów glinowych w kwasie solnym lub siarkowym, w wyniku której powstają odpowiednio AlCl_3 i $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Osady zawierające substancje organiczne powinny być dodatkowo wyprażane w temp. $< 1000^\circ\text{C}$, aby zapewnić termiczną mineralizację tych substancji, a także powstanie łatwo rozpuszczającego się w środowisku kwaśnym ($\text{pH} = 1,5 - 2,5$) $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ [14]. Koagulant może być odzyskiwany wprost z osadu pokoagulacyjnego w wyniku ekstrakcji H_2SO_4 [20,37]. Koagulanty odzyskane z osadów pokoagulacyjnych mogą zawierać zaadsorbowane zanieczyszczenia (np. metale ciężkie). Z tego względu uzasadnione jest stosowanie tych reagentów do oczyszczania ścieków. Odprowadzanie osadów ze stacji uzdatniania wody do oczyszczalni ścieków komunalnych nie zmniejsza skuteczności oczyszczania ścieków lub fermentacji oraz odwadniania osadów ściekowych na prasach filtracyjnych [14,20].

Osady pokoagulacyjne można wykorzystywać jako surowiec wtórny do produkcji cementu, cegieł, dachówek, płytek i rur ceramicznych [11,17,25,29]. Z badań przeprowadzonych przez Luo i innych [11] wynika że, cement, do którego dodawany jest popiół zawierający związki glinu oraz krzemiany i powstający w wyniku spalania osadów z oczyszczania wody, charakteryzuje się większą trwałością i odpornością na korozję siarczanową. Osady pokoagulacyjne mogą być wykorzystywane podczas produkcji cegieł jako substytut gliny lub substancja nadająca barwę. Cegły wytworzone przy użyciu osadów o dużej zawartości żelaza charakteryzują się intensywnie czerwoną barwą [29]. O możliwości wykorzystania osadów w produkcji materiałów budowlanych decydują normy branżowe oraz konieczność uzyskania aprobaty technicznej dla wytworzonego produktu.

Interesującą możliwością zagospodarowania osadów pokoagulacyjnych jest wykorzystanie do rekultywacji terenów [35]. Istnieje możliwość wykorzystania zagęszczonych osadów do zabezpieczenia przed erozją wodną i wietrzną skarpy oraz powierzchni korony zamkniętego składowiska odpadów. Mogą być także wykorzystane w celu uporządkowania terenów, np. w celu sadzenia zieleni wzdłuż dróg [35,36,38].

Znaczącym kierunkiem zagospodarowania osadów pokoagulacyjnych jest wykorzystane w rolnictwie, jednakże nie zawsze jest to możliwe ze względu na obecność w nich metali ciężkich. Konieczne jest zbadanie śladowej zawartości zwłaszcza kadmu, ołowiu, rtęci, niklu, miedzi, chromu i cynku, aby nie przekraczała ona odpowiednio 20, 750, 16, 300, 1000, 500 i 2500 mg/kg suchej masy osadu [7]. Stwierdzono, że glin jest powszechnym składnikiem roślin. Jednak, gdy występuje w nadmiarze może wykazywać w stosunku do nich toksyczne działanie. Polega ono na zmianach w morfologii systemu korzeniowego, co doprowadza do zaburzeń w pobieraniu i transporcie składników pokarmowych roślin [39].

5. Podsumowanie

Osady powstające podczas oczyszczania wody stanowią istotny problem. O sposobie zagospodarowania osadów decydują głównie ich właściwości fizyko-chemiczne oraz skład chemiczny. Mogą one być wykorzystane do wiązania siarkowodoru powstającego w sieciach kanalizacyjnych lub siarkowodoru pochodzącego z biogazu powstającego podczas fermentacji beztlenowej osadów ściekowych; do rekultywacji terenów; w budownictwie do produkcji cementu, cegieł i dachówek lub może być przeznaczony na cele rolnicze. Uwodnione osady pokoagulacyjne mogą być wykorzystywane w technologii oczyszczania ścieków. Również należałoby propagować suszenie odpadów koagulacyjnych w suszarniach słonecznych i sprzedawanie cementowniom, które wykorzystają składniki mineralne i węgiel organiczny jako paliwo.

Ze względu na coraz większą presję na kompleksowe zagospodarowanie odpadów powstających w gospodarce komunalnej, należy oczekiwać pojawienia się nowych propozycji wykorzystania osadów pokoagulacyjnych, możliwych do zastosowania w praktyce i uwzględniających ograniczenia wynikające z obowiązujących uwarunkowań prawnych.

Praca wykonana w ramach projektu **UDA-POIG.01.04.00-30-012/10-00**

„Opracowanie technologii wytwarzania produktów nowej generacji na bazie odpadów organicznych” w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, Działanie 1.4.

Bibliografia

- 1) *Mały Rocznik Statystyczny Polski*. GUS Warszawa 2013.
- 2) *Ochrona Środowiska*. GUS Warszawa 2013.
- 3) Kyncyl M., Čihalov'a Š, Jurokov'a M., Langarov'a S.: *Unieszkodliwianie i zagospodarowanie osadów z uzdatniania wody*. Mineral Engineering Society, 11–20 (2012).
- 4) Leszczyńska M., Sozański M.M.: *Szkodliwość i toksyczność osadów i popłuczyn z procesu uzdatniania wody*. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 40, 575-585 (2009).
- 5) Piaskowski K., Sikora A.: *Charakterystyka ilościowo-jakościowa popłuczyn i osadów z uzdatniania wody podziemnej*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska, IV Kongres Inżynierii Środowiska, Monografia PAN nr 99, tom 1, Lublin 2012.
- 6) Świdarska R., Anielak A.M.: *Koagulacja wód powierzchniowych z udziałem substancji wspomagających*. *Rocznik Ochrona Środowiska* 6, 139–158 (2004).
- 7) *Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r.* Dz.U. Nr 2013, poz. 21.
- 8) Leszczyńska M.: *Substancje toksyczne w osadach*. *Przegląd Komunalny* 11, 102-105 (2001).
- 9) *EEC Directive 91/689/EEC of 12 December 1991 on Hazardous Waste*. Official Journal of the European Community. L 377, 31 December. Brussels. Belgium.
- 10) *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów*. Dz.U. 2014 poz. 1923.
- 11) Luo H.L., Kuo W.T., Lin D.F.: *The Application of Waterworks Sludge Ash to Stabilization the Volume of Cement Paste*. *Water Sci. Technol.* 57(2), 243–250 (2008).
- 12) Nawrocki J.: *Uzdatnianie wody, procesy chemiczne, fizyczne i biologiczne*. PWN, Warszawa 2010.
- 13) Gumińska J., Kłos M.: *Ocena możliwości optymalizacji procesu koagulacji – doświadczenia z eksploatacji układów technologicznych z sedymentacją i flotacją ciśnieniową*. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 5, 194-197 (2011).
- 14) Kowal A.L., Świdarska-Bróz M.: *Oczyszczanie wody*. PWN, Warszawa 2009.
- 15) Kłos M., Gumińska J.: *Wpływ zmiany rodzaju koagulantu na parametry procesu koagulacji*. *Ochrona Środowiska* 4, 73-76 (2007).
- 16) Jaroszyński T., Krajewski P., Grześkowiak K.: *Praktyczne wykorzystanie osadów żelazowych z procesów uzdatniania wody*. *Technologia wody*, 2, 26–33 (2011).
- 17) Korczak T., Krupa A.: *Porównanie skuteczności koagulantów PLX-113i ROFLOK SC10 oraz wytworzonych z popłuczyn żelazistych w usuwaniu zanieczyszczeń ze ścieków miejskich*. *Prace Naukowe Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej*. 82, 161–168 (2006).
- 18) Kabata-Pendias A.: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa 1999.
- 19) *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 27 listopada 2015 r., w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi*. Dz.U. 2015 poz. 1989.
- 20) Szerzyna S.: *Możliwości wykorzystania osadów powstających podczas oczyszczania wody*. www.eko-dok.pl/2013/71.pdf
- 21) Nowacka A., Włodarczyk-Makuła M.: *Charakterystyka osadów powstających w procesach uzdatniania wody ze szczególnym uwzględnieniem osadów pokoagulacyjnych*. *Nauka i Technika. Zaopatrzenie w wodę*, 6, 34-39 (2014).