

Witold NIEMIEC¹

Monika ZDEB²

NAWOŻENIE PLANTACJI ROŚLIN ENERGETYCZNYCH OSADAMI ŚCIEKOWYMI W POSTACI STAŁEJ – ZAGROŻENIA I NOWE ROZWIĄZANIA

W pracy poruszono problematykę związaną ze stosowaniem komunalnych osadów ściekowych do nawożenia upraw roślin przeznaczonych na cele energetyczne. Główne kryteria, jakie musi spełniać osad ściekowy, aby mógł być dopuszczony do użytkowania jako nawóz, są związane ze stężeniami metali ciężkich, obecnością bakterii z rodzaju *Salmonella* i liczbą jaj pasożytów jelitowych. Ocena zagrożenia dla środowiska, jakie niesie ze sobą nawożenie osadami z użyciem tradycyjnych maszyn i urządzeń, głównie z rozprzestrzenianiem się patogenów poza wyznaczony areal, determinuje poszukiwanie alternatywnych rozwiązań jego zadawania do gleby. Uwagę skupiono głównie na iniekcji osadów ściekowych w postaci stałej jako najczęstszej formie nawozu tego typu ze względu na odwodnienie osadów w procesach stabilizacji i higienizacji. W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania nowego, chronionego patentem urządzenia do iniekccyjnego dawkania nawozów w postaci stałej, w tym również osadów ściekowych. Technika iniekcji pozwala na zachowanie wymaganych prawem warunków sanitarnych, co wiąże się z niezwłocznym przykryciem osadu po zadaniu do gleby. Minimalizuje ryzyko skażenia patogenami oraz zwiększa efektywność działania substancji nawozowych na rośliny. Ma to szczególne znaczenie w przypadku uprawy roślin energetycznych, takich jak Wierzba wiciowa czy Paulownia omszona, gdzie istotne jest uzyskanie dużych przyrostów biomasy w krótkim czasie.

Słowa kluczowe: osady ściekowe, zagrożenie sanitarne, nawożenie, iniekcja osadów ściekowych, rośliny energetyczne

1. Wprowadzenie

W 2000 roku w komunalnych oczyszczalniach ścieków w Polsce wytworzono ok. 359 tys. ton suchej masy osadów. W 2005 roku powstało ok. 486 tys.

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Witold Niemieć, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651504, e-mail: wniemiec@prz.edu.pl

² Monika Zdeb, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651949, e-mail: mzdeb@prz.edu.pl

ton suchej masy osadu, a w 2010 – blisko 527 tys. ton suchej masy [1]. Do przyczyn wzrostu ilości osadów ściekowych można zaliczyć: rozbudowę sieci kanalizacyjnej, coraz wyższy odsetek ludności odprowadzającej ścieki, modernizację istniejących już oczyszczalni ścieków i budowę nowych, wzrost społecznej świadomości zagrożeń, jakie niesie ze sobą nielegalne odprowadzanie ścieków do środowiska. Do tej pory większość osadów była deponowana w oczyszczalniach ścieków na specjalnych składowiskach, poletkach, lagunach czy stawach osadowych, co rozwiązywało problem doraźnie, przed właściwym ich deponowaniem poza oczyszczalnię. W 2005 roku odnotowano 782,7 tys. ton suchej masy osadów zgromadzonych na terenach oczyszczalni ścieków, a w 2011 już znacznie mniej – ok. 212 tys. ton [1]. Zmniejszająca się ilość składowanych osadów ściekowych w Polsce jest efektem ich wykorzystywania, głównie w rolnictwie, do rekultywacji terenów zdegradowanych, w uprawach roślin przemysłowych oraz przeznaczonych na kompost lub paszę. Jednak sposoby te są ograniczane przez rygorystyczne wymogi ustawowe w odniesieniu do ilości i jakości stosowanych osadów na arealach upraw. Wzrastający odsetek stanowią osady przekształcane termicznie, ale wymaga to dużych nakładów finansowych, powierzchni (podobnie jak składowanie) oraz czasu i energii. W związku ze stale wzrastającą ilością osadów, ograniczeniami związanymi z ich składowaniem i wykorzystaniem oraz całkowitym zakazem ich składowania na składowiskach, jaki będzie obowiązywać od 2016 r., istnieje konieczność nie tylko ich zabezpieczenia czy unieszkodliwienia, ale przede wszystkim nowych metod zagospodarowania [2, 3].

Słuszne zatem wydaje się zwiększenie ilości osadów wykorzystywanych jako nawóz do upraw roślin energetycznych. Rośliny te nie są przeznaczone do spożycia, w związku z czym istnieje minimalne ryzyko bezpośredniego włączenia substancji zawartych w osadach do sieci pokarmowych, których częścią jest człowiek. Roślinami uprawianymi na cele energetyczne, tj. do produkcji paliwa lub opału, są: rośliny oleiste (rzepak, słonecznik, len, konopie), zboża (kukurydza, owies), okopowe (ziemniaki, słonecznik bulwiasty), rośliny drzewiaste i krzewiaste (topola sp., wierzba wiciowa, róża bezkolcowa, róża wielokwiatowa, Paulownia omszona) oraz burak cukrowy, trzcina cukrowa, Ślazier pensylwański, Rdest sachaliński, Mozga trzciniowata oraz Miskant olbrzymi. Gatunki te posiadają cechy pożądane, takie jak duży przyrost suchej masy w sezonie wegetacyjnym, wysoka wartość opału i niska wilgotność, niewygórowane wymagania klimatyczno-glebowe oraz możliwość zmechanizowania upraw wielkoobszarowych. Uprawa roślin energetycznych umożliwia także zagospodarowanie coraz większych powierzchni terenów niezagospodarowanych rolniczo bądź nienadających się do użytkowania rolniczego. W większości spełniają one wymagania fizjologiczne wspomnianych roślin [4, 5].

Województwo podkarpackie jest jednym z regionów Polski o największej powierzchni nieużytków rolnych (10938 ha w 2011 r.) oraz gruntów zdegradowanych i zdewastowanych wymagających rekultywacji i zagospodarowania

(1809 ha w 2010 r.). W 2011 roku na Podkarpaciu zanotowano największy w skali Polski ubytek gruntów ornych na rzecz nieużytków rolnych – 8643 ha. Większość z nich spełnia wymagania roślin energetycznych. Grunty orne na cele nierolnicze zaklasyfikowane do IV klasy bonitacyjnej (korzystnej z punktu widzenia plantatora roślin energetycznych) to aż 811 ha [1].

Celem artykułu jest wskazanie zagrożeń, jakie niesie ze sobą stosowanie komunalnych osadów ściekowych jako nawozu oraz zaproponowanie rozwiązań pozwalających na ich wykorzystanie do zagospodarowania nieużytków rolnych, zrekultywowania terenów zdegradowanych i zdewastowanych oraz produkcję biomasy opałowej.

2. Podstawowe uregulowania prawne dotyczące stosowania osadów ściekowych

W Polsce stosowanie osadów ściekowych jest regulowane przez kilka podstawowych aktów prawnych:

- ustawę o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. [6],
- ustawę Prawo Ochrony Środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. [7],
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych [8],
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby i standardów jakości ziemi [9].

Są one w pełni zgodne z Dyrektywą Rady w sprawie ochrony środowiska, a szczególnie gleb, przy stosowaniu osadów ściekowych w rolnictwie [10], Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie odpadów (tzw. Dyrektywa Ramowa) [11] oraz Dyrektywą Rady w sprawie składowania odpadów [12].

Podstawowym aktem prawnym dotyczącym przyrodniczego zagospodarowania osadów ściekowych jest Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych, w którym zawarto wymagania dotyczące parametrów, jakim powinien odpowiadać osad stosowany do nawożenia. Są to zawartość metali ciężkich, obecność bakterii z rodzaju *Salmonella*, liczba jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Toxocara sp.* Istotny jest też zapis o zachowaniu jakości gleby nawożonej, a zwłaszcza o nieprzekraczalności dopuszczalnych wartości stężeń szeregu substancji, głównie metali ciężkich. W związku z tym konieczne jest badanie każdej partii osadów oraz składu gleby przed nawożeniem i każdorazowe ustalanie dawki osadu [8].

Warunkiem stosowania osadów ściekowych jako nawozu jest nie tylko jego odpowiedni skład, ale również agrotechnika prawidłowego wprowadzania do gruntu. Dla osadów w postaci płynnej konieczne jest zastosowanie iniekcji. Natomiast osady w postaci mazistej i ziemistej muszą być niezwłocznie zmieszane z gruntem [8]. Takie postępowanie jest podyktowane przede wszystkim niebezpieczeństwem rozprzestrzenienia się mikroorganizmów patogennych w środowisku, w którym zastosowano tego typu nawożenie.

3. Zagrożenie sanitarne

Osady ściekowe poddane procesom obróbki posiadają korzystny skład chemiczny i właściwości glebotwórcze. Jednak stosunkowo wysokie stężenia metali ciężkich oraz obecność organizmów patogennych należą do najczęstszych

Tabela 1. Wybrane organizmy chorobotwórcze występujące w komunalnych osadach ściekowych, na podstawie [13]

Tabele 1. Some pathogenic organisms present in municipal sewage sludge, based on [13]

Czynnik chorobotwórczy	Nazwa jednostki chorobowej
Wirusy <i>Poliovirus</i> <i>Coxsackie wirus A</i> <i>Coxsackie wirus B</i> <i>Echovirus</i> <i>Adenovirus</i> <i>Hepatitis typ A</i> <i>Rotavirus</i>	paraliż dziecięcy, zapalenie opon mózgowych wady serca, choroby dróg oddechowych zapalenie opon mózgowych, wady serca wysypka, biegunka infekcja oczu, choroby dróg oddechowych zapalenie wątroby wymioty, biegunka
Bakterie <i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella paratyphi A, B, C</i> <i>Shigella dysenteriae</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Vibro cholerae</i> <i>Mycobacterium tuberculosis</i> <i>Leptospira sp.</i> <i>Clostridium perfringens</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Bacillus anthracis</i>	dur brzuszny dur rzekomy, salmonelloza czerwonka, ostre zapalenie żołądka, biegunki ostre biegunki cholera gruźlica płuc żółtaczką krętkowa, leptospiroza zatrucie pokarmowe, zgorzel gazowa niezżyt żołądka i jelit wąglik
Pierwotniaki <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i>	pełzakowica jelitowa lamblioza
Nicienie <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Enterobius americanus</i> <i>Toxocara sp.</i> <i>Trichuris trichura</i>	askarydoza ludzka owsica glistnica psia lub kocia niezżyt przewodu pokarmowego
Tasiemce <i>Taenia solium</i> <i>Taeniarhynchus saginatus</i> <i>Echinococcus granulosus</i>	wągryca mięśni tasiemczycyca bąblowica
Przywry <i>Dicrocoelium sp.</i> <i>Fasciola hepatica</i>	schorzenie dróg żółciowych motylcyca wątrobowy
Grzyby <i>Aspergillus sp.</i> <i>Cladosporium sp.</i>	- aspergilloza oskrzelowo-płucna - ostre alergie

przyczyn zaniechania stosowania osadów ściekowych pod uprawy roślin. Mikroorganizmy chorobotwórcze stwarzają duże zagrożenie sanitarne. Najliczniej występują w ściekach bytowo-gospodarczych, gdzie ich głównym źródłem są wydaliny i odchody ludzi i zwierząt. Większość z nich wywołuje infekcje układu pokarmowego, ale niektóre mogą być przyczyną bardzo poważnych chorób, takich jak zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych, zapalenie mięśnia sercowego czy zapalenie wątroby, często prowadzących do śmierci (tab. 1.). W powietrzu atmosferycznym, które jest niekorzystnym środowiskiem dla patogennych mikroorganizmów, ze względu na brak dostępnych substancji pokarmowych, niedostateczną wilgotność i promieniowanie słoneczne mikroorganizmy występują tylko czasowo. Pochodzą głównie z gleb i wód, a czasami ich źródłem są organizmy wyższe (kręgowce, człowiek). Osad w oczyszczalniach ścieków, kompostowniach czy składowiskach odpadów jest źródłem bioaerozolu.

Bioaerozol może powstawać w wyniku napowietrzania, mieszania czy rozlewania ścieków, składowania i przewożenia osadów, a także podczas ich dawkowania do gleby [14, 15]. Chorobotwórcze bakterie i grzyby mogą się rozprzestrzeniać z prądem powietrza na odległość 550 m, a wirusy nawet powyżej 200 m. Zanieczyszczenia bioaerozolem są deponowane na powierzchniach nie-

Tabela 2. Mikroorganizmy specyficzne, izolowane z powietrza atmosferycznego „czystego” i zanieczyszczonego mikrobiologicznie przez bioaerozol pochodzenia ściekowego, na podstawie [13]

Tabela 2. Specific microorganisms isolates from atmospheric air and polluted air by microbial aerosol origin of sewage, based on [13]

Mikroorganizmy występujące w powietrzu	
atmosferycznym	zanieczyszczonym bioaerozolem pochodzenia ściekowego
Bakterie	
<i>Bacillus sp.</i> , <i>Mycobacterium sp.</i> , <i>Micrococcus sp.</i> , <i>Sarcina sp.</i> , <i>Streptomyces sp.</i> , bakterie hemolizujące	<i>Aeromonas sp.</i> , <i>Achromobacter sp.</i> , <i>Aerobacter aerogenus</i> , <i>Alcaligenes fecalis</i> , <i>Bacillus sp.</i> , <i>Citrobacter sp.</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , <i>Corynebacterium sp.</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i> , <i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Proteus sp.</i> , <i>Sarcina sp.</i> , <i>Serratia marcescens</i> , <i>Streptococcus faecalis</i> , <i>Staphylococcus sp.</i> , <i>Salmonella sp.</i> , <i>Shigella sp.</i> , <i>Streptomyces sp.</i> , bakterie hemolizujące
Grzyby	
<i>Aspergillus sp.</i> , <i>Cladosporium sp.</i> , <i>Fusarium sp.</i> , <i>Penicillium sp.</i> ,	<i>Aspergillus sp.</i> , <i>Cladosporium sp.</i> , <i>Fusarium sp.</i> , <i>Mucor sp.</i> , <i>Penicillium sp.</i> , <i>Rhizopus sp.</i>
Wirusy	
–	<i>Adeno</i> , <i>Coxsackie</i> , <i>Entero</i> , <i>Polio</i> , <i>Rota</i> , <i>Echo</i>
Bakteriofagi	
–	fagi coli

objętych uprawami, a następnie ulegają wtórnej emisji, co stanowi zagrożenie sanitarne dla sąsiednich areałów [16, 17] (tab. 2.). Pozostawienie osadów ściekowych na powierzchni gruntu niesie za sobą ryzyko skażenia zwierząt dziko żyjących oraz ludzi.

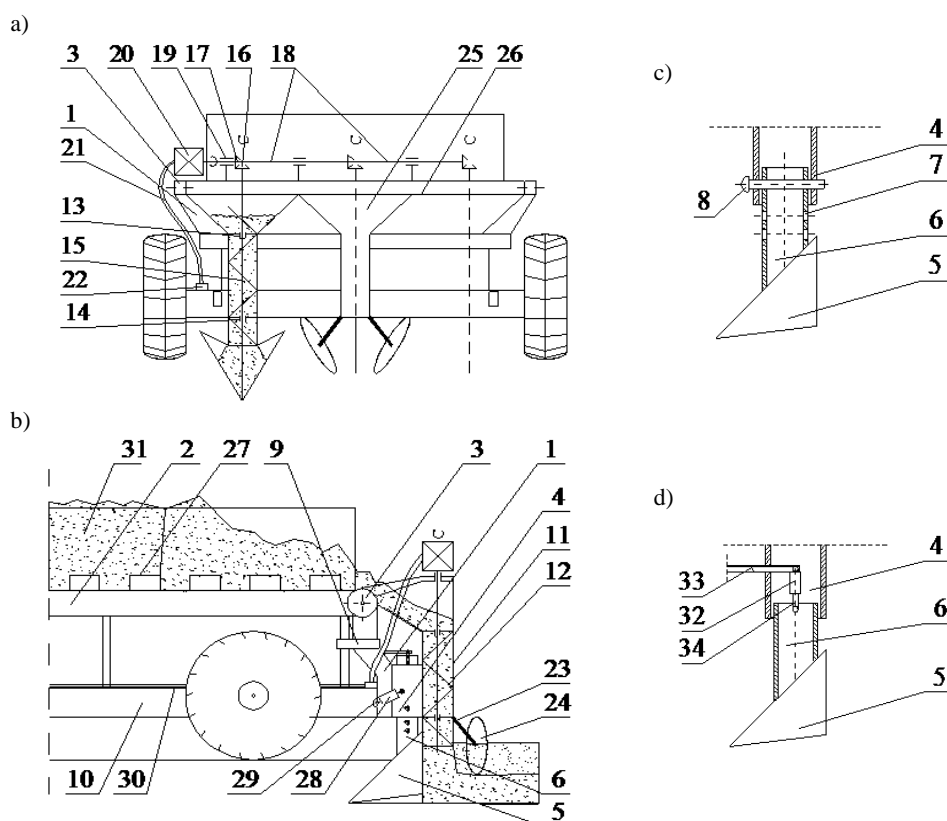
4. Urządzenie do iniekcji nawozów mineralnych i organicznych w postaci stałej

Typowe maszyny do rozsiewu nawozów sypkich powinny równomiernie dawkować nawóz na powierzchnię gleby. Stosowanie tarcz, łopatek, wadliwych przewodów rurowych lub dysz pneumatycznych powoduje rozrzucanie nawozu na duże odległości [18]. Rozprowadzanie osadów wiąże się z ryzykiem uniesienia jego cząstek przez wiatr i niekontrolowane wprowadzenie do różnych komponentów środowiska (gleba, woda, powietrze). Podobne niebezpieczeństwa niesie ze sobą używanie maszyn do nawożenia nawozami płynnymi, gdzie cząsteczki bioaerozolu są przenoszone z prądami powietrza poza nawożony areał. Wymagania dotyczące zadawania osadów w postaci płynnej zostały zrealizowane w konstrukcji urządzenia do wprowadzania osadów pod powierzchnię gruntu już w latach 80. zeszłego stulecia. Wprowadzenie nawozów ciekłych pod powierzchnię gleby pól uprawnych i łąk umożliwiło zastosowanie trójkątnego kroju tworzącego rowek, do którego był wlewany nawóz, oraz systemu obsypników lub rolek dociskowych, które zamykały nawóz w rowku [19]. Obecnie najczęściej jako nawóz stosuje się jednak osady ściekowe w postaci stałej (sypkiej). Taka sytuacja wynika głównie z procesów ich stabilizacji przed nawożeniem, podczas których dochodzi do usunięcia znacznych ilości wody.

Opatentowane urządzenie (patent nr 382062) do iniekcyjnego dawkowania nawozów stałych w postaci sypkiej umożliwia ich wprowadzenie do gruntu na wyznaczoną głębokość i natychmiastowe przykrycie warstwą gleby. Ma to szczególne znaczenie w przypadku nawożenia osadami ściekowymi. Konstrukcję urządzenia przedstawiono na rys. 1. Podajniki nawozu przesuwają nawóz w kierunku komór zasypowych urządzenia, skąd podajniki ślimakowe umieszczone w cylindrycznych obudowach wyprowadzają nawóz z komór zasypowych do wytworzonego za pomocą trójkątnego kroju rowka w glebie. Za podajnikiem nawozu umieszczono tarczowy obsypnik, które zasypuje warstwą gleby umieszczony w rowku nawóz. Jak już wspomniano, niezwłoczne przykrycie osadów zapobiega rozprzestrzenianiu patogenów z prądami powietrza oraz ogranicza unoszenie się nieprzyjemnego zapachu. Chroni również przed utratą substancji lotnych wzbogacających glebę. Regulacja w zakresie głębokości rowka pozwala dostarczyć nawóz w pobliże masy korzeniowej, zwiększając dostępność składników pokarmowych dla roślin, jednocześnie nie uszkodzając samych korzeni. Opcja agregatowania urządzenia do obecnie funkcjonujących rozrzutników nawozów czyni je uniwersalnym rozwiązaniem. Istotną zaletą jest również możliwość realizacji trzech zabiegów: transportu na miejsce docelowe, zadanie do

gleby oraz natychmiastowe przykrycie jej warstwą za jednym przejazdem [20]. Szerokość maszyny jest nie większa niż klasycznego ciągnika, co pozwala na jej wykorzystanie na plantacjach roślin energetycznych

Na przełomie lat 2012 i 2013, dzięki zaangażowaniu producenta maszyn rolniczych SIPMA S.A. z Lublina i wsparciu finansowemu gminy Świlcza powstał prototyp urządzenia do iniekcyjnego dawkowania do gleby nawozów sypkich (rys. 1.) [20].



Rys. 1. Schemat urządzenia do iniekcyjnego dawkowania do gleby nawozów sypkich: a) widok z tyłu, b) urządzenie agregowane do rozrzutnika nawozów: 1 – rama, 2 – rozrzutnik nawozu, 3 – przegubowe połączenie, 4 – część stała pionowej belki, 5 – krój belki, 6 – część ruchoma pionowej belki, 7 – otwory części ruchomej pionowej belki, 8 – sworzeń, 9 – szybkozłącze, 10 – rama rozrzutnika nawozu, 11 – cylindryczna obudowa podajnika ślimakowego, 12 – podajnik ślimakowy, 13 – górne łożysko promieniowe, 14 – dolne łożysko promieniowe, 15 – oś ślimakowego podajnika, 16 – koło stożkowe górnej części podajnika ślimakowego, 17 – koło stożkowe napędzające, 18 – wał napędowy, 19 – łożyska sprzęgające wał napędowy z ramą urządzenia, 20 – silnik hydrauliczny, 21 – przewód, 22 – złącze, 23 – osie, 24 – tarcza obsypnika, 25 – komory zasypowe, 26 – krawędź cylindrycznej obudowy podajnika ślimakowego, 27 – podajnik nawozu, 28 – hydrauliczny podnośnik teleskopowy, 29 – gniazdo sprzęgające hydrauliczny podnośnik teleskopowy

wy z konstrukcją rozrzutnika i częścią stałą belki, 30 – przewód, 31 – podawany nawóz, 32 – siłownik hydrauliczny, 33 – przewód, 34 – końcówka siłownika

Fig. 1. Diagram of the device for injection dosing of powdery fertilizers to ground: a) plan view of back, b) device units for fertilizer spreader; 1 – frame, 2 – fertilizer spreaders, 3 – combining swivel, 4 – immobile part of the vertical beam, 5 – beam typeface, 6 – mobile part of the vertical beam, 7 – apertures of mobile part of the vertical beam, 8 – pivot, 9 – quick hitch, 10 – fertilizer spreader frame, 11 – cylindrical feed screw case, 12 – feed screw, 13 – upper beam bearing, 14 – lower beam bearing, 15 – axis of feed screw, 16 – bevel gear the top of the feed screw, 17 – propulsive bevel gear, 18 – propeller shaft, 19 – bearings combining shaft and the device frame, 20 – hydraulic motor, 21 – wire, 22 – connector, 23 – axis, 24 – lister shield, 25 – fill chambers, 26 – brink of cylindrical feed screw case, 27 – container of fertilizer, 28 – hydraulic telescopic boom lift, 29 – hydraulic telescopic boom combined from spreader construction and immobile part of beam, 30 – wire, 31 – fertilizer, 32 – hydraulic actuator, 33 – wire, 34 – tip of actuator

5. Wnioski

1. Wzrastająca ilość osadów ściekowych oraz obowiązki ich zagospodarowania determinują poszukiwanie nowych i doskonalenie już istniejących metod wykorzystywania tego typu odpadów.

2. Osady ściekowe wprowadzają do gleby pewien ładunek substancji biogennych i wykazują działanie glebotwórcze korzystne dla uprawianych roślin, ale jednocześnie są źródłem mikroorganizmów chorobotwórczych oraz substancji toksycznych i kancerogennych.

3. Zagrożenie sanitarne związane ze stosowaniem osadów ściekowych ogranicza ich zastosowanie wyłącznie do upraw niezwiązanych z przemysłem spożywczym i farmaceutycznym.

4. Stosowanie osadów ściekowych tylko i wyłącznie do nawożenia roślin nieprzeznaczonych do spożycia czy produkcji pasz nie zabezpiecza przed ryzykiem przedostania się substancji patogennych do sieci troficznej, której częścią jest człowiek.

5. Do zanieczyszczania arealów sąsiadujących może dochodzić nie tylko poprzez spływy wód powierzchniowych czy podziemnych, ale również podczas transportu i samego procesu nawożenia. W zależności od stopnia uwodnienia osadów z wiatrem może być unoszona ich frakcja pylista lub kropelki wody osadowej wraz z patogenami (bioaerozol).

6. Stosowanie specjalnych urządzeń do iniekcyjnego dawkowania osadów ściekowych do gleby w znacznym stopniu ogranicza niekontrolowaną emisję zanieczyszczeń do środowiska.

7. Konieczne wydaje się przeprowadzenie wielu badań nad wpływem zastosowania urządzenia iniekcyjnego na jakość gleby, wody glebowej oraz mikroorganizmów warstw uprawnych gleby.

8. Zaplanowano długookresowe badania eksploatacyjne nad możliwością bezpiecznej dla obsługi i środowiska pracy maszyny.

Literatura

- [1] Dmochowska H. (red.): Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2012. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2012.
- [2] Bień J., Neczaj E., Worwąg M., Grosser A., Nowak D., Milczarek M., Janik M.: Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po 2013 roku. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, t. 14, nr 4, s. 375-384.
- [3] Kazanowska J., Szaciło J.: Analiza jakości osadów ściekowych oraz możliwości ich przyrodniczego wykorzystania. *Acta Agrophysica*, t. 19, nr 2, 2012, s. 343-353.
- [4] Baran S.: Zasoby i gospodarka odpadami organicznymi w Polsce, [w:] Wybrane aspekty zagospodarowania odpadów organicznych a produkcja biomasy wierzby energetycznej, J. Kaniuczak, J. Kostecka, W. Niemiec (red.). Uniwersytet Rzeszowski, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2005, s. 17-40.
- [5] Kaniuczak J., Hajduk E., Błażej J., Niemiec W., Jasiński T.: Wybrane właściwości fizykochemiczne i chemiczne odłogu piaszczystego przed aglomeracją osadami ściekowymi, [w:] Wybrane aspekty zagospodarowania odpadów organicznych a produkcja biomasy wierzby energetycznej, J. Kaniuczak, J. Kostecka, W. Niemiec (red.). Uniwersytet Rzeszowski, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2005, s. 79-100.
- [6] Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. (Dz.U. 2013 Nr 0, poz. 21).
- [7] Ustawa Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz. U. z dnia 20 czerwca 2001 r.).
- [8] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. Nr 137, poz. 924).
- [9] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby i standardów jakości ziemi (Dz. U.02.165.1359 z dnia 4 października 2002 r.).
- [10] Dyrektywa Rady 86/278/EEC z dnia 12 czerwca 1986 r. w sprawie ochrony środowiska, a szczególnie gleb, przy stosowaniu osadów ściekowych w rolnictwie.
- [11] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy.
- [12] Dyrektywa Rady 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 r. w sprawie składowania odpadów.
- [13] Papiak D., Zamorska J.: Podstawy biologii i biotechnologii środowiskowej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005.
- [14] Bień J.B.: Osady ściekowe, teoria i praktyka. Wydaw. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2002.
- [15] Butarewicz A.: Higieniczne aspekty procesu kompostowania osadów ściekowych. II Międzynarodowa, XIII Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowe spojrzenie na osady ściekowe – odnawialne źródła energii”, cz. 1. Wydaw. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2003.
- [16] Berezna-Boruta B.: Ocena mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza na terenie oczyszczalni ścieków. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, nr 3, 2010, s. 49-57.
- [17] Kołwzan B., Jadczyk P., Pasternak G., Głuszczyk J., Pawlik M., Krawczyńska M., Klein J., Rybak J.: Ocena stanu sanitarnego powietrza w otoczeniu wybranej oczyszczalni ścieków. *Ochrona Środowiska*, t. 34, nr 2, s. 9-14.

- [18] Marks N.: Maszyny do uprawy, pielęgnacji, nawożenia, siewu, sadzenia i ochrony roślin, cz. I, wyd. II, <http://mr.wipie.ur.krakow.pl/index.html> (06.08.2013).
- [19] Niemiec W., Puchała J.: Urządzenie do wprowadzania cieczy pod powierzchnię gleb i łąk, W-39050. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa 1985.
- [20] Niemiec W.: Urządzenie do iniekcyjnego dawkowania do gleby sypkich nawozów organicznych i mineralnych, opis patentu nr 382062. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa 2013.

FERTILIZING PLANTATIONS OF ENERGETIC PLANTS BY SEWAGE SLUDGE IN SOLID FORM

Summary

This paper deals with problems related to the use of sewage sludge to fertilize cultivation for energy purposes. The main criteria to be met by the sludge in order to be approved for use as fertilizer is: a metal concentration, the presence of salmonella bacteria and the quantity of eggs of intestinal parasites. Assessment of the environmental risks posed by sludge fertilization using traditional machinery and equipment – especially the spread of pathogens outside the appointed area – determines the search for alternatives to the reference to the soil. Attention has been focused mainly on the injection of sludge in a solid form, as the most common form of fertilization, due to the dehydration of sludge in the process of stabilization and hygienization. The paper presents the possibilities of using new, proprietary equipment injection dosage of fertilizers in solid form, including sewage sludge. Injection technique preserves, as required by law, the sanitary conditions, minimizing the risk of contamination with pathogens and increases the efficiency of nutrient for plants. This is particularly important in the case of energy crops such as *Salix viminalis* or *Paulownia tomentosa*, where it is important to obtain large increases in biomass in a short time.

Keywords: sewage sludge, health risks, fertilization, injection of sewage sludge, energy crops

Przesłano do redakcji: 16.11.2013 r.

Przyjęto do druku: 02.06.2014 r.

DOI:10.7862/rb.2014.11