

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL** (11) **239674**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **432367**

(22) Data zgłoszenia: **23.12.2019**

(51) Int.Cl.

C05F 7/00 (2006.01)

C02F 11/145 (2019.01)

C02F 101/20 (2006.01)

A62D 3/33 (2007.01)

A62D 101/43 (2007.01)

(54) **Zastosowanie popiołów lotnych ze spalania biomasy w kotłach fluidalnych energetyki zawodowej do unieszkodliwienia osadów ściekowych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

28.06.2021 BUP 13/21

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

27.12.2021 WUP 39/21

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
KRAKÓW, PL
SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ-INSTYTUT
CERAMIKI I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH,
Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**JOANNA POLUSZYŃSKA, Opole, PL
ELŻBIETA JAROSZ-KRZEMIŃSKA,
Libertów, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Patrycja Rosół

PL 239674 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest zastosowanie popiołów lotnych ze spalania wyłącznie samej biomasy w kotłach fluidalnych energetyki zawodowej do unieszkodliwienia osadów ściekowych, w tym higienizacji stabilizacji, jak również immobilizacji zawartych w nich metali ciężkich.

Osady ściekowe stanowią produkt uboczny oczyszczania ścieków przemysłowych i komunalnych. Ich ilość i skład są uzależnione od sposobu i stopnia oczyszczania ścieków. Zwłaszcza w ostatnich latach obserwuje się wzrost ilości powstających osadów ściekowych. Według danych GUS udostępnionych w ramach opracowania pt. „Ochrona Środowiska”, na przestrzeni lat 2012–2017 wzrosła ilość wytwarzanych rocznie komunalnych osadów ściekowych w Polsce, która w roku 2017 osiągnęła poziom 1035,2 tys. ton suchej masy osadów ściekowych. Do powstawania tak dużych ilości komunalnych osadów ściekowych przyczynia się dynamiczny rozwój sieci kanalizacyjnych oraz oczyszczalni ścieków komunalnych.

Osady ściekowe zawierają substancje organiczne oraz pierwiastki biogenne, co czyni je materiałem przydatnym do wykorzystywania do celów rolniczych, nawożenia gleb i roślin jako cenne źródło azotu i fosforu, do produkcji kompostu, a także do rekultywacji terenów zdegradowanych.

W publikacji Ł. Kulikowski i in., pt.: „Przetwarzanie osadów ściekowych w nawóz mineralno-organiczny na platformie mobilnej”, Inżynieria Ekologiczna, Volume 20, Issue 1, March 2019, pages 38–44 przedstawiono możliwości użytkowego wykorzystania odpadów z oczyszczania ścieków komunalnych, poprzez wytwarzanie nawozów mineralno-organicznych w oparciu o oryginalną linię przetwórczą zainstalowaną na platformie mobilnej. Produktem opracowanej linii produkcyjnej są nawozy wieloskładnikowe, aktywne biologicznie o przedłużonym działaniu, w postaci granulowanej, przydatne zarówno w rolnictwie, jak i w ogrodnictwie.

Osady pobierane są bezpośrednio z węzła oczyszczalni, a technologia umożliwia przetwarzanie osadów bezpośrednio po ich wytworzeniu. Urządzenia umieszczone są na naczepie gotowej do użycia w ruchu drogowym, dzięki czemu cały proces przetwórczy może odbywać się w miejscu powstawania osadu – na terenie oczyszczalni ścieków.

W zgłoszeniu wynalazku PL420420 A1 ujawniono sposób otrzymywania nawozu organicznego z ustabilizowanych komunalnych osadów ściekowych, który charakteryzuje się tym, że mieszaninę powstałą z osadów ściekowych o uwodnieniu 75% (64% wagowo), mączki dolomitowej o uziarnieniu 0,2 mm (30% wagowo), wapna palonego (5% wagowo) i włókien celulozowych (1% wagowo) wprowadza się do mieszalnika dynamicznego przeciwbieżnego, a następnie do granulatora talerzowego i do suszarni, gdzie osad suszony jest w temperaturze 105–140°C, korzystnie w czasie 2h.

Osady ściekowe, w przypadku niewłaściwego sposobu ich zagospodarowania, mogą stanowić potencjalne zagrożenie dla środowiska, zawierają bowiem metale ciężkie takie jak m.in. Cd, Cu, Cr, Co, Ni, Hg, Pb i Zn oraz mikroorganizmy patogenne, w tym bakterie chorobotwórcze np. z rodzaju *Salmonella*, a także jaja pasożytów przewodu pokarmowego *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Toxocara* sp. Dlatego zwykle poddaje się je stabilizacji, czyli procesowi, w którym substancje organiczne ulegają transformacji w substancje nieorganiczne lub materiał bardzo słabo rozkładalny i procesowi higienizacji, w którym uzyskuje się eliminację organizmów chorobotwórczych.

Znane są metody stabilizacji połączonej z higienizacją chemiczną osadów ściekowych, polegające na zastosowaniu substancji silnie alkalizujących bądź zakwaszających, które powodują skuteczne zniszczenie mikroorganizmów chorobotwórczych, pasożytów i różnych form przetrwalnikowych. Powszechnie jako środek dezynfekcyjny stosowane jest wapno w postaci tlenku CaO (wapno palone) lub Ca(OH)₂ (wapno hydratyzowane), co opisano m.in. w publikacji K. Budzińska i in. pt.: „Higienizacja osadów ściekowych z wykorzystaniem wapna palonego i hydratyzowanego”, *Przemysł chemiczny* 2015, T. 94, nr 4, 614–618.

Ze zgłoszenia PL300569 A1 znany jest sposób dwuetapowej higienizacji szlamów z komunalnych oczyszczalni ścieków i zakładów przetwórstwa mięsnego, który polega na ich mieszanii z osadem ze ścieków przemysłu sodowego i pyłem wapiennym z zakładów wapienniczych lub z zakładów obróbki kamienia wapiennego i z zakładów wapienniczych, składowaniu, a następnie, w drugim etapie higienizacji przez zmieszanie z pyłem z elektrofiltrów z zakładów wapienniczych lub cementowni.

Ze zgłoszenia PL335710 A1 znany jest sposób unieszkodliwiania osadów ściekowych bytowo-gospodarczych, miejskich i przemysłowych realizowany poprzez kondycjonowanie, chemiczną stabilizację i higienizację, który polega na tym, że do osadów dodaje się siarczan żelazawy FeSO₄ i po do-

kładnym wymieszaniu doprowadza się odczyn osadów do pH nieprzekraczającego 6,0, po czym wprowadza się substancję chemiczną w postaci perhydrolu, ponownie miesza się przez okres 0,5–24,0 godzin i tak przygotowany osad poddaje się odwadnianiu. Siarczan żelazawy FeSO_4 dodaje się w ilości od 0,1 kg do 8,0 kg na 1 m³ osadów. Perhydrol dodaje się w ilości 0,5 kg do 40,0 kg na 1 m³ osadów.

Również ze zgłoszenia PL354963 A1 znany jest sposób unieszkodliwiania osadów z komunalnych i przydomowych oczyszczalni ścieków metodą higienizacji chemo-termicznej w środowisku zasadowym i prażenia w temperaturze od 150°C do 230°C. Osady pościekowe o uwodnieniu od 50 do 90% ogrzewa się i suszy wstępnie do poziomu uwodnienia 25–60% poprzez wymieszanie uwodnionych osadów z wapnem palonym i końcowym produktem, pełniącym rolę sorbentu, z wykorzystaniem egzotermicznej reakcji wapna z wodą odpadową w osadzie, przy czym na 1 część wagową osadów stosuje się od 0,5 do 5 części wagowych wapna palonego z jednoczesnym zewnętrznym podgrzewaniem masy odpadowej do temperatury procesowej 100°C (wspomagając egzotermiczny efekt reakcji wapna z wodą), w celu uzyskania końcowego produktu o walorach wysokozmineralizowanego nawozu, pozbawionego pasożytów, grzybów i mikroorganizmów chorobotwórczych.

Ze zgłoszenia PL414238 A1 znany jest sposób higienizacji osadów ściekowych z udziałem wapna palonego CaO, w którym odwodniony osad ściekowy poddaje się działaniu wapna palonego w procesie lasowania wapna palonego. Przed procesem lasowania osad ściekowy poddaje się procesowi hydratacji wstępnej, w którym odwodniony osad ściekowy o zawartości suchej masy wynoszącej od 15% wag. do 25% wag. miesza się z wapnem palonym w stosunku wagowym nie przekraczającym 0,9 kg CaO/1 kg suchej masy osadu, nie dopuszczając do homogenizacji osadu ściekowego.

Ze względu na koszty związane z użyciem wapna palonego do unieszkodliwiania osadów ściekowych, podejmowane są również próby zastąpienia go tańszymi materiałami np. odpadowymi, przy czym skład i właściwości użytych odpadów determinują zastosowania powstałego końcowego produktu.

Znany jest z opisu patentowego EP0566689 B1 sposób wytwarzania lekkiego kruszywa wytworzonego poprzez obróbkę popiołu lotnego ze spalania węgla i osadów ściekowych. Popiół i osady ściekowe miesza się i suszy, a następnie ogrzewa uzyskany granulát w piecu obrotowym w temperaturze 800–1200°C. Uzyskana mieszanka może być stosowana jako materiał opałowy.

Znany jest z opisu patentowego US4028130 A sposób unieszkodliwiania i wykorzystania osadów ściekowych. Osady w ilości 1–50%, o zawartości wilgoci 5–50% miesza się z wapnem w ilości 1–15% oraz popiołem lotnym ze spalania węgla w ilości 20–90% oraz ewentualnie siarczanami metali ziem alkalicznych, czy też glebą i wytwarza utwardzalną powietrzem kompozycję, która może być stosowana do uszczelniania składowisk lub utwardzania dróg.

W ostatnich latach na całym świecie powstaje coraz więcej popiołów z biomasy. Jest to związane z ogólnosiwiatowym trendem zwiększania udziału energii ze źródeł odnawialnych (w tym z biomasy) w bilansie energetycznym poszczególnych krajów. Biomasa jest uważana za atrakcyjny i jeden z najważniejszych źródeł pozyskiwania energii odnawialnej, a na całym świecie prowadzone są badania, mające na celu efektywne i ekonomicznie opłacalne zwiększenie wykorzystania biomasy do produkcji energii. Przykładowo kraje Unii Europejskiej zobowiązane zostały zapisami dyrektywy UE 2009/28/WE do osiągnięcia określonych celów dotyczących udziału energii ze źródeł odnawialnych w produkcji energii brutto do roku 2020. W konsekwencji, jak wskazała Europejska Agencja Środowiskowa, wykorzystanie biomasy do celów energetycznych w dużych i bardzo dużych elektrowniach potrojiła się w latach 2004–2016.

Konsekwencją przejścia energetyki zawodowej z tradycyjnych nośników energii na spalanie wyłącznie samej biomasy jest wytworzenie zupełnie nowych odpadów, znacznie różniących się od konwencjonalnych ubocznych produktów spalania węgla lub współspalania węgla z dodatkiem biomasy. Doprowadziło to do nowego problemu polegającego na tym, że powstałe odpady ze względu na brak wyraźnej technologii ich utylizacji są często składowane, stanowiąc tym samym kolejne zagrożenie dla środowiska.

W zależności od rodzaju biomasy oraz technologii spalania, odpady powstałe po spalaniu biomasy mają bardzo zróżnicowane oraz zmienne składy chemiczne i właściwości, inne niż np. popioły lotne ze spalania i współspalania węgla. Niekorzystne właściwości fizyko-chemiczne odpadów ze spalania wyłącznie samej biomasy, tj. wysoka zawartość związków chloru, potasu, fosforu, sodu czy też mała aktywność pucolanowa i hydrauliczna czynią je materiałem wyjątkowo trudnym do wykorzystania w tradycyjnym kierunku utylizacji dla innych popiołów lotnych, tj. w przemyśle materiałów budowlanych.

W energetyce zawodowej na świecie do spalania paliwa z biomasy najczęściej stosuje się kotły ze złożem fluidalnym. Technologia spalania biomasy w złożu fluidalnym pozwala bowiem na stosowanie

paliwa o niskiej wartości opałowej oraz o wysokiej zawartości popiołu, a także o wysokiej wilgotności. Pomimo zatem, iż popioły lotne ze spalania wyłącznie samej biomasy w kotłach energetyki zawodowej różnią się znacznie między sobą, to właśnie podobna technologia spalania w złożu fluidalnym powoduje, że popioły te zwykle zawierają także siarczany pierwiastków alkalicznych (sodu i potasu) i ziem alkalicznych (wapnia i magnezu), które mogą być konsekwencją wprowadzenia do złoża fluidalnego siarki w celu ograniczenia lotności alkaliów i tym samym uniknięcia korozji kotła. Z kolei obecność w popiołach związków siarki powoduje, że stanowią one niezmiennie korzystny składnik produktów nawozowych. Wiadomo z praktyki rolniczej i literatury naukowej np. D. Łuczowska i in., pt. „Płynne nawozy azotowo-siarkowe odpowiedzią na niedobory siarki w glebie”, *Chemicz* 2015, Vol. 69, nr 9 str. 557–563, że nawożenie siarką zwiększa plony i poprawia odporność roślin na choroby grzybowe. Biorąc pod uwagę fakt, że gleby na świecie są ubogie w siarkę i jej związki, istnieje silna potrzeba uzupełniania niedoboru tego składnika także poprzez dodatki nawozowe.

Nieoczekiwanie okazało się, że popioły lotne ze spalania wyłącznie samej biomasy w kotłach fluidalnych energetyki zawodowej można użyć do unieszkodliwienia osadów ściekowych, zamiast zwykle stosowanego droższego surowca wapniowego lub popiołów lotnych pochodzących ze spalania węgla oraz do uzyskania produktu o właściwościach nawozowych.

Istotą wynalazku jest zastosowanie popiołów lotnych uzyskanych ze spalania biomasy złożonej z peletów drzewnych i łusek słonecznika, w kotłach fluidalnych energetyki zawodowej, zawierających w % masowych: 13–23 CaO, z czego 5,7–16 stanowi CaO reaktywne, 3,0–4,5 MgO, 3,3–4,3 P₂O₅, 8–13 K₂O, 2–6% SO₃ oraz nie więcej niż 0,25% azotu, do unieszkodliwienia, w tym higienizacji i stabilizacji oraz immobilizacji metali ciężkich osadów ściekowych, zawierających mikroorganizmy patogenne, takie jak bakterie chorobotwórcze z rodzaju *Salmonella*, a także jaja pasożytów przewodu pokarmowego *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Toxocara* sp. oraz metale ciężkie takie jak Cr, Cd, Ni, Pb i Hg. Na 60–80% masowych osadów ściekowych odwodnionych do zawartości wody 80–90% stosuje się popioły w ilości 20–40% masowych, a powstały produkt końcowy ma właściwości nawozowe, gdyż unieszkodliwiony osad ściekowy nie tylko nie zawiera chorobotwórczych organizmów, ale także może stanowić środek wzbogacający glebę. Może on być wykorzystywany w rolnictwie do poprawy właściwości gleb ubogich w materię organiczną, jak również do nawożenia gruntów na cele nierolne, w tym dla uprawy roślin energetycznych oraz do rewitalizacji terenów zdegradowanych i rekultywacji składowisk odpadów. Popioły lotne ze spalania wyłącznie samej biomasy w kotłach fluidalnych energetyki zawodowej dostarczają mineralnych składników odżywczych dla roślin poprzez wzbogacenie gleby, a także stanowią dodatek immobilizujący metale ciężkie pochodzące z osadów ściekowych, takie jak: kadm, miedź, nikiel, ołów, cynk, rtęć, chrom, których dopuszczalne zawartości zostały określone w Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2015 poz. 257). Ponadto popioły lotne powstałe jako proces spalania biomasy w złożu fluidalnym zawierają także w swym składzie siarczany pierwiastków alkalicznych i ziem alkalicznych. Obecność w popiołach związków siarki powoduje, że stanowią one niezmiennie korzystny składnik produktów nawozowych.

Dodatkową zaletą jest zagospodarowanie odpadów w postaci popiołów lotnych ze spalania biomasy w kotłach fluidalnych energetyki zawodowej oraz osadów ściekowych.

Zastosowanie popiołów lotnych ze spalania biomasy złożonej z peletów drzewnych i łusek słonecznika w kotłach fluidalnych energetyki zawodowej do higienizacji i stabilizacji osadów ściekowych oraz immobilizacji metali ciężkich w osadzie objaśniono poniżej w praktycznym przykładzie realizacji wynalazku.

P r z y k ł a d

Zmieszano 20% masowych popiołów lotnych uzyskanych ze spalania wyłącznie samej biomasy w kotłach fluidalnych energetyki zawodowej oraz 80% masowych surowego osadu ściekowego, odwodnionego do zawartości wody 86%.

Użyto popiołów pochodzących ze spalania biomasy, w których wsad stanowiło 80% masowych peletów drzewnych oraz 20% masowych biomasy agro (łuski słonecznika).

Popioły o pH=13 zawierały:

– 43,61% masowych SiO₂

– 14,31% masowych CaO, z czego 5,86 stanowi CaO reaktywne

- 12,8% masowych K_2O
- 10,5% masowych Al_2O_3
- 5,68% masowych SO_3
- 4,28% masowych MgO
- 3,29% masowych P_2O_5
- 1,69% masowych Fe_2O_3
- 1,54% masowych Cl^-
- 0,5% masowych Na_2O
- 0,1% masowych N

a 1,7% masowych stanowiły straty prażenia.

Surowy osad ściekowy z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków miejskich zawierał mikroorganizmy chorobotwórcze *Salmonella* oraz żywe jaja pasożytów jelitowych *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Toxocara* sp w ilości 40 sztuk/kg s.m. oraz metale ciężkie w ilości w mg/kg s.m.: Cr 79,3, Ni 41,7, Cd 1,65, Pb 48,4, Hg 1,23.

Składniki mieszano, aż do uzyskania produktu końcowego w postaci granulatu, który kondycjonowano przez 30 dni na pryzmie w celu pełnej higienizacji.

Surowiec do stosowania w rolnictwie musi spełniać określone Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 w sprawie wykonania niektórych przepisów ustaw o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2008 119 poz. 765) (Rozporządzenie) wymagania jakościowe, tj. zawierać minimalną zawartość składników pokarmowych: N, P_2O_5 , K_2O , materii organicznej, ale jednocześnie nie może przekraczać dopuszczalnych wartości zanieczyszczeń: metali ciężkich oraz zanieczyszczeń mikrobiologicznych i parazytologicznych (jaj pasożytów).

Poniżej przedstawiono zawartości w produkcie końcowym najważniejszych składników pokarmowych (tabela 1) oraz zanieczyszczeń (tabela 2), w porównaniu do ilości minimalnych lub dopuszczalnych dla nawozu organicznego i nawozu organiczno-mineralnego, wskazanych w Rozporządzeniu.

T a b e l a 1

Składnik pokarmowy [% s.m.]	Zawartość w produkcie końcowym	Minimalna zawartość wg Rozporządzenia dla nawozu organicznego	Minimalna zawartość wg Rozporządzenia dla nawozu organiczno-mineralnego
N	1,32	0,3	1,0
P_2O_5	4,47	0,2	0,5
K_2O	1,2	0,2	1,0
Substancja organiczna	40	30	20

T a b e l a 2

Zanieczyszczenie [mg/kg s.m.]	Zawartość w produkcie końcowym	Dopuszczalna zawartość wg Rozporządzenia dla nawozu organicznego	Dopuszczalna zawartość wg Rozporządzenia dla nawozu organiczno-mineralnego
Chrom (Cr)	36,1	100	100
Kadm (Cd)	1,99	5	5
Nikiel (Ni)	30,0	60	60
Ołów (Pb)	21,6	140	140
Rtęć (Hg)	1,35	2	2
<i>Salmonella</i> wyizolowana w 100g	brak	brak	brak
Jaja pasożytów jelitowych [sztuk/kg sm]	0	0	0

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawione w tabeli 1 i tabeli 2 potwierdzają, że produkt końcowy, powstały w efekcie zastosowania popiołów lotnych ze spalania biomasy w kotłach fluidalnych energetyki zawodowej do unieszkodliwienia osadów ściekowych, charakteryzuje się wysoką wartością

substancji organicznej, składników biogennych, tj. azotu, fosforu w przeliczeniu na P_2O_5 oraz potasu w przeliczeniu na K_2O , a zatem spełnia wymagania dla nawozu organicznego oraz nawozu organiczno-mineralnego zgodnie z Rozporządzeniem. Wartości stężeń metali w produkcie końcowym nie przekraczają dopuszczalnej wartości dla Cr, Cd, Ni, Pb oraz Hg. Ponadto brak jest w produkcie końcowym żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., i *Toxocara* sp. oraz bakterii z rodzaju *Salmonella*, co potwierdza całkowite zajście procesu higienizacji osadów ściekowych po dodaniu popiołu lotnego ze spalania wyłącznie samej biomasy.

Wykonano ponadto testy wymywalności wodnej w produkcie końcowym, w celu weryfikacji zachodzenia procesu immobilizacji metali ciężkich. Wymywalność metali z produktu końcowego wynosiła [mg/kg s.m.]: Cr 0,0020, Cd 0,0001, Ni 0,248, Pb 0,00231, Hg < 0,0007, a pH odcieku wodnego z produktu wynosiła 7–7,5. Jak pokazują wyniki badania, wymywalność metali ciężkich z produktu końcowego jest niska, co potwierdza ich skuteczną immobilizację i brak szkodliwości ze strony produktu końcowego dla środowiska wodno-gruntowego.

Aby określić wpływ produktu końcowego, powstałego z mieszaniny osadu ściekowego i popiołu z biomasy na wzrost roślin przeprowadzono badanie fitotoksyczności ostrej z wykorzystaniem nasion roślin jedno i dwuliściennych. Produkt końcowy dodano w pierwszym stadium rozwojowym rośliny, tak aby zawarte w nich substancje zostały wchłonięte przez system korzeniowy roślin. Efektem badania była ocena wpływu mieszanki na wzrost roślin wskaźnikowych poprzez określenie procentowego zahamowania kiełkowania nasion IG, procentowego zahamowania wzrostu korzeni w glebie IR oraz wskaźnika kiełkowania GI, który jest najistotniejszym parametrem, charakteryzującym wpływ podłoża na kiełkujące rośliny. Stwierdzono, że gleba zmieszana z końcowym produktem powstałym w efekcie zastosowania popiołów lotnych ze spalania wyłącznie samej biomasy w kotłach fluidalnych energetyki z osadem ściekowym, nie wywarła negatywnego wpływu na kiełkowanie i wzrost korzeni jęczmienia, rzeżuchy oraz gorczycy. Dla każdej z tych roślin obliczony wskaźnik kiełkowania GI mieścił się w przedziale 80–110%.

Następnie zostały przeprowadzone próby terenowe (polowe) dla weryfikacji przydatności produktu o właściwościach nawozu, pod nasadzenia roślinności. Badania te prowadzone były przez jeden sezon wegetacyjny na poletku o wymiarach 15,1 m szerokości i 23,9 m długości w obrębie nieczynnych stawów osadowych odpadów poflotacyjnych ZGH Bolesław w Bukownie. Odpady poflotacyjne stanowiące podłoże na poletku doświadczalnym, charakteryzują się zupełnie niesprzyjającymi warunkami siedliskowymi dla roślin, biorąc pod uwagę jałowość podłoża jak i wysokie stężenia metali ciężkich, uniemożliwiające fizjologiczne funkcjonowanie i przeżywalność roślin. Poletko doświadczalne zostało zatem zasilone mieszką nawozową dodaną w ilości maksymalnego dopuszczalnego Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych, dodatku nawozu, tj. 15 Mg/ha. Następnie na tak przygotowanym podłożu nasadzono następujące gatunki roślin: irga, wierzba, sosna zwyczajna, modrzew oraz miskant, tawua golouno, pięciornik, pęcherznica diablo, krzewuska cudowna, świerk serbski, jałowiec i kosodrzewina. Przez cały okres trwania eksperymentu roślinność narażona była wyłącznie na warunki naturalne nasłonecznienia oraz nawodnienia (bez ingerencji z zewnątrz).

Po okresie trwania eksperymentu stwierdzono całkowitą przeżywalność wszystkich gatunków roślin oraz przyrost ich biomasy. Dodatek nawozu spowodował wzrost zawartości pierwiastków biogennych w podłożu, tj. azotu, fosforu oraz wzrost zaw. procentowej węgla ogólnego (TC), TOC, zawartości kwasów huminowych i polepszenie pojemności sorpcyjnych podłoża, co pozwoliło na rozwój i osiedlenie się roślin.

Zastrzeżenie patentowe

1. Zastosowanie popiołów lotnych uzyskanych ze spalania biomasy, złożonej z peletów drzewnych i łusek słonecznika, w kotłach fluidalnych energetyki zawodowej, zawierających w % masowych: 13–23 CaO, z czego 5,7–16 stanowi CaO reaktywne, 3,0–4,5 MgO, 3,3–4,3 P_2O_5 , 8–13 K_2O , 2–6% SO_3 oraz nie więcej niż 0,25% azotu, do unieszkodliwiania, w tym higienizacji i stabilizacji oraz immobilizacji metali ciężkich osadów ściekowych, zawierających mikroorganizmy patogenne, takie jak bakterie chorobotwórcze z rodzaju *Salmonella*, a także jaja pasożytów przewodu pokarmowego *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Toxocara* sp. oraz metale ciężkie takie jak Cr, Cd, Ni, Pb i Hg, przy czym na 60–80% masowy osadów ściekowych odwodnionych do zawartości wody 80–90% stosuje się popioły w ilości 20–40% masowych, a powstały produkt końcowy ma właściwości nawozowe.