



DOI: 10.18276/sip.2017.48/3-36

Józef Fraś*

Politechnika Poznańska

Sebastian Scholz**

A.S.A. Eko Polska Sp. z o.o.

Iłona Olsztyńska***

SGS Polska Sp. z o.o.

INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA W ZAGOSPODAROWANIU ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH I BIOMASY

Streszczenie

W artykule przedstawiono nowatorskie rozwiązania w zakresie zagospodarowania odpadów przemysłowych, do których m.in. należy biomasa. Innowacyjne technologie w zakresie przetwarzania odpadów pozwalają na stworzenie nowego produktu o całkowicie odmiennych parametrach z jednoczesnym pozytywnym oddziaływaniem na środowisko. Jedną z wciąż mało popularnych w Polsce technologii immobilizacji pozwala na zagospodarowanie odpadów przemysłowych, w tym niebezpiecznych, które dotychczas były składowane na wysypiskach odpadów lub przetwarzane na paliwo typu RDF. Dzięki technologii immobilizacji wymienione odpady można przetwarzać na obojętne chemicznie dodatki, wykorzystywane m.in. do wzbogacania mas betonowych. Celem tego opracowania jest przedstawienie rzadkich w gospodarczym wykorzystaniu, jednak wysoce innowacyjnych

* Adres e-mail: jozef.fras@put.poznan.pl.

** Adres e-mail: scholz.s@outlook.com.

*** Adres e-mail: ilona_olsztynska@o2.pl.

technologii, które ze względu na ich aktualny koszt są metodami droższymi od innych, bardziej rozpowszechnionych metod.

Słowa kluczowe: odpady przemysłowe, biomasa, immobilizacja, solidyfikacja, toryfikacja, toryfikat, biowęgiel, black pellet, OZE, BO₂ pelety

Wprowadzenie

Kwestie regulujące sposób postępowania z odpadami oraz wytyczne gospodarki odpadami w kraju reguluje kilkadziesiąt dokumentów prawnych. Z racji przynależności do Unii Europejskiej Polska zobligowana jest do stosowania wytycznych przyjętych przez Unię, a mianowicie Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej w sprawie odpadów (Dyrektywa PE, 2008). Niniejszy dokument definiuje m.in. ramy prawne postępowania z odpadami we wspólnocie. W Polsce regulacje te są zawarte zasadniczo w dwóch głównych ustawach: o odpadach (Ustawa, 2001), o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Ustawa, 1996).

Zgodnie z zapisami ustawy o odpadach (Ustawa, 2001, art. 17) w pierwszej kolejności powinno zapobiegać się powstawaniu odpadów, następnie powinno się przygotować odpady do ponownego użycia, poddać recyklingowi, innym procesom odzysku, a na samym końcu unieszkodliwiać. Wszystkie te działania powinny przebiegać zgodnie z zasadą bliskości, czyli zagospodarowanie odpadu powinno się odbyć jak najbliżej miejsca jego wytwarzania oraz zgodnie z najlepszą dostępną technologią.

W zakresie zagospodarowania odpadów, zwłaszcza pochodzenia rolniczego i leśnego, jedną z metod jest wykorzystanie ich na cele energetyczne w instalacjach OZE. W tym wypadku proces spalania nie jest utylizacją odpadów, a procesem przekształcania ich pod wpływem temperatury w ciepło i energię.

Proces produkcji energii OZE realizowany jest m.in. na podstawie krajowych przepisów prawa, z których nadrzędnym dokumentem jest ustawa o odnawialnych źródłach energii (Ustawa, 2015) oraz jej nowelizacja (Ustawa, 2016). Polska jako kraj członkowski Unii Europejskiej jest zobowiązana do uzyskania 15% udziału OZE w ostatecznym zużyciu energii do 2020 roku. Produkcja zarówno ciepła, jak i energii z biomasy jest najmniej kapitałochłonna, a substrat do jej produkcji jest łatwo dostępny. Ze względu na źródła pochodzenia różni się biomasę krajową,

z importu oraz biomasę tzw. leśną i agro (rolną). Definicja biomasy w ujęciu OZE opisuje również inne grupy substratów, a zawarta jest w ustawie o odnawialnych źródłach energii (Ustawa, 2015).

Każdy z tych substratów charakteryzuje się innymi parametrami fizykochemicznymi, wobec czego spalanie biomasy zarówno w dedykowanych do tego instalacjach, jak i we współspalaniu z węglem stanowi nie lada wyzwanie dla prowadzenia równomiernego procesu spalania.

Dla ustabilizowania parametrów biomasy poddaje się ją procesom uszlachtowania. Może to być np. peletyzacja lub toryfikacja. W wyniku zagęszczania biomasy uzyskuje się pelety, które mają ujednoczone wymiary, większą gęstość energetyczną, niższą zawartość wilgoci (Jakubiak, Kordylewski, 2008). Toryfikacja biomasy (*torrefaction*, tj. prażenie) jest procesem jej cieplnego przekształcania, który ma na celu ustabilizowanie parametrów fizykochemicznych biomasy oraz zbliżenie ich do właściwości węgla (Grecka, 2008). Toryfikat również może być peletyzowany, w efekcie czego uzyskuje się pelety drugiej generacji, tzw. *Blach pellet*.

1. Immobilizacja, czyli fizykochemiczne przekształcanie odpadów przemysłowych

Przetwarzanie odpadów może przybierać różne formy i metody. Najczęstszą metodą zagospodarowania odpadów w Polsce jest ich składowanie, przetwarzanie na paliwa typu RDF lub w ostatnim czasie spalanie z odzyskiem lub bez odzysku energetycznego. Każda z tych metod wiąże się z kolejnymi emisjami popiołów, pyłów, żużli i gazów oraz bezpośrednim oddziaływaniem na środowisko. Jedną z mniej popularnych, ciągle dynamicznie rozwijanych, technologii i metod jest zmiana fizycznych i chemicznych właściwości odpadu. Fizykochemiczne przekształcenie odpadów zmienia jego pierwotne właściwości przy wykorzystaniu określonych komponentów, których zastosowanie inicjuje reakcje chemiczne oraz wykrzystuje niektóre zjawiska fizyczne.

Immobilizacja, czyli stabilizacja i zestalanie odpadów, to przede wszystkim zmiana właściwości chemicznych odpadu. Jej zadaniem jest zestalanie odpadu w sposób uniemożliwiający wymywanie z niego szkodliwych związków rozpuszczalnych oraz zmianę parametrów fizycznych (w miarę możliwości), np. poprawiających jego wytrzymałość mechaniczną, mrozoodporność czy chłonność wilgoci.

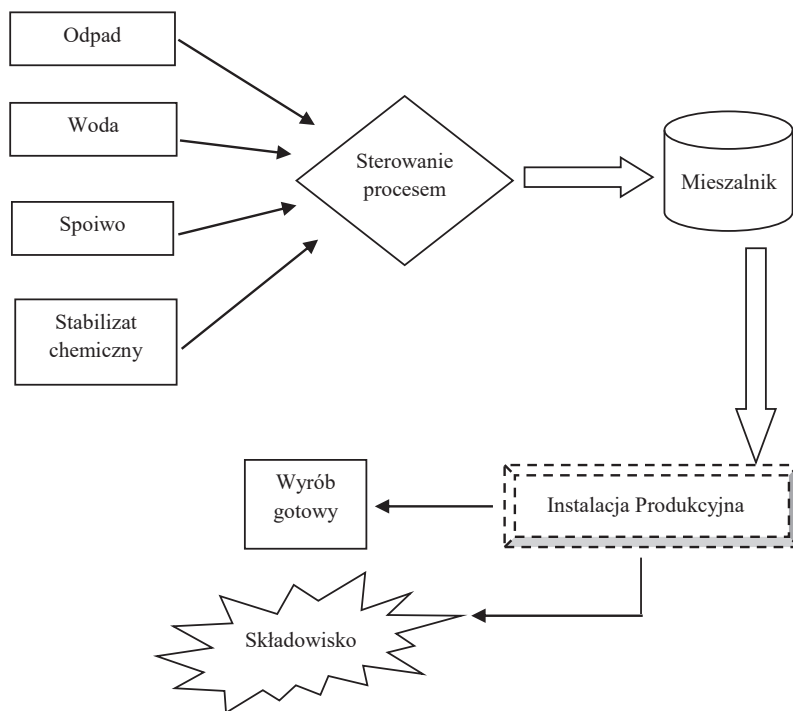
Technologia stabilizacji i zestalenia najlepiej sprawdza się w przypadku odpadów niezawierających lub zawierających niewielkie ilości związków organicznych. Z powodzeniem jest wykorzystywana przy zagospodarowaniu pyłów i szlamów przemysłowych, farb, lakierów, żużli czy skażonej i zanieczyszczonej ziemi.

Wyrobem końcowym z odpadów poddanych procesowi immobilizacji może być materiał w postaci kruszyw wykorzystywanych w budownictwie przemysłowym i drogowym, materiały budowlane wykorzystywane w produkcji kostek typu „Pozbruk”, a także bloczków betonowych wykorzystywanych w budownictwie przemysłowym. W przypadku niemożności zmiany czy poprawy parametrów fizycznych otrzymujemy odpad o parametrach obojętnych, a gdy procesowi były poddane odpady niebezpieczne, odpad niewykazujący cech odpadu niebezpiecznego. Zmiana właściwości chemicznych jest możliwa dzięki przekształceniu w procesie chemicznym związków rozpuszczalnych, takich jak siarczany i chlorki, w związki nierozpuszczalne – siarczki, wodorotlenki czy związki kompleksowe.

Tradycyjna technologia immobilizacji opiera się tylko na zastosowaniu spoiwa, najczęściej w postaci wapna lub cementu, które prowadzi do zestalenia za pomocą wiązań hydraulicznych związków rozpuszczalnych. Skuteczność tej metody jest uzależniona od kilku czynników, m.in. od ilości i jakości użytego spoiwa, warunków atmosferycznych, różnic temperatur czy wilgotności. Trwałość takiego wiązania ze względu na brak reakcji chemicznych przekształcających związki rozpuszczalne w nierozpuszczalne, kształtuje się na dwa do trzech lat (Fengler, 2016).

Najnowsze technologie immobilizacji bazują na znajomości składu chemicznego odpadu i doboru składu chemicznego związków zapewniających proces przekształcenia substancji rozpuszczalnych w nierozpuszczalne. Cały proces odbywa się w obiegu zamkniętym, najczęściej w temperaturze otoczenia lub nieznacznie wyższej. Instalacje tego typu można uznać za bezemisyjne ze względu na brak emisji gazów i pyłów do atmosfery. Ciągi technologiczne związane z transportem i/lub magazynowaniem materiałów sypkich są hermetyczne, co dodatkowo eliminuje kwestię zapylenia. Można zatem przyjąć, że metoda immobilizacji odpadów przy wykorzystaniu najnowszych technologii jest skutecznym i trwałym procesem unieszkodliwiania odpadów, w tym odpadów niebezpiecznych.

Rysunek 1. Schemat procesu immobilizacji



Źródło: opracowanie własne na podstawie EKRO (2016).

Odpad uzyskany w procesach immobilizacji trafiający na składowisko jest także wykorzystywany w charakterze przesyпки technologicznej. Poniżej przedstawiono wyniki uzyskane w procesie immobilizacji metodą Geodur dla popiołów i żużli po termicznym przekształceniu w spalarniach w Wiedniu i Warszawie. W przypadku odpadów ze spalarni Spittelau w Wiedniu zadaniem było uzyskać materiał obojętny do wykorzystania na składowisku odpadów komunalnych w charakterze przesyпки.

Odpad ze spalarni w Warszawie został przetworzony na granulát o wytrzymałości na ściskanie 3–4 N/mm². W obu przypadkach procesowi stabilizacji i zestawieniu zostały poddane odpady niebezpieczne w kodzie 19 01 11* – żużle i popioły paleniskowe zawierające substancje niebezpieczne oraz 19 01 13* – popioły lotne zawierające substancje niebezpieczne.

Tabela 1. Immobilizacja odpadów ze spalarni odpadów komunalnych Spittelau Wiedeń (Austria)

Parametr odpadu	Zawartość w odpadzie mg/kg	Zawartość w wyciągu wodnym mg/l	Wartości dopuszczalne mg/l
Cd	31	<0,005	1
Cr	96	0,09	20
Hg	3	<0,01	0,1
Ni	35	<0,1	10
Pb	1439	0,27	10
Zn	2682	0,19	100

Źródło: Fengler (2012), s. 42.

Tabela 2. Immobilizacja odpadów ze spalarni odpadów ZUSOK Warszawa

Parametr odpadu	Zawartość w odpadzie mg/kg	Zawartość w wyciągu wodnym mg/l	Wartości dopuszczalne mg/l
Zn	29 980	<0,020	5
Cu	17 770	0,010	5
Pb	5 000	<0,149	1

Źródło: Fengler (2012), s. 43.

Niewątpliwą zaletą immobilizacji jest możliwość zmiany odpadów niebezpiecznych w obojętne, nadające się do dalszego wykorzystania. Pominięcie kosztownego procesu utylizacji lub składowania odpadów niebezpiecznych ma bezpośredni wpływ na koszty gospodarowania odpadami, a także na środowisko naturalne.

Obecnie w Polsce funkcjonuje tylko kilka instalacji oferujących technologie Geodur, zlokalizowanych w województwie wielkopolskim, śląskim i mazowieckim. Ze względu na koszty transportu odpadów trafia do nich nieznaczny procent odpadów mogących być w ten sposób zagospodarowanych. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku instalacji oferujących procesy immobilizacji bez wykorzystania technologii Geoduru. W dalszym ciągu najpopularniejszą metodą zagospodarowania odpadów niebezpiecznych jest ich składowanie. Główną barierą w rozwoju technologii Geodur są wysokie koszty licencyjne.

2. Toryfikacja metodą waloryzacji biomasy

Od początku rozwoju odnawialnych źródeł energii mocno rozpowszechnioną metodą stała się produkcja energii ze współspalania biomasy z węglem. Najczęściej proces ten prowadzony jest w kotłach pyłowych ze względu na prostotę oraz niski koszt uzyskiwania energii OZE. Niestety, produkcja energii ze spalania biomasy (zarówno w instalacjach dedykowanych, jak i w procesie współspalania) wiąże się z licznymi problemami, są to m.in. utrudnienia eksploatacji kotła na skutek sedymentacji biomasy, tworzenie się nawisów, oblepiania zbiorników przykotlewych, obniżanie zdolności przemiałowej młynów, intensyfikacja zużycia i korozji powierzchni ogrzewalnych oraz pogorszenie bezpieczeństwa w zakładzie energetycznym w wyniku zwiększenia zagrożenia pożarowo-wybuchowego (Kordylewski, Tatarek, 2012).

Proces toryfikacji polega na termicznym przetwarzaniu biomasy typu ligninocelulozowego (biomasa pochodzenia leśnego oraz agro), który jest rodzajem prażenia, tj. poddawania surowca wysokiej temperaturze (200–300°C), w ciśnieniu zbliżonym do atmosferycznego, bez dostępu tlenu i na końcu schładzanym. Ważne jest, aby w procesie toryfikacji temperaturę podnosić stopniowo nie więcej niż 50°C/min. W wyniku tego procesu uzyskuje się paliwo stałe, które nazywane jest toryfikatem lub biowęglem. Paliwo to charakteryzuje się wyższym stopniem uwęglenia, wzrostem kaloryczności, lepszą zdolnością przemiałową oraz hydrofobową naturą materiału (Kordylewski, Tatarek, 2012). W literaturze spotyka się również inne określenia dla tego procesu: powolna i łagodna piroliza, wysokotemperaturowe suszenie.

Toryfikacji może być poddawany każdy rodzaj ligninocelulozowej biomasy. Zasadniczy proces toryfikacji składa się z etapów suszenia, pirolizy i zgazowania. Jest on prowadzony w reaktorze o kontrolowanej temperaturze, który może być rodzaju pośredniego (ciepło dostarczane jest do biomasy przeponowo przez nośnik energii: parę wodną, wodę, olej, spaliny) lub bezpośredniego (ciepło przekazywane bezpośrednio do biomasy ze spalin lub innego gazu reaktorowego, np. zgazowywar-ki i suszarnie fluidalne) (Jakubiak, Kordylewski, 2008).

Pod wpływem toryfikacji w biomacie następują nieodwracalne zmiany w zakresie modyfikacji struktury składników ligninoceluloz: ligniny, holocelulozy i w mniejszym stopniu celulozy. Zmniejsza się także masa początkowa biomasy

nawet o 30% na skutek procesu suszenia i usuwania wilgoci oraz wydzielenia się substancji lotnych (Jakubiak, Kordylewski, 2010). W tym procesie zmienia się zasadniczo zawartość tlenu i wodoru (ubywają) do węgla (pozostaje prawie bez zmian).

W procesie toryfikacji wydzielają się różne substancje lotne, są to: torgaz (substancje palne), woda i CO₂. Torgaz jest gazem wilgotnym i jego skład zależy od wilgotności biomasy. W efekcie końcowym toryfikat uzyskuje parametry zbliżone do niskiej jakości węgla, dlatego nazywany jest *biocoal* lub biowęgiel. Wraz ze wzrostem temperatury procesu oraz wydłużaniem czasu przebywania surowca w reaktorze zwiększa się gęstość energii w biowęglu. Przy temperaturze przekraczającej 350°C następuje proces powstawania węgla drzewnego, dlatego nie jest wskazane przekraczanie tej temperatury. Proces toryfikacji trwa około godziny, po tym czasie przedłużenie procesu nie wpływa na zmianę masy i energii toryfikatu.

Badania przeprowadzone dla toryfikacji biomasy agro (słoma pszenna, żytnia, rzepakowa) wskazują, że proces ten wpływa na takie parametry, jak kaloryczność (tab. 3), gęstość nasypowa, zdolność przemiałowa.

Tabela 3. Kaloryczność (MJ/kg) biomasy i toryfikatu

Parametr odpadu	Słoma pszenna	Toryfikat SP 260/10*	Toryfikat SP 260/20**	Słoma żytnia	Toryfikat SP 260/10*	Toryfikat SP 260/20**	Słoma rzepakowa	Toryfikat SP 260/10*	Toryfikat SP 260/20**
Piec Carbolite	15,13	16,75	16,67	–	–	–	14,12	17,44	17,19
W złożu fluidalnym	14,90	16,30	16,70	15,60	16,46	16,37	–	–	–

* Toryfikacja przez 10 min.

** Toryfikacja przez 20 min.

Źródło: Kordylewski, Tatarek (2012), s. 112.

Dla toryfikatu uzyskuje się większą ilość frakcji drobnej i najdrobniejszej w procesie przemiału. Zaobserwowano również, że w wyniku toryfikacji nieznacznie zmniejsza się zawartości części lotnych paliwa oraz wzrasta ilość substancji mineralnych w stosunku do parametrów dla biomasy przed toryfikacją (Kordylewski,

Tatarek, 2012). W związku z powyższym spalanie tego paliwa w procesie współspalania z węglem w kotłach pyłowych nie stanowi żadnego problemu i nie wymaga zmian układów nawęglania i paleniskowego.

Paliwo otrzymane w procesie toryfikacji można poddać także peletyzacji, technologia ta nazywana jest BO_2 (Grecka, 2008). BO_2 pelety są paliwem o lepszych właściwościach higroskopijnych od peletów z trocin, co ułatwia ich transport, przechowywanie i magazynowanie (Lechwacka, 2008). Mają również mniejszą gęstość nasypową ($100\text{--}300\text{ kg/m}^3$) w stosunku do biomasy oraz węgla. Wpływa to na poprawę ekonomiki transportu i zmniejszenie kosztów dostaw do instalacji spalającej. Ze względu na wyższy koszt materiału wejściowego pelety z toryfikatu są droższe od peletów z trocin (Lechwacka, 2008).

Toryfikacja biomasy znana jest od dawna, jednak ze względów ekonomicznych i koncesyjnych nie jest w Polsce wykorzystywana do celów energetycznych (Żuwała, Kopczyński, Kazalski, 2015). Pomimo wielu korzystnych właściwości toryfikat nie jest klasyfikowany jako biomasy na cele energetyczne w Polsce, przez co nie jest możliwe uzyskanie wsparcia w postaci świadectw pochodzenia. Urząd Regulacji Energetyki (URE) nie traktuje toryfikatu jako biomasy, czyli paliwa z odnawialnych źródeł energii, przypuszczalnie dlatego że dotychczas stosowane metody badań fizycznych i fizykochemicznych cech stosowanych dla biomasy surowej nie pozwalają na jednoznaczne potwierdzenie charakteru biomasowego toryfikatu (Żuwała, Kopczyński, Kazalski, 2015).

Podsumowanie

Stawiane wymagania krajom Unii Europejskiej w zakresie gospodarki odpadowej i rozwoju odnawialnych źródeł energii sprzyja rozwojowi nowych technologii oraz ich uprzemysławianiu. Rozwój innowacyjnych technologii w zakresie przetwarzania odpadów i uszlachetniania pozostałości poprodukcyjnych wiąże się z powstawaniem nowych produktów i ich zastosowań, neutralizacją szkodliwych substancji oraz zmniejszaniem ich ilości na składowiskach śmieci, uzyskiwaniem poprawionych i ustabilizowanych parametrów nowego paliwa drugiej generacji (pelety z toryfikatu), które może zastąpić nawet węgiel. Coraz szersze wykorzystanie odpadów, które dotychczas były składowane na wysypiskach, oraz rozwój technologii umożliwiającej ich wykorzystanie jako paliwa alternatywnego szeroko

przyczynia się do ochrony środowiska naturalnego. Stopniowa eliminacja paliw kopalnych i zastępowanie ich paliwami odnawialnymi, paliwami wykonanymi z odpadów i biomasy są coraz bardziej rozpowszechniane. Jednak o tempie i zakresie zmian decydują w dużej mierze regulacje prawne oraz koszt technologii. Ciągłe dążenie do jak największych poziomów recyklingu i odzysku prowadzi do rozwoju nowych koncepcji i technologii. Konieczne jest jednak prowadzenie prac nad obniżaniem kosztów tych technologii, aby powstające w ich efekcie produkty były bardziej konkurencyjne względem już istniejących na rynku.

Literatura

- Dyrektywa PE (2008). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy. DzU L 312 z 22.11.2008, s. 3–30.
- EKRO (2016). Pobrano z: <http://www.ekro.biz> (3.10.2016).
- Fengler, M. (2012). Stabilizacja i zestalanie (imobilizacja) odpadów niebezpiecznych ze spalarni odpadów komunalnych w technologii „Geodur”. *Piece Przemysłowe & Kotły*, 11–12, 38–44.
- Fengler, M. (2016). *Immobilizacja odpadów niebezpiecznych*. Pobrano z: http://ekologia-info.enginepro.pl/index.php?lang=1&menu=4&menu_select=116&podmenu_select=397&nreko=701 (9.10.2016).
- Grecka, K. (2008). Produkcja pelet z białego węgla – przykład z Holandii. *Czysta Energia*, 80, 36–40.
- Jakubiak, M., Kordylewski, W. (2008). Pelety podstawowym biopaliwem dla energetyki. *Archiwum Spalania*, 8 (3–4), 1–12.
- Jakubiak, M., Kordylewski, W. (2010). Toryfikacja biomasy. *Archiwum Spalania*, 10 (1–2), 1–9.
- Kordylewski, W., Tatarek, A. (2012). Wybrane właściwości toryfikatów z krajowych i importowanych biomas. *Archiwum Spalania*, 12 (3), 109–116.
- Kordylewski, W., Tatarek, A., Ostrawski, W. (2011). Raport z badań toryfikacji biomasy. *Raporty Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Wrocławskiej. Seria SPR*, 33, 1–7.
- Lechwacka, M. (2008). Toryfikacja biomasy – holenderskie doświadczenia. *Czysta Energia*, 11, 58–60.
- URE (2011). Informacja Prezesa URE nr 30/2011 w sprawie kwalifikacji biomasy na cele energetyczne z 4 października 2011 r. Pobrano z: ure.gov.pl.

- Ustawa (1996). Ustawa z 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach. DzU 1996, nr 132, poz. 622 z późn. zm.
- Ustawa (2001). Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. o odpadach. DzU 2001, nr 62, poz. 628 z późn. zm.
- Ustawa (2015). Ustawa z 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii. DzU 2015, poz. 478.
- Ustawa (2016). Ustawa z 22 czerwca 2016 r. o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw. DzU 2016, poz. 925.
- Żuwała, J., Kopczyński, M., Kazalski, K. (2015). Koncepcja systemu uwierzytelniania biomasy taryfikowanej w perspektywie wykorzystania paliwa na cele energetyczne. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, 18 (4), 89–100.

INNOVATIVE SOLUTIONS FOR MANAGEMENT OF INDUSTRIAL WASTE AND BIOMASS

Abstract

In the article will be presented innovative solutions for industrial waste management, which include, among others biomass. Innovative technologies in the field of waste processing allow to create a new product with completely different parameters with the positive influence on the environment at the same time. One of the still little common technology in Poland is immobilization, which allows the use of industrial waste, including hazardous waste, that used to be stored on waste handling job sites or processed a fuel type of RDF. Thanks to immobilization, these wastes can be processed into chemically neutral additives used, inter alia, to enrich the concrete masses. The purpose of this study is to present a rare economic use, but highly innovative technology. Due to their current cost of production that methods are more expensive than other, more common methods.

Keywords: industrial waste, biomass, immobilization, solidifying, torrefaction, biocarbon, black pellet, renewable energy sources, BO2 pellet

JEL codes: L65, O30, Q42

