

OSADY ŚCIEKOWE JAKO SKŁADNIK NAWOZÓW I SUBSTYTUTÓW GLEB

Anna Grobelak¹, Wioleta Stępień¹, Małgorzata Kacprzak¹

¹ Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Częstochowska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa, e-mail: agrobelak@is.pcz.czyst.pl

STRESZCZENIE

W Polsce zagospodarowanie osadów ściekowych szczególnie w średnich i małych oczyszczalniach ścieków wciąż stanowi istotny problem. Zgodnie z danymi GUS-u oraz sprawozdaniem z realizacji Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) przyrodnicze zagospodarowanie osadów ściekowych pozostaje jednym z głównych metod, choć odnotowano znaczny odsetek tzw. „przeznaczenia na inne cele”, gdzie mieści się wytwarzanie kompostów oraz nawozów. Stosowanie nawozów wyprodukowanych z osadów ściekowych (kompostów, granulatów, nawozów organiczno-mineralnych) reguluje ustawa o nawozach i nawożeniu oraz odpowiednie przepisy wykonawcze. Określono w nich m.in. procedury badań (dotyczących jakości nawozów) i uzyskania odpowiednich zezwoleń na wprowadzenie tego typu nawozów do obrotu oraz dopuszczalne zawartości metali ciężkich. Wciąż niewiele istnieje na polskim rynku technologii zaawansowanego przetwarzania osadów w produkty nawożeniowe. Zwykle oczyszczalnie same starają uzyskać niezbędne certyfikaty na wytwarzane nawozy (w tym komposty), czy też substytuty gleb. Do zalet tych technologii należy niewątpliwie: utrata statusu odpadu, możliwość przechowywania nawozu i swobodny transport, sanityzacja produktu (w efekcie zastosowania związków wapnia lub siarki lub działania temperatury), alternatywa dla technologii suszenia. Natomiast wady to przede wszystkim koszty inwestycyjne i długotrwałe procedury certyfikacyjne. Jednak takie rozwiązania pozwalają na zachowanie substancji organicznej oraz fosforu a także większą kontrolę nad zanieczyszczeniami wprowadzanymi do gleb z osadami.

Słowa kluczowe: osady ściekowe, nawozy organiczne, przyrodnicze wykorzystane, gospodarka osadowa

SEWAGE SLUDGE AS AN INGREDIENT IN FERTILIZERS AND SOIL SUBSTITUTES

ABSTRACT

In Poland, sludge management especially in medium and small sewage treatment plants is still a significant problem. According to data from the Central Statistical Office and the report on the implementation of the National Urban Wastewater Treatment Program (in Polish KPOŚK) land application of sewage sludge remains one of the main methods, although there has been considerable interest known: “application for other purposes”, where the preparation of composts and fertilizers is included. The use of fertilizer produced from sewage sludge (compost, granules, organic and mineral fertilizers), is regulated by the Act on fertilizers and fertilization, and the relevant implementing rules. For example, they define the test procedure (concerning the quality of fertilizers) to enable appropriate permissions to market this type of fertilizers. There is still only several technologies existing on the Polish market dedicated to production of fertilizers in advanced technologies of sewage sludge treatment. Usually the treatment plants are trying to obtain the necessary certificates for generated fertilizers (including composts), or soils substitutes. The advantages of these technologies should be no doubt: the loss of waste status, ability to store the fertilizer and unlimited transportation between areas, sanitization of the product (as a result of the use of calcium or sulfur compounds or temperature) should be an alternative for drying technology. While the disadvantages are primarily the investment costs and time consuming certification procedures. However, these solutions enable to maintain the organic matter and phosphorus as well as greater control over possible pollution introduced into the soil.

Keywords: sewage sludge, organic fertilizers, land reclamation, sewage sludge management

WSTĘP

Polska należy do krajów gdzie nasila się problem z gospodarką osadów ściekowych, a dotychczas były one głównie składowane. Od 1 stycznia 2016 roku obowiązuje nas zakaz składowania osadów ściekowych. Obiecującym rozwiązaniem jest przetwarzanie osadów ściekowych w nawozy organiczne (głównie poprzez kompostowanie), czy też nawozy organiczno-mineralne a także jako środki wspomagające wzrost i rozwój roślin. Takie rozwiązania technologiczne proponowane są w Polsce od wielu lat, natomiast główną barierą ograniczającą rozwój tej branży są głównie zawile i żmudne zdobywanie odpowiednich certyfikatów, pozwoleń a także w mniejszym stopniu koszty inwestycyjne. W artykule zostały przedstawione wybrane dostępne technologie na naszym rynku.

ZAGOSPODAROWANIE OSADÓW ŚCIEKOWYCH W POLSCE

Zgodnie z danymi Komisji Europejskiej w latach 2010/11 dla krajów tzw. „starej Unii” UE15 (Austria, Belgia, Dania, Finlandia, Francja, Niemcy, Grecja, Irlandia, Włochy, Luksemburg, Holandia, Portugalia, Hiszpania, Szwecja Wielka Brytania) produkcja osadów wzrosła o około 20%, tj. do 10,4 mln. Mg s.m. Natomiast w pozostałych krajach UE 12 (Bułgaria, Cypr, Czechy, Estonia, Węgry, Litwa, Łotwa, Malta, Polska, Rumunia, Słowacja, Słowenia) wzrost produkcji osadów wynosił 100% do wartości 2,5 mln. Mg s.m. Także w Polsce obserwuje się ciągły wzrost ilości osadów ściekowych. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) z 2013 r. w Polsce wytworzono 540,3 tys. Mg s.m. osadów [GUS 2015].

W Europie zagospodarowanie osadów ściekowych różni się bardzo w poszczególnych krajach. Szacuje się, że:

- 37% osadów powstających jest wykorzystywana w rolnictwie,
- 11% jest spalane,
- 40% jest składowane,
- podczas gdy 12% jest wykorzystywane w innych obszarach, takich jak leśnictwo, hodowli lasu, melioracji itp. [Ødegaard 2002].

Ten trend potwierdzają najnowsze dane z Niemiec, gdzie w 2013 roku: 30% osadów zastosowano w rolnictwie, 16% na inne cele przyrodnicze a 53% spalono [Bergs 2015].

W Polsce dotychczas zagospodarowanie osadów ściekowych było realizowane poprzez:

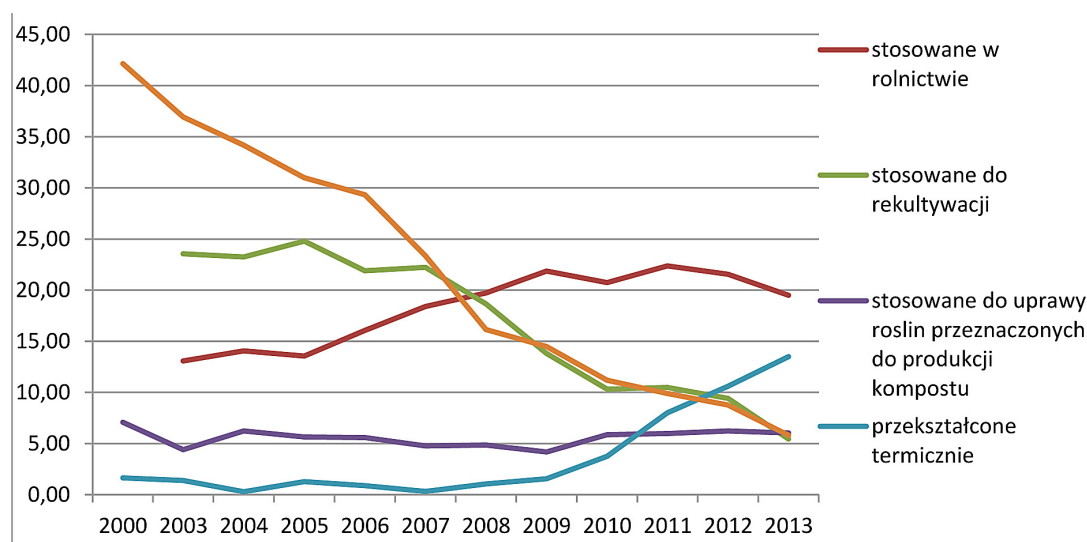
- wykorzystanie rolnicze,
- do procesów rekultywacji terenów przemysłowych oraz składowisk odpadów,
- termiczną utylizację,
- składowanie osadów na terenie oczyszczalni, np. w lagunach bądź stawach, osady również były wykorzystywane do kształtowania terenów oczyszczalni ścieków,
- składowanie na składowiskach odpadów komunalnych [Bień i inni 2011].

Z dniem 1 stycznia 2016 r. niemożliwe jest składowanie nieprzetworzonych osadów ściekowych, które nie spełniają wymagań określonych w załączniku nr 4 do rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczenia odpadów do składowania na składowiskach.

Analiza zmian zagospodarowania osadów ściekowych w Polsce od 2000 roku (rys. 1) wskazuje na postępujący spadek kierowania osadów na składowiska i stosowania w rekultywacji. O ile w roku 2000 ponad 40% osadów było składowanych, a niemal 25% stosowanych w rekultywacji; obecnie wartości te wynoszą w obu przypadkach około 6%. Wykorzystanie rolnicze osadów pozostaje od 2009 roku na podobnym poziomie i wynosi około 20%, choć i tutaj zauważa się pewne tendencje spadkowe. Wynika to przede wszystkim ze zwiększenia wymogów stawianych rolnikom, którzy decydują się na zastosowanie na swych polach osadów. Zgodnie z nowym Rozporządzeniem o stosowaniu komunalnych osadów ściekowych zostały uszczegółowione wymogi w zakresie stosowania zasady dobrej praktyki rolniczej pod względem zawartości azotu i fosforu w odniesieniu do zapotrzebowanie pokarmowego roślin. Jest to właściwie wymóg opracowania planu nawożenia azotowego i fosforowego dla danej działki na której osady mają być stosowane.

Drugim problemem w stosowaniu osadów na gruntach (szczególnie rolnych) jest zakres czasowy kiedy mogą być stosowane. Osady produkowane są cały rok, natomiast zapotrzebowanie na nie ograniczone jest do okresu wiosennego i jesiennego. Magazynowane na terenie oczyszczalni osady mogą zagniwać (szczególnie zimą) i stąd ich jakość staje się wątpliwa.

Wciąż jednak znaczna część osadów ściekowych jest magazynowana czasowo na terenie oczyszczalni – na koniec 2013 roku było to



Rys. 1 Zmiany zagospodarowania osadów ściekowych (wyrażone w %) w latach 2000-2013 [według GUS Roczniki Ochrony Środowiska]

Fig. 1 Changes in sewage sludge management (in%) in the period 2000-2013 [according to the Central Statistical Office Annals of Environmental Protection]

219,8 tys. Mg s.m., co stanowiło 40% wytworzonych w całym roku osadów. Poza tym znaczna część osadów jest przetwarzana i zagospodarowywana na tzw. „inne cele” (zgodnie ze sprawozdaniem KPOŚK). Osady ściekowe stały się produktem w obrocie na rynku a także surowcem (substratem) do wytworzenia innych cennych produktów. Niektóre rozwiązania wciąż są w sferze badań, inne funkcjonują już w praktyce. Osady ustabilizowane mogą być składnikiem kompostów, substytutów gleb, czy nawozów organiczno-mineralnych, a suszone stanowią surowiec dla paliw alternatywnych.

WŁAŚCIWOŚCI OSADÓW

Osady ściekowe mogą być cennym źródłem biogenów w środowisku glebowym, dlatego też uzasadnione jest, aby osady ściekowe używać do celów rolniczych. Należy jednak pamiętać o ich prawidłowym stosowaniu oraz mając na uwadze bezpieczeństwo, zwierząt, roślin oraz człowieka. Użycie osadów nie może pogorszyć jakości zarówno gleb, na których jest stosowany a także produktów rolnych.

Osady ściekowe stosowane jako nawozy znacznie zwiększają próchnicę w glebie oraz są cennym źródłem składników pokarmowych. Taki sposób zagospodarowania może stanowić nawożenie uzupełniające bądź zastępuje nawożenie nawozami naturalnymi [Środa i in. 2013; Rosik-

-Dulewska 2008]. O przydatności nawozowej komunalnych osadów ściekowych decyduje przede wszystkim zawartość substancji organicznej, skład osadów (węgiel, azot, fosfor), obecność zanieczyszczeń a także sama technologia oczyszczania ścieków i osadów. Dodatkowo ważnym czynnikiem wpływającym na jakość powstałych osadów ściekowych jest teren z którego pochodzą ścieki, wielkość obszaru, czy ilość zakładów przemysłowych na danym terenie. Natomiast czynnikami wpływającymi na uniemożliwienie bądź ograniczenie stosowania osadów ściekowych są:

- zawartość organizmów chorobotwórczych,
- niewłaściwa konsystencja (mazista lub płynna),
- duże stężenie metali ciężkich oraz szkodliwych związków organicznych, zwanych mikrozanieczyszczeniami,
- uciążliwości odorowe (DzU Nr 134, poz. 1140).

Udowodniono, iż zastosowanie osadów ściekowych poprawia właściwości fizykochemiczne gleby (wzrost stopnia infiltracji, stabilność agregatowa oraz pojemność wodną), wpływa na wzrost zawartości materii organicznej [Obbard 2001; Fytli i Zabaniotou 2008]. Dodatek w postaci osadów ściekowych który charakteryzuje się niskim stężeniem metali ciężkich może powodować znaczący przyrost biomasy a także wpływa korzystnie na zwiększenie liczebności

mikroorganizmów występujących w glebie, które z kolei biorą udział w procesach mineralizacji azotu organicznego. Poprawa bilansu substancji organicznej w glebie wpływa na polepszenie się warunków dla wzrostu roślin [Nowak i inni 2010; Wilk i Gworek 2009] Organiczne dodatki glebowe na bazie osadów ściekowych ze względu na wysoką zmienność parametrów chemicznych, fizycznych i sanitarnych, muszą zostać poddane odpowiedniemu badaniu przed ich użyciem. Wprowadzenie dodatków organicznych do gleb zanieczyszczonych może spowodować zmniejszenie mobilności metali ciężkich [Wuana i Okieimen 2011; Grobelak i Napora 2015]. Osady ściekowe powinny być również postrzegane jako cenny nawóz organiczny, gdyż zawierają pierwiastki śladowe i substancje organiczne. Osady ściekowe zawierają ważne składniki odżywcze, takie jak azot i znaczne ilości fosforu, lecz małą ilością potasu [Pescod 1992]. Wykorzystanie osadów ściekowych w procesach rekultywacji przyczynia się do możliwości odzysku cennych pierwiastków, na przykład azotu, fosforu i innych składników odżywczych, które są istotne dla wzrostu roślin [Kacprzak i in. 2014]. Zawartość poszczególnych składników w wynikach osadów ściekowych z procesów oczyszczania ścieków i składu ściekach dopływających [Neczaj 2011]. Stosowanie osadów ściekowych do nawożenia i rekultywacji wiąże się z pewnymi ograniczeniami, które są spowodowane przez np. obecność substancji niebezpiecznych, mikroorganizmów w osadach ściekowych i patogennych mikroorganizmów zanieczyszczeń i niepożądanego zapachu. Osady ściekowe i komposty, o niskiej zawartości metali ciężkich, mają pozytywny wpływ na wzrost biomasy drobnoustrojów i mikroorganizmów występujących w glebie [Singh 2011]. Komposty i osady ściekowe wykorzystywane do rekultywacji terenów zdegradowanych, są zaangażowane w procesy takie jak: chemofitostabilizacja (tworzenia stabilnych soli metali), unieruchomienie (unieruchamiania metali na grupach funkcyjnych kwasów fulwowych i humusowych), fitoremediacja (fitoekstrakcja i fitostabilizacja), bioaugmentacja (aplikacja do środowiska niektóre mikroorganizmy), biostymulacja (dodawanie substancji odżywczych w celu stymulowania aktywności mikroflory glebowej) [Park i in. 2011; Kacprzak i in. 2014]. Komposty, zawierające osady ściekowe ze ścieków komunalnych, mogą zawierać nadmierne ilości metali ciężkich, takich jak Sn, Zn, Cd, Pb, Mn, Fe, Co, Si, które w wysokich

stężeniach są toksyczne. W tym przypadku, wykorzystanie osadów ściekowych nie znajduje zastosowania na cele rolnicze a zastosowanie do rekultywacji terenów zdegradowanych jest znacząco ograniczone. Istnieje w takich warunkach ryzyko, że zbyt dużo toksycznych pierwiastków może być wyługowane do wód gruntowych i powierzchniowych, tworząc zagrożenie dla całego ekosystemu [Bolan i in. 2014].

OSADY ORAZ NAWOZY – ASPEKTY PRAWNE

Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U.2015.625) rozróżnia:

- nawozy organiczne – nawozy wyprodukowane z substancji organicznej lub z mieszanin substancji organicznych, w tym komposty, a także komposty wyprodukowane z wykorzystaniem dżdżownic,
- nawozy organiczno-mineralne – mieszaniny nawozów mineralnych i organicznych;
- środek poprawiający właściwości gleby – substancje dodawane do gleby w celu poprawy jej właściwości lub jej parametrów chemicznych, fizycznych, fizykochemicznych lub biologicznych,
- podłoże do upraw – materiał inny niż glebę, w tym substraty, w którym są uprawiane rośliny,
- środki wspomagające uprawę roślin – środki poprawiające właściwości gleby, stymulatory wzrostu i podłoża do upraw.

Wymogi dotyczące nawozów organicznych (kompostów) organiczno-mineralnych oraz nieorganicznych reguluje przede wszystkim Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U.2008 substancji odżywczych.119.765 z późn. zm.). Rozporządzenie szczegółowo określa wymogi zawartości w poszczególnych rodzajach nawozów i środków wspomagających uprawę roślin. Punkt 14.1 Rozporządzenia określa dopuszczalną wartość zanieczyszczeń w nawozach organicznych i organiczno-mineralnych oraz organicznych i organiczno-mineralnych środkach wspomagających uprawę roślin, która nie może przekraczać, w przypadku: chromu (Cr) – 100 mg, kadmu (Cd) – 5 mg, niklu (Ni) – 60 mg, ołowiu (Pb) – 140 mg, rtęci (Hg) – 2 mg – na kg suchej masy nawozu lub środka

wspomagającego uprawę roślin. Natomiast punkt 14.2 stanowi iż w nawozach i środkach wspomagających uprawę roślin niedopuszczalne jest występowanie żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., i *Toxocara* sp. oraz bakterii rodzaju *Salmonella*.

W paragrafie 15 punkcie 3 zapisano iż nawozy organiczno-mineralne w postaci stałej powinny zawierać co najmniej 20% substancji organicznej w przeliczeniu na suchą masę; w przypadku deklarowania w nich azotu fosforu lub potasu (albo ich sumy) zawartość poszczególnych składników nie może być mniejsza niż: 1% (m/m) azotu całkowitego (N); 0,5% (m/m) fosforu w przeliczeniu na P_2O_5 ; 1% (m/m) potasu w przeliczeniu na K_2O . Z kolei punkt 5 określa podobne wymogi dla nawozów organicznych, które powinny zawierać co najmniej 30% substancji organicznej w przeliczeniu na s.m., a zawartość poszczególnych składników nie może być mniejsza niż: 0,3% (m/m) azotu całkowitego (N); 0,2% (m/m) fosforu w przeliczeniu na P_2O_5 ; 0,2% (m/m) potasu w przeliczeniu na K_2O .

Nawozy organiczno-mineralne wprowadza się do obrotu na podstawie zezwolenia Ministra właściwego do spraw rolnictwa RP lub zezwolenia uzyskanego w innym kraju UE, jeśli nawóz spełnia polskie kryteria odnośnie jakości i zawartości zanieczyszczeń.

DOSTĘPNE TECHNOLOGIE PRZETWARZANIA OSADÓW W NAWOZY I SUBSTYTUTY GLEBOWE

Przetwarzanie osadów ściekowych w nawozy organiczne najczęściej w komposty, organiczno-mineralne czy środki wspomagające rozwój roślin to rozwiązania technologiczne proponowane na naszym rynku od wielu lat. Przetworzenie osadów zwalnia ich wytwórcę z konieczności wykonywania badań gruntów, szukania odbiorców, wyliczania dawek osadów możliwych do zastosowania na danej działce, a przede wszystkim pozwala na przekwalifikowanie odpadu w produkt możliwy do wprowadzenia do obrotu. Jednym z pierwszych nawozów organicznych (kompostów) był nawóz Komprol® - nawóz organiczny produkowany przez spółkę wodno-ściekową „GWDA” sp. z o.o. w Pile (2004 r), Biotop wytwarzany przez Wodociągi w Słupsku, Biokomp wytwarzany przez KOMPOSTECH Sp.z o.o. w Nowym Sączu (2004 r), ULKOMP wytwarzany przez Spółka Wodno-Ściekowa „SWARZE-

WO” w Swarzewie (2006 r.) czy „Kompost Sokółski” wytwarzany przez Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji sp. z o.o. w Sokółce (2005 r.). Certyfikaty takie otrzymują nie tylko małe czy średnie oczyszczalnie, ale również duże. W 2011 roku taki certyfikat uzyskał nawóz „Kompostron” wytwarzany przez Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji „Wodnik” Sp. z o.o. w Jeleniej Górze a w 2012 roku Oczyszczalnia Ścieków w Białymstoku zaczęła wprowadzać do obrotu granulaty pod nazwą „Granbial”. Pomimo powyższych przykładów, wiele kompostowni nie poradziło sobie z długotrwałymi procedurami certyfikacji, bądź też jakość wytwarzanego kompostu w ogóle nie pozwoliła o ubieganie się o status nawozu. Dodatkowym problemem okazał się technologiczny wymóg stosowania dodatków (materiału strukturalnego) do kompostowania, a przede konieczność zapewnienia dostaw tego materiału w trakcie całego roku. W zależności od proponowanej technologii są najczęściej to słoma, trociny, odpady zielone. Wciąż także nie udało się wdrożyć na szeroką skalę technologii współkompostowania osadów ściekowych z biodegradowalną frakcją odpadów, w czym przeszkadzają nie tylko niedobór na rynku tej frakcji odpadów, ale przede wszystkim przepisy prawne.

Natomiast spośród nawozów organiczno-mineralnych wytworzonych na bazie osadów ściekowych na rynku znaleźć można m.in. rozwiązanie duńskiej firmy ORTWED, nawóz „Biovap” (Decyzja 91/04; 13.07.2004 r.) nawóz OrCal® (Decyzja Nr 183/07 Znak HORnn-4077-2/07 z 2007); nawóz „Gamed” posiadający Decyzję nr 280/11 wydaną w 2011 roku, nawóz „Klonex” posiadający Decyzję Nr G-463/14 z 2014 r.; czy też nawóz „Oskar” firmy OMEGA (Decyzja 289/12 16.02.2012 r.).

Do wytworzenia takich nawozów niezbędny jest dodatek znacznej ilości substratów nieorganicznych. Mogą to być związki wapnia, kwas siarkowy, związki magnezu, potasu lub też popioły lotne ze spalania węgla kamiennego lub brunatnego. Ich rolą jest przede wszystkim:

- eliminacja patogenów, ponieważ produkt do przyrodniczego wykorzystania powinien być bezpieczny pod względem sanitarnym
- korekta i ujednoczenie składu chemicznego oraz właściwości fizycznych, ponieważ osady ściekowe są substratem zmiennym;
- nadanie mieszaninie nawozowej formy praktycznej do wykorzystania i możliwej do przechowywania

Stąd też uzyskany nawóz powinien charakteryzować się znormalizowanymi cechami fizycznymi, chemicznymi i mikrobiologicznymi.

Zwykle proponowane rozwiązania oparte są na wprowadzeniu znacznej ilości wapna palonego. (zawierającego aktywny tlenek wapniowy CaO) tradycyjnego środka higienizującego dla osadów ściekowych:



Ilość ciepła powstającego w wyniku silnej reakcji egzotermicznej jest wprost proporcjonalna do ilości wody koniecznej do odparowania oraz ilości dodanego wapna palonego CaO. Jak podają producenci nawozów powstałe wapno gaszone może reagować w podwyższonej do 135 -140 °C temperaturze z obecnymi w osadach np.: amorficznym kwasem krzemowym, lub związkami glinu (materiały ORTWED).

W efekcie dochodzi do kolejnych korzystnych przemian biologicznych i chemicznych:

- likwidacja patogennych bakterii grupy salmonella i coli,
- wzrost wartości pH $\geq 12,0 \div 12,7$,
- wzrost zawartości suchej masy,
- termo-kondycjonowanie osadu ściekowego (efekt wysokiej temperatury),
- końcowe zmniejszenie objętości powstałego substratu nawozowego
- możliwość kształtowanie dowolnej struktur i wielkości ziaren granulatu.

Poza tym wapno stosowane jako komponent nawozowy ma także wartość dodaną w postaci pozytywnego wpływu na gleby kwaśne, gdzie dostarczy nie tylko wapna jako elementu nawozowego, ale także podwyższy pH takich gleb poprawiając ich żyzność.

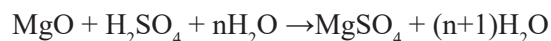
Inne rozwiązanie proponuje granulację osadów z dodatkiem związków potasu. Osady ściekowe spełniałyby tu nie tylko rolę źródła materii organicznej, ale także inhibitora wymywania z gleby frakcji mineralnych nawozu [Wiater i in. 2003].

Z kolei firma Omega proponuje technologię produkcji nawozu organiczno-mineralnego z wykorzystaniem magnezytu prażonego i kwasu siarkowego. W tej metodzie do osadów ściekowych dodaje się magnezyt prażony o dużej

zawartości MgO, a następnie wprowadza się z kwas siarkowy. W efekcie reakcji egzotermicznej (temp. powyżej 100°C) nadmiar ciepła uchodzi w postaci pary wodnej



Efektem reakcji jest także związanie wody zawartej w osadach ściekowych w wodę krystalizacyjną siarczanu magnezowego



W tej technologii tak prowadzony jest proces, aby nie doprowadzić do pełnego wysycenia woda siarczanu magnezu, co zabezpiecza produkt przed zbrylaniem i łatwo ulega granulowaniu. Nawóz stanowi dodatkowe źródło magnezu i siarki dla roślin.

Natomiast badania prowadzone przez Katedrę Gleboznawstwa, Łąkarstwa i Chemii Środowiska Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie wskazują na możliwość zastosowania do produkcji takich nawozów popiołów ze spalania węgla brunatnego i wzbogacenia mieszanek siarczanem amonu, superfosfatem czy solami potasowymi [Krzywy i in. 2015]. Mieszaniny poddawano kondycjonowaniu przez 14 dni w celu przereagowania obecnych w nich komponentów oraz zwiększenia suchej masy i biodostępności nutrientów. Mieszaniny suszono i granulowano z zastosowaniem lignosulfonianu sodu (środek stymulujący proces granulacji) i tańszych alternatywnych substratów - pulpy poekstrakcyjnej z Zakładu Chemicznego „Fosfan” w Szczecinie oraz dekstryny.

Niezależnie od zaproponowanej technologii w wyniku mieszania osadów z reagentami chemicznymi następuje odparowanie pewnej ilości wody, a co za tym idzie zmniejszenie objętości powstałej mieszaniny. Jednak w przeliczeniu na suchą masę produkt końcowy (nawóz) i tak będzie miał większą masę, ponieważ sam udział osadów ściekowych w proponowanych rozwiązaniach nie przekracza 70% (tabela 1), a zwykle stanowi około 50% całej mieszaniny początkowej.

Szczegółowe analizy chemiczne takich nawozów wskazują, że mogą one być źródłem nie tylko makro-, ale także cennych elementów (tabela 2).

Tabela 1. Udział procentowy poszczególnych komponentów (w przeliczeniu na suchą masę) w różnych nawozach organiczno-mineralnych na bazie osadów ściekowych

Table 1. The percentages of the various components (dry weight) in a variety of organic and mineral fertilizers based on sewage sludge

Patent PL 193582 B1 Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze 2002	Nawóz Oskar firmy Omega	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie [Krzywy i in. 2015]
osady ściekowe – ok. 70% s. m., saletra sodowa – ok. 30% s. m.	osady ściekowe – ok. 43% magnezyt prażony – 17% kwas siarkowy – 40%	55% osady ściekowe, 20% popiół ze spalania węgla brunatnego 12% siarczanu amonu, zawierającego 20,5% N, 4% superfosfat pojedynczy pylisty zawierającego 7% P ₂ O ₅ (7,42% P), 9% soli potasowej zawierającej 60% K ₂ O (50% K)
osady ściekowe – ok. 44% s.m., saletra sodowa – ok. 28% s.m., dolomit –ok. 28% s.m.		
osady ściekowe – ok. 60% s.m., siarczan amonowy – ok. 40 % s. m.		

Tabela 2. Analiza szczegółowa nawozu organiczno-mineralnego firmy Biokomp sp.z o.o.

Table 2. Detailed analysis of organic-mineral fertilizer produced by Biokomp Ltd. company

Wskaźnik	Jednostka	Wynik
Bor	mg/kg	5,20
Cynk	mg/kg	21,30
Fosfor	mg/kg	15 801,00
Kobalt	mg/kg	4,41
Magnez	mg/kg	99 894,00
Mangan	mg/kg	256,00
Miedź	mg/kg	10,60
Molibden	mg/kg	<0,1
Ogól wegiel org	mg/kg	57 925,00
Potas	mg/kg	31 780,00
Siarka całkowita	%	10,40
Wapń	mg/kg	23 564,00
Wilgotność	%	21,50
Żelazo	ppm	3 324,00
Azot ogólny	mg/kg	170 078,00

Kolejną zaletą tych technologii jest zmniejszenie zawartości w całkowitej masie nawozowej zanieczyszczeń, co wynika z procesu tzw. „rozzrzedzenia”. Także ilość wprowadzonych z nawozem zanieczyszczeń jest mniejsza ze względu na fakt, że zalecane dawki tych nawozów są znacznie niższe niż ma to miejsce w przypadku osadów ściekowych.

Połączeniem modyfikacji chemicznych i kompostowania osadów jest propozycja grupy profesora Kalembasy (tab. 3). W opisie patentowym z 1992 znaleźć można rozwiązanie polegające na tym, że do osadu ściekowego dodaje się chlorek potasowy lub siarczan potasowy, w celu doprowadzenia w osadzie stosunku N:P:K w granicach 0,9-1,1 : 0,5-0,75 : 0,9-1,1 oraz węglan wapnia lub węglan magnezu i doprowadza się do wartości pH 6,8-7,2, a następnie do tak przygotowanej mieszaniny wprowadza się dżdżownicę rasy Red Hybrid of California (patent PL 169484 B1) (tab. 4).

Tabela 3. Porównanie zawartości składników nawozowych w uzyskanym materiale z minimalnymi zawartościami oraz zawartość pierwiastków śladowych określonymi w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 roku w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu

Table 3. Comparison of nutrient content in the resulting material the minimum values and the content of trace elements laid down in the Regulation of the Minister of Agriculture and Rural Development of 18 June 2008 on the implementation of certain provisions of the Act on fertilizers and fertilization

Zawartość metali w mg/kg s.m.				
Wskaźnik	Jednostka	Wartość		
		kompost	popiół	dopuszczalna wartość
Cd	mg/kg s.m.	0,0	0,0	5,0
Ni	mg/kg s.m.	2,9	38,5	60,0
Pb	mg/kg s.m.	6,3	28,2	140,0
Hg	mg/kg s.m.	0,0	0,0	2,0
Cr	mg/kg s.m.	9,4	83,6	100,0
Zawartość składników m/m, %				
Wskaźnik	Jednostka	Wartość		
		kompost	popiół	zawartość minimalna
N	%	1,4	b.d.	1,0
P ₂ O ₅	%	1,5	9,85	0,50
K ₂ O	%	0,25	1,61	1,0

Tabela 4. Charakterystyka odwodnionych osadów mieszanych (wstępny i wtórny) i uzyskanego produktu termo-kompostowania

Table 4. Characteristics of dehydrated sludge mixed (initial and secondary) and the resulting product thermos-composting

Charakterystyka badanych popiołów, %			
Wskaźnik	Jednostka	Wartość	
		osady mieszane	kompost
s.m.	%	28,0	85,0
s.m.o.	%	25,2	71,4
C	%	43,3	40,7
N	%	1,6	1,4
P	%	0,3	0,4
S	%	0,4	0,1
H	%	6,2	6,9
O	%	33,8	35,1
popiół	%	14,9	15,8
Q	MJ/kg	18,7	18,4

PODSUMOWANIE

Do tej pory znaczna ilość osadów ściekowych produkowanych w oczyszczalniach ścieków znalazła zastosowanie w rolnictwie [Werle i Wilk 2010]. Jest to bowiem niewątpliwie najtańsza metoda ich utylizacji. Niestety są też ograniczenia, do których można zaliczyć m.in. kumulowanie się substancji niepożądanych np. metali ciężkich, patogenów czy zanieczyszczeń organicznych. Z drugiej strony osady pozostają ważnym źródłem substancji organicznej i pierwiastków, szczególnie fosforu. Poza tym coraz częściej oczyszczalnie zgłaszają trudności w znalezieniu odbiorców na wytworzone osady. Dlatego obiecujące są technologie zaawansowanego przetwarzania osadów ściekowych poprzez ich kompostowanie czy też tworzenie nawozów w efekcie ich chemicznego kondycjonowania. Jednak ze względu na koszty inwestycyjne oraz brak zainteresowania a nawet obawy potencjalnych odbiorców technologii (oczyszczalni ścieków), te rozwiązania do niedawna pozostawały marginalnymi propozycjami w sferze zagospodarowania osadów.

Podziękowania

Praca zrealizowana w ramach projektu BS/PB-401-304/11.

LITERATURA

- Bergs, Claus- Gerhard Sewage Sludge management and the Recycling of Phosphorus in Germany Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety Bonn, 19.11.2015.
- Bień J., Neczaj E., Worwąg M., Grosser A., Nowak D., Milczarek M., Janik M., Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 14(4), 2011, 375–384,
- Bolan N., Kunhikrishnan A., Thangarajan R., Kumpiene J., Park J., Makino T., Kirkham M.B., Scheckel K. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils - To mobilize or to immobilize? *J Hazard Mater* 266, 2014, 141–166.
- Fyttili D., Zabaniotou A., Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), 2008, 116–140.
- Grobelak, Anna; Napor, Anna. The Chemophytostabilisation Process of Heavy Metal Polluted Soil. *PLoS One*, 2015, 10.6: e0129538.
- Kacprzak M, Grobelak A, Grosser A, Prasad MNV. Efficacy of Biosolids in Assisted Phytostabilization of Metalliferous Acidic Sandy Soils with Five Grass Species. *Int. J. Phytoremediation* 16(6), 2014, 593–608, pmid:24912245, doi: 10.1080/15226514.2013.798625.
- Krzywy E., Wołoszczyk C., Moździerz E., Possibility of Producing Granulated Organic-Mineral Fertilizers from Some Municipal and Industrial Wastes. *Chemik*, 69(10), 2015, 684–697.
- Neczaj E, Bień JB, Grosser A, Worwąg M, Kacprzak M. Anaerobic treatment of sewage sludge and grease trap sludge in continuous co-digestion. *Global Nest Journal*, 14(2), 2011, 141–148.
- Nowak M., Kacprzak M., Grobelak A., Osady ściekowe jako substytut glebowy w procesach remediacji i rekultywacji terenów skażonych metalami ciężkimi, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 13(2), 2010, 121–131.
- Obbard J., Ecotoxicological assessment of heavy metals in sewage sludge amended soils, *Applied Geochemistry*, 16(11), 2001, 1405–1411.
- Ochrona Środowiska 2014. Roczniki statystyczne GUS, Warszawa 2015,
- Ødegaard H., B. Paulsrud, I. Karlsson, Wastewater sludge as a resource: sludge disposal strategies and corresponding treatment technologies aimed at sustainable handling of wastewater sludge, *Water Sci Technol*, 46(10), 2002, 295–303
- Park J.H., Lamb D., Paneerselvam P., Choppala G., Bolan N., Chung J.W.: Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy

- metal(loid) contaminated soils. *J. Haz. Mater.*, 185, 2011, 549–574.
14. Pescod M.B. Wastewater treatment and use in agriculture. 1992.
 15. Rocznik Statystyczny Ochrona Środowiska, 2004–2009,
 16. Rosik-Dulewska C., Podstawy gospodarki odpadami. PWN, Warszawa 2008.
 17. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych, DzU Nr 134, poz. 1140.
 18. Singh R.P., P. Singh, M.H. Ibrahim, R. Hashim. Land application of sewage sludge: physicochemical and microbial response. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 214, 2011, 41–6.
 19. Środa K., Kijo-Kleczkowska A., Otwinowski H.: Metody utylizacji osadów ściekowych. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 15(2), 2013, 33–5.
 20. Werle S., Wilk R. K., A review of methods for the thermal utilization of sewage sludge: The Polish perspective, *Renewable Energy*, Vol. 35, Issue 9, September 2010, 1914–1919
 21. Wiater J., Łukowski A., Fitko H., Stelmach S., Sobolewski A., Figa J., Wstępne badania aplikacyjne granulowanych nawozów organiczno-mineralnych na bazie osadów ściekowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Inżynieria Środowiska*. 16(2), 2003, 233–237
 22. Wilk M., Gworek B., Metale ciężkie w osadach ściekowych, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 39, 2009.
 23. Wuana R.A., Okieimen F.E. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecology, Applied Geochemistry*, 16, 2011, 1405–1411.