

Zastosowanie koagulantów do oczyszczania fazy ciekłej z przetwarzania gnojowicy trzody chlewnej

Marta MARSZAŁEK*, Zygmunt KOWALSKI, Agnieszka MAKARA, Katarzyna STOKŁOSA – Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej, Politechnika Krakowska, Kraków; Zakłady Drobiarskie „Koziegłowy” Sp. z o.o. Koziegłowy

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2014, 68, 3, 227–234

Wstęp

Gnojowica świńska jest produktem odpadowym konsystencji płynnej, powstającym w warunkach bezściółkowego chowu trzody chlewnej. Stanowi ona niejednorodną mieszaninę stałych i ciekłych odchodów zwierzęcych (40% kału i 60% moczu), resztek paszy oraz wody technologicznej, pochodzącej ze zmywania stanowisk i przecieków z urządzeń do pojenia zwierząt [1 ÷ 4]. Skład i właściwości fizykochemiczne gnojowicy trzody chlewnej są zróżnicowane i zależą od wielu czynników, takich jak: rodzaj i wiek zwierząt, system żywienia i utrzymania, skład zadawanej paszy, stopień rozcieńczenia gnojowicy wodą, sposób przechowywania. Typowa gnojowica trzody chlewnej charakteryzuje się odczynem lekko zasadowym, zawartością suchej masy na poziomie ok. 7%, wysoką zawartością makroskładników nawozowych (azot, fosfor, potas), wysokim biochemicznym i chemicznym zapotrzebowaniem tlenu (BZT i ChZT) oraz dużym udziałem populacji drobnoustrojów [1 ÷ 3, 5].

Ogromne ilości gnojowicy generowane podczas bezściółkowej hodowli trzody chlewnej wymagają racjonalnego wykorzystania, przetworzenia lub unieszkodliwienia. Obecnie gnojowica stosowana jest powszechnie do nawożenia użytków rolnych i zielonych [1 ÷ 7]. Jest to najbardziej właściwe z punktu widzenia ochrony środowiska, i uzasadnione ekonomicznie, rozwiązanie, ponieważ gnojowica zawiera wszystkie niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin składniki pokarmowe (zarówno w formach organicznych jak i mineralnych), głównie łatwo dostępny azot, fosfor i potas, co może przyczynić się do ograniczenia użycia nawozów mineralnych [1, 5, 6]. Niestety, ze względu na dopuszczalne dawki (170 kg azotu w czystym składniku na 1 hektar użytków rolnych na rok) i ograniczoną ilość agrotechnicznych terminów stosowania gnojowicy (od 1 marca do 30 listopada) na obszarach o wysokiej koncentracji ferm trzody chlewnej, gdzie mamy do czynienia z deficytem pól uprawnych, gdzie możliwa jest aplikacja gnojowicy, często występuje trudność z zagospodarowaniem jej nadwyżek [4, 7, 8]. Niewykorzystana do celów nawozowych gnojowica musi być składowana w odpowiednio dużych zbiornikach, co generuje koszty oraz znacząco wpływa na środowisko naturalne (możliwa emisja odorów i gazów cieplarnianych, zanieczyszczenie wód gruntowych i powierzchniowych oraz gleb na skutek przecieków) [2, 4 ÷ 7, 9, 10]. Nadwyżki gnojowicy wykorzystuje się w niewielkim stopniu do produkcji biogazu i kompostu, jednak metody te mają szereg ograniczeń (prawidłowe przygotowanie gnojowicy do procesu, dobór współsubstratów o odpowiednich właściwościach, zagospodarowanie odcieków z bioreaktora) i nie pozwalają na całkowitą utylizację nadmiaru wyprodukowanej gnojowicy [2, 4, 6, 7, 10]. Rozwiązaniem tego problemu może stać się rozdzielanie przetworzonej (poddanej obróbce fizykochemicznej) gnojowicy na frakcję stałą i ciekłą przy użyciu filtracji ciśnieniowej, a następnie dalsze oczyszczanie uzyskanej frakcji ciekłej do parametrów jakościowych wody nadającej się do ponownego użycia na fermie, np. do celów higieniczno-porządkowych.

Doczyszczanie fazy ciekłej przetworzonej gnojowicy świńskiej można zrealizować przy użyciu koagulantów, które są szeroko

stosowane w oczyszczaniu wody, ścieków komunalnych, ścieków przemysłowych (np. z przemysłu spożywczego, skórzanego, kosmetycznego, hutniczego, koksowniczego) czy też odcieków ze składowisk odpadów stałych. Ważną rolę w procesie oczyszczania ścieków na drodze koagulacji odgrywa dobór odpowiedniego rodzaju koagulantu i jego dawki (efektywność usuwanych zanieczyszczeń) oraz ilość i właściwości sedymentacyjne osadu [11, 12]. W ostatnich latach dużym zainteresowaniem cieszą się koagulanty żelaza trójwartościowego, zwłaszcza stosunkowo tani chlorek żelaza(III) oraz koagulanty wstępnie zhydrolizowane, przede wszystkim chlorek poliglinu charakteryzujący się zwiększoną zasadowością. Zdaniem wielu autorów badań, wstępnie zhydrolizowany chlorek poliglinu wykazuje dużą efektywność usuwania zanieczyszczeń, jest mniej wrażliwy na zmiany temperatury i odczynu oczyszczanych ścieków, powoduje także znacznie mniejszą intensyfikację korozyjności wody po koagulacji niż siarczan(VI) glinu [11 ÷ 13].

Część eksperymentalna

Cel, materiały i metodyka badań

Celem przeprowadzonych badań było oczyszczenie frakcji ciekłej przetworzonej gnojowicy trzody chlewnej, z wykorzystaniem dostępnych w handlu koagulantów. Skuteczność procesu oczyszczania oceniono na podstawie jakości fazy ciekłej otrzymanej po procesie koagulacji i sedymentacji oraz przesączeniu.

Materiał do badań stanowiła frakcja ciekła (filtrat) przetworzonej gnojowicy świńskiej oraz dwa koagulanty firmy Scandriil Polska S.C. o handlowych nazwach SCANPOL 40 i SCANPOL 87. Wg kart charakterystyki [14, 15] dostarczonych przez producenta SCANPOL 40, to wodny roztwór chlorku żelaza(III) z zawartością kwasu solnego ($\text{FeCl}_3 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$), natomiast SCANPOL 87, to wodny roztwór chlorku poliglinu. Informacje na temat podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych koagulantów zastosowanych do oczyszczania fazy ciekłej przetworzonej gnojowicy świńskiej przedstawiono w Tabelicy 1.

Faza ciekła użyta w badaniach została otrzymana w wyniku fizykochemicznej obróbki gnojowicy trzody chlewnej (pobranej z wielkoprzemysłowej fermi hodowlanej zlokalizowanej na terenie województwa wielkopolskiego) oraz jej rozdziału z zastosowaniem filtracji ciśnieniowej. Obróbka fizykochemiczna, która polegała na mineralizacji składników gnojowicy kwasem fosforowym i siarkowym, zobojętnieniu zawiesiną mleka wapiennego, wzbogaceniu superfosfatem oraz ogrzewaniu, miała na celu uzyskanie frakcji stałej i ciekłej o odpowiednich parametrach jakościowych. Fizykochemiczne właściwości otrzymanej frakcji ciekłej przedstawiono w Tabelicy 2.

W dalszym etapie badań, frakcja ciekła została poddana działaniu handlowych koagulantów SCANPOL 40 i SCANPOL 87. Do stałej objętości filtratu, która wynosiła 200 ml, dodawano zmienne dawki koagulantów: 250 μl , 375 μl , 500 μl , 625 μl , 750 μl , 875 μl i 1000 μl w przypadku koagulantu SCANPOL 40 oraz 250 μl , 500 μl , 750 μl , 1000 μl , 1250 μl i 1500 μl w przypadku koagulantu SCANPOL 87; następnie całość mieszało na mieszadle magnetycznym przez 5 min z prędkością obrotową wynoszącą 50 obr./min, po czym pozostawiono

Autor do korespondencji:
Mgr inż. Marta MARSZAŁEK, e-mail: martamarszalek@indy.chemia.pk.edu.pl

na 30 min w celu sedimentacji zawiesiny ciała stałego, zdekantowano i przesączono. We wszystkich próbkach fazy ciekłej otrzymanych po zastosowaniu koagulantów i oddzieleniu osadu, oznaczono barwę, mętność, pH oraz chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT). Dodatkowo, dla próbek filtratu do oczyszczenia których użyto koagulantu SCANPOL 40, wykonano oznaczenia fosforu i siarki.

Tablica 1.

Wybrane właściwości fizykochemiczne testowanych koagulantów [14, 15]

Parametr	SCANPOL 40	SCANPOL 87
Skład	chlorek żelaza (III) < 20 %wag. kwas solny 0,5 – 1 %wag.	chlorek poliglinu < 20 %wag.
Postać	ciecz	ciecz
Barwa	ciemnobrązowa	od bezbarwnej do jasnożółtej
Zapach	o lekkim zapachu kwasu solnego	slaby
Gęstość	1400 – 1480 kg/m ³	1130 – 1350 kg/m ³
pH	ok. 1,5	ok. 2
Temperatura wrzenia	100 – 105°C	100 – 105°C
Temperatura zamarzania	- 25°C	- 15°C
Temperatura zapłonu	produkt niepalny	produkt niepalny
Rozpuszczalność w wodzie	w stopniu nieograniczonym	w stopniu nieograniczonym
Rozpuszczalność w rozpuszczalnikach organicznych	nie rozpuszcza się	nie rozpuszcza się

Tablica 2

Fizykochemiczne właściwości frakcji ciekłej przetworzonej gnojowicy świńskiej

Parametr	Jednostka	Wartość
ChZT	mg/dm ³	2606
Barwa (λ 436 nm)	mg Pt/dm ³	2224
Mętność	NTU	36
pH	-	8,45
Temperatura	°C	21,5
Fosfor	mg/dm ³	0,84
Siarka	mg/dm ³	1117

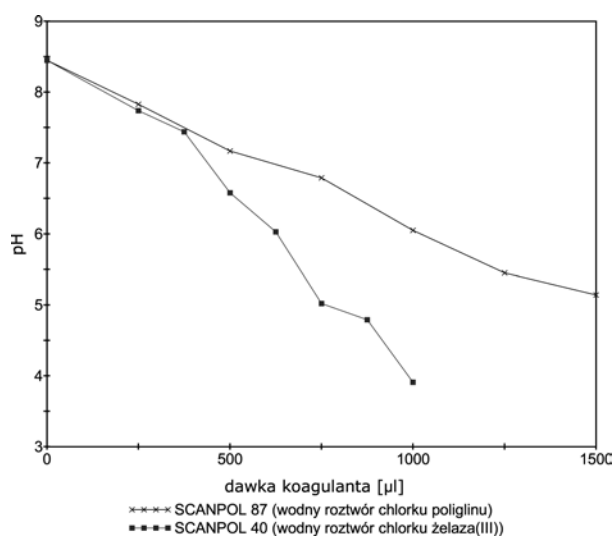
Oznaczenie ChZT wykonano metodą miareczkową dwuchromianową zgodnie z normą PN-ISO 6060:2006 [16]. Proces mineralizacji próbek filtratu przeprowadzono w mineralizatorze M-9 firmy WSL. Oznaczenie barwy wykonano zgodnie z normą PN-EN

ISO 7887:2002 metodą spektrofotometryczną (długość fali 436 nm) przy użyciu spektrofotometru NANOCOLOR UV/VIS firmy MACHEREY-NAGEL [17]. W związku z tym, iż barwa często zależy od temperatury i pH próbki, równoległe z pomiarami spektrofotometrycznymi zmierzono za pomocą pH-metru SevenEasy firmy Mettler Toledo temperaturę i pH analizowanych filtratów. Oznaczenie mętności wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 7027:2003 metodą nefelometryczną przy długości fali promieniowania padającego 860 nm z zastosowaniem spektrofotometru NANOCOLOR UV/VIS firmy MACHEREY-NAGEL posiadającego wbudowany nefelometr [18]. Zawartość fosforu i siarki oznaczono metodą ICP-OES przy użyciu spektrofotometru emisyjnego z plazmą wzbudzoną indukcyjnie PLASM 40 firmy Perkin Elmer.

Wyniki i dyskusja

Zastosowanie koagulantów do oczyszczania fazy ciekłej przetworzonej gnojowicy świńskiej spowodowało w każdym analizowanym przypadku obniżenie wartości wszystkich badanych parametrów, tj. barwy, mętności, pH, chemicznego zapotrzebowania tlenu oraz zawartości fosforu i siarki.

Faza ciekła przeznaczona do oczyszczania, charakteryzowała się odczynem zasadowym (pH=8,45). Z uwagi na fakt, iż pH koagulantów wynosiło ok. 2, każdorazowy dodatek koagulantów SCANPOL 40 i SCANPOL 87 powodował obniżenie wartości pH oczyszczanego filtratu (im wyższa dawka koagulantu tym niższa wartość pH oczyszczanej fazy ciekłej) (Rys. 1). Wartość pH filtratu po dodaniu najwyższej dawki chlorku poliglinu (1500 μ l) i chlorku żelaza(III) (1000 μ l) wyniosła odpowiednio 5,14 i 3,91.

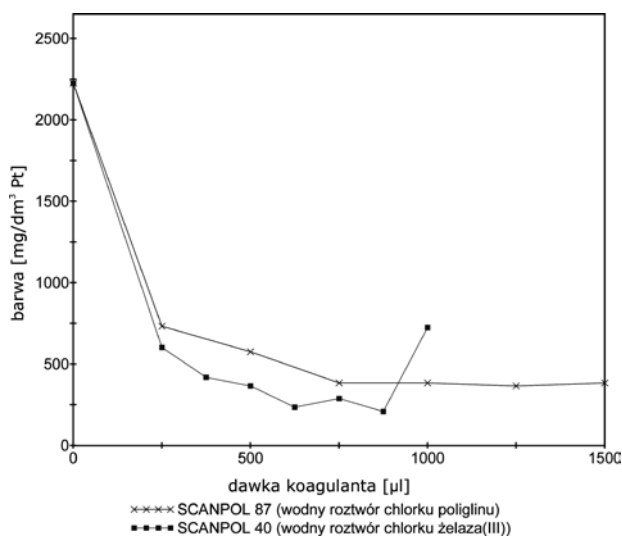


Rys. 1. Wpływ dawki koagulantu na wartość pH oczyszczanej fazy ciekłej

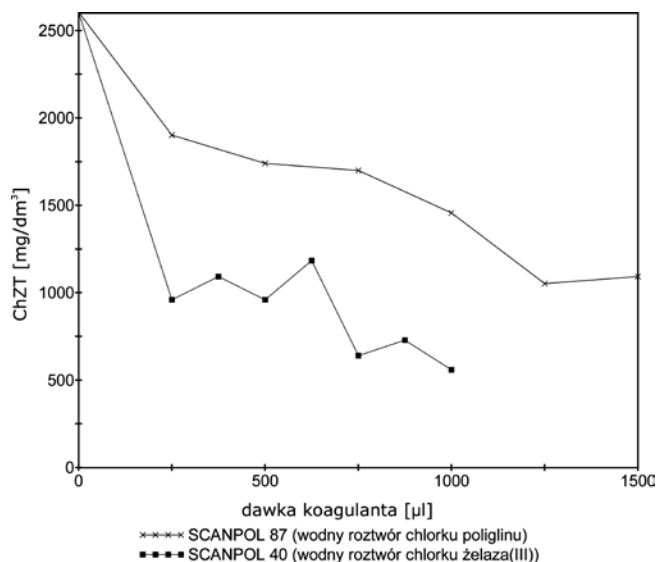
Jakość oczyszczanej fazy ciekłej określono między innymi na podstawie wykonanych oznaczeń barwy i mętności. Mętność filtratu użytego do badań, spowodowana obecnością cząstek stałych pochodzenia organicznego i nieorganicznego, wynosiła 36 NTU. Pomiary mętności wykonane w próbkach fazy ciekłej, do których dozowano koagulanty, wskazywały na znaczne obniżenie mętności. Mętność oczyszczonych próbek filtratu, niezależnie od zastosowanej dawki koagulantu SCANPOL 87, nie przekraczała wartości 1 NTU, co świadczy o wysokiej skuteczności usuwania mętności (ok. 97%) przez ten preparat. W przypadku koagulantu SCANPOL 40, próbki oczyszczonego filtratu wykazywały mętność poniżej 1 NTU po zadozowaniu 875 μ l i 1000 μ l koagulantu. Natomiast mętność oczyszczonych próbek fazy ciekłej, do których zaaplikowano 250 μ l, 500 μ l i 750 μ l chlorku żelaza(III) zawierała się w zakresie 1–3 NTU.

Przedmiotem badań oczyszczanego filtratu była także barwa (Rys. 2). Wykonano pomiary barwy rzeczywistej, czyli barwy cieczy

klarownej, po usunięciu mętności wywołanej przez substancje rozpuszczone [17]. Faza ciekła poddana oczyszczaniu posiadała ciemnożółtą barwę, która w skali platynowo-kobaltowej przyjmowała wartość 2224 mg Pt/dm³. Dodatek koagulanta SCANPOL 87, wraz ze zwiększeniem dawki do 750 µl, powodował wyraźne zmniejszenie intensywności barwy, aż do uzyskania bladożółtego zabarwienia próbek filtratu (384 mg Pt/dm³). Zwiększanie dawki chlorku poliglinu nie przyczyniło się do dalszego obniżenia barwy. Dodatek koagulanta SCANPOL 40 w zakresie 250–875 µl skutkowało zmniejszeniem intensywności zabarwienia oczyszczanych próbek fazy ciekłej. Zwiększenie dawki chlorku żelaza(III) do 1000 µl doprowadziło do wtórnego zabarwienia (koagulant jest cieczą o ciemnobrązowej barwie) oczyszczanego filtratu. Największe obniżenie barwy odnotowano w próbce, do oczyszczania której zastosowano SCANPOL 40 w dawce 875 µl; taki dodatek koagulanta spowodował obniżenie barwy do wartości 209 mg Pt/dm³ (ok. 91%).



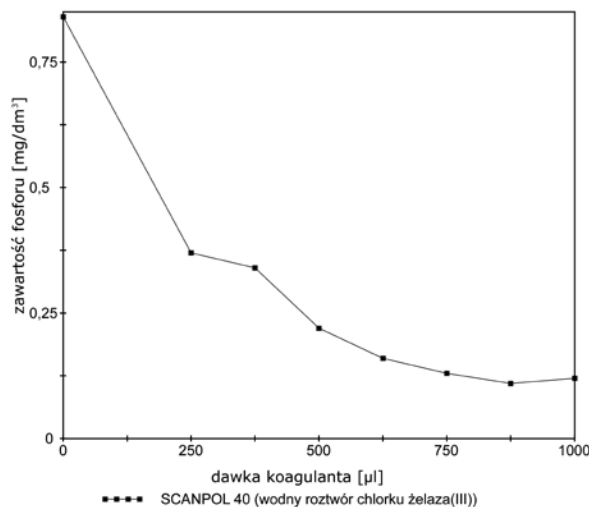
Rys. 2. Wpływ dawki koagulanta na zawartość zanieczyszczeń barwnych w oczyszczanej fazie ciekłej



Rys. 3. Wpływ dawki koagulanta na wartość parametru ChZT w oczyszczanej fazie ciekłej

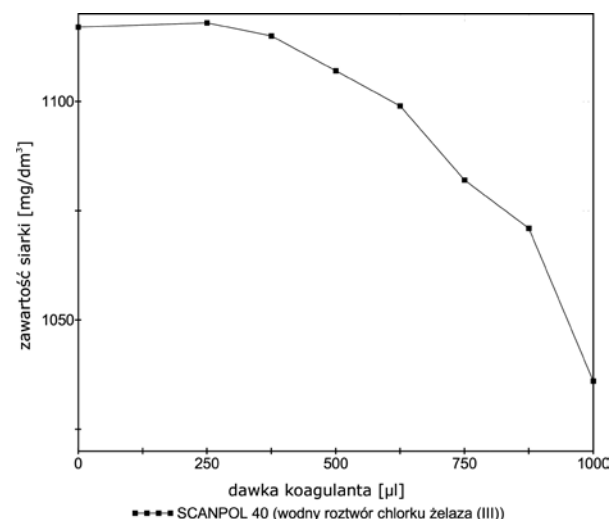
Najistotniejszym parametrem w ocenie efektywności procesu oczyszczania fazy ciekłej przetworzonej gnojowicy świńskiej, jest chemiczne zapotrzebowanie tlenu, na podstawie którego możemy wnioskować o zawartości związków organicznych w analizowanych próbkach filtratu. ChZT fazy ciekłej użytej do procesu oczyszczania, wynosiło 2606 mg/dm³. Zastosowanie koagulantów spowodowało obniżenie wartości ChZT w oczyszczanych próbkach filtratu (Rys. 3).

Dodatek SCANPOL 87, wraz ze wzrostem dawki do 1250 µl, skutkowało obniżeniem wartości parametru ChZT do 1052,5 mg/dm³ (ok. 60%). W przypadku zastosowania SCANPOL 40, parametr ChZT przyjmował zróżnicowane wartości, przy czym największe obniżenie ChZT do wartości 560 mg/dm³ (ok. 78,5%) uzyskano przy zastosowaniu najwyższej dawki chlorku żelaza(III), tj. 1000 µl.



Rys. 4. Wpływ dawki koagulanta SCANPOL 40 na zawartość fosforu w oczyszczanej fazie ciekłej

Porównując skuteczność oczyszczania fazy ciekłej przetworzonej gnojowicy świńskiej przez handlowe koagulanty SCANPOL 40 i SCANPOL 87 można stwierdzić, że lepsze rezultaty usunięcia związków organicznych uzyskano przy użyciu koagulanta na bazie chlorku żelaza(III). Zanieczyszczenia barwne skuteczniej usuwane były także przez SCANPOL 40, ale tylko w zakresie dawek 250–875 µl. Do obniżenia mętności korzystnie jest zastosować koagulant SCANPOL 87 (wodny roztwór chlorku poliglinu), ponieważ już 250 µl tego produktu powoduje redukcję mętności do wartości poniżej 1 NTU, czyli do wartości, jaką zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. [19], powinna się cechować woda przeznaczona do spożycia.



Rys. 5. Wpływ dawki koagulanta SCANPOL 40 na zawartość siarki w oczyszczanej fazie ciekłej

Dla próbek fazy ciekłej, do oczyszczenia których użyto koagulanta SCANPOL 40, wykonano także oznaczenia fosforu i siarki. Filtrat użyty do badań charakteryzował się dość niską (dzięki zastosowanej obróbce fizykochemicznej) zawartością fosforu, która wynosiła 0,84 mg/dm³ oraz stosunkowo wysoką zawartością siarki

– 1117 mg/dm³. Zastosowany reagent skutecznie obniżył zawartość fosforu w próbkach oczyszczanej fazy ciekłej (Rys. 4). Stężenie fosforu obniżyło się wraz ze wzrostem dawki koagulantu do wartości 0,11 mg/dm³ (ok. 87%).

Dodatek koagulantu zawierającego chlorek żelaza(III) skutkował niewielkim obniżeniem zawartości siarki w analizowanych próbkach fazy ciekłej (Rys.5). Stężenie siarki obniżyło się wraz ze wzrostem dawki preparatu do wartości 1036 mg/dm³ (ok. 7%).

Wnioski

Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że koagulanty odgrywają istotną rolę w oczyszczaniu płynnych odpadów z produkcji trzody chlewnej, a ich wykorzystanie do oczyszczania fazy ciekłej pochodzącej z przetworzonej gnojowicy świńskiej jest działaniem celowym i korzystnym. Zastosowanie koagulantów polepszyło fizykochemiczne właściwości analizowanych próbek filtratu poprzez obniżenie wartości parametrów o kluczowym znaczeniu dla oceny skuteczności procesu oczyszczania, takich jak barwa, mętność i ChZT. Najlepsze rezultaty pod względem redukcji wartości ChZT (ok. 78,5%) i barwy (ok. 91%) uzyskano przy zastosowaniu koagulantu SCANPOL 87 (wodny roztwór chlorku żelaza(III) z zawartością kwasu solnego) odpowiednio przy dawce 1000 µl i 875 µl. Najwyższe obniżenie mętności (ok. 97%) odnotowano przy aplikacji koagulantu SCANPOL 40 (wodny roztwór chlorku poliglinu) w dawce 250 µl. Wykazano także, iż koagulant SCANPOL 87 efektywnie obniża zawartość fosforu (o ok. 87%) w oczyszczanych próbkach fazy ciekłej z przetwarzania gnojowicy świńskiej.

Badania wykonano w ramach projektu rozwojowego NR I4-0003-10/2010 ufundowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Literatura:

- Kutera J.: *Gospodarka gnojowicą*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu 1994.
- Chelme-Ayala P., Gamal El-Din M., Smith R., Code K.R., Leonard J.: *Advanced treatment of liquid swine manure using physico-chemical treatment*. Journal of Hazardous Materials 2011, **186**, 1632–1638.
- Hjorth M., Christensen K.V., Christensen M.L., Sommer S.G.: *Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review*. Agronomy for Sustainable Development 2010, **30**, 153–180.
- Konieczny K., Kwiecińska A., Gworek B.: *The recovery of water from slurry produced in high density livestock farming with the use of membrane processes*. Separation and Purification Technology 2011, **80**, 490–498.
- Hjorth M., Nielsen A.M., Nyord T., Hansen M.N., Nissen P., Sommer S.G.: *Nutrient value, odour emission and energy production of manure as influenced by anaerobic digestion and separation*. Agronomy for Sustainable Development 2009, **29**, 329–338.
- Imbeah M.: *Composting piggy waste: A review*. Bioresource Technology 1998, **63**, 197–203.
- Karakashev D., Schmidt J.E., Angelidaki I.: *Innovative process scheme for removal of organic matter, phosphorus and nitrogen from pig manure*. Water Research 2008, **42**, 4083–4090.
- Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu, Dz.U. 2007 nr 147 poz. 1033.
- Nicholson R. J., Webb J., Moore A.: *A review of the environmental effects of different livestock manure storage systems, and a suggested procedure for assigning environmental ratings*. Biosystems Engineering 2002, **81**, 4, 363–377.
- Gonzalez-Fernandez C., Nieto-Diez P.P., Leon-Cofreces C., Garcia-Encina P.A.: *Solids and nutrients removals from the liquid fraction of swine slurry through screening and flocculation treatment and influence of these processes on anaerobic biodegradability*. Bioresource Technology 2008, **99**, 6233–6239.
- Przywara L.: *Oczyszczanie ścieków tłuszczowych z zastosowaniem procesu koagulacji*. Inżynieria Ekologiczna 2013, **32**, 139–146.
- Naumczyk J., Marcinowski P., Bogacki J., Wiliński P.: *Oczyszczanie ścieków z przemysłu kosmetycznego za pomocą procesu koagulacji*. Annual Set The Environment Protection 2013, **15** (1), 873–891.
- Krupińska I.: *Koagulanty wstępnie zhydrolizowane*. Zeszyty Naukowe. Inżynieria Środowiska/Uniwersytet Zielonogórski 2011, **141** (21), 126–136.
- Karta charakterystyki SCANPOL 40 (2012).
- Karta charakterystyki SCANPOL 87 (2012).
- PN-ISO 6060:2006. Jakość wody – Oznaczenie chemicznego zapotrzebowania tlenu.
- PN-EN ISO 7887:2002, Jakość wody. Badanie i oznaczanie barwy.
- PN-EN ISO 7027:2003, Jakość wody. Oznaczenie mętności.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 roku (Dz.U. 2010 nr 72 poz. 466).

* Mgr inż. Marta MARSZAŁEK jest absolwentką Wydziału Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej (2009). Jest doktorantką w Katedrze Technologii Nieorganicznej i Biotechnologii Środowiska. Specjalność – technologia chemiczna nieorganiczna.
e-mail: martamarszalek@indy.chemia.pk.edu.pl

Prof. dr hab. inż. Zygmunt KOWALSKI jest absolwentem Uniwersytetu Jagiellońskiego (1969). Jest Dziekanem Wydziału Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej. Specjalność – technologia związków nieorganicznych i inżynieria środowiska.

Dr inż. Agnieszka MAKARA ukończyła studia na Wydziale Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej (2007). Jest adiunktem w Katedrze Technologii Nieorganicznej i Biotechnologii Środowiska. Specjalność – technologia chemiczna nieorganiczna.

Mgr Katarzyna STOKŁOSA ukończyła studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu (2006). Jest Głównym Specjalistą ds. Hodowli Drobiu w Zakładach Drobiarskich „Koziegłowy”. Specjalność – technologie hodowli drobiu i trzody chlewnej.

2014 PRENUMERATA

CHEMIK nauka • technika • rynek

Miesięcznik CHEMIK nauka • technika • rynek to źródło rzetelnych i fachowych informacji dla naukowców, inżynierów i kadry zarządzającej w przemyśle chemicznym. Jest uznanym od 68 lat łącznikiem nauki z przemysłem i biznesem.

CHEMIK nauka-technika-rynek, to m.in.:

- publikacje naukowo-techniczne, problemowe, przeglądowe
- opinie ludzi nauki i przemysłu – warto wiedzieć, co inni mają do powiedzenia
- rzetelne źródło informacji o firmach, inwestycjach, konferencjach, targach naukowo-technicznych

www.miesiecznikchemik.pl/prenumerata

miesięcznik naukowo-techniczny science technical monthly
CHEMIK
nauka • technika • rynek science • technique • market