



# INSTYTUT BIOPOLIMERÓW I WŁÓKIEN CHEMICZNYCH

## INSTITUTE OF BIOPOLYMERS AND CHEMICAL FIBRES



ul. Skłodowskiej-Curie 19/27, 90-570 Łódź, e-mail: [ibwch@ibwch.lodz.pl](mailto:ibwch@ibwch.lodz.pl), <http://www.ibwch.lodz.pl>,  
tel sekret. +42 6376744, fax sekret. +42 6376214 tel centr. +42 6376510, fax centr.+42 6376501

---

### Laboratorium Ochrony Środowiska

tel. 042 6380351, e-mail: [michniewicz@ibwch.lodz.pl](mailto:michniewicz@ibwch.lodz.pl), [nls@ibwch.lodz.pl](mailto:nls@ibwch.lodz.pl)

**Umowa/Zlecenie Nr:**  
3/BAT/2010 z dnia 02.02.2010r.

**Zleceniodawca:**  
Ministerstwo Środowiska  
ul. Wawelska 52/54  
00-922 Warszawa

**Kierownik tematu:**  
dr inż. Małgorzata Michniewicz

### SPRAWOZDANIE

z pracy: „Analiza stanu techniki w zakresie  
Najlepszych Dostępnych Technik dla branży celulozowo-papierniczej”

**Etap: II/2010**

**Gospodarka odpadami -  
nowoczesne sposoby utylizacji odpadów z produkcji mas włóknistych i papieru**



Narodowy Fundusz  
Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej

**Sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony  
Środowiska i Gospodarki Wodnej, pochodzących z opłat  
rejestracyjnych, na zlecenie Ministra Środowiska**

dr inż. Danuta Ciechańska  
Dyrektor

Autorzy pracy:

mgr inż. Michał Janiga

dr inż. Małgorzata Michniewicz

## Spis treści

	Strona
1. Wprowadzenie .....	2
2. Charakterystyka odpadów z produkcji mas włóknistych i papieru .....	2
3. Techniki gospodarowania odpadami .....	3
3.1. Informacje ogólne .....	3
3.2. Metody gospodarowania odpadami organicznymi stosowane obecnie w papierniach	3
3.3. Alternatywne (niekonwencjonalne) metody odzysku odpadów organicznych .....	4
4. Aspekty ekologiczne i ekonomiczne .....	9

Praca pt.: *Analiza stanu techniki w zakresie Najlepszych Dostępnych Techniek dla branży celulozowo-papierniczej*, realizowana na zlecenie Skarbu Państwa – Ministra Środowiska, stosownie do umowy nr 3/BAT/2010, jest kontynuacją pracy na ten sam temat wykonywanej w latach 2006 ÷ 2009 w związku z obowiązkiem krajów członkowskich UE systematycznego śledzenia kierunków rozwoju techniki i technologii w poszczególnych sektorach przemysłu. Obowiązek taki wynika z §16 dyrektywy Rady 96/61/WE o zintegrowanym zapobieganiu i ograniczaniu zanieczyszczeń (IPPC).

## 1. Wprowadzenie

Szacowane ilości odpadów wytwarzanych przez europejski przemysł papierniczy wynoszą około 11 mln ton rocznie, z czego 70% pochodzi z recyklingu papieru<sup>1)</sup>. Wytwarzane odpady posiadają bardzo zróżnicowany skład, począwszy od odpadów zawierających prawie wyłącznie substancje organiczne (odpady z oczyszczania masy) po odpady mineralne pochodzące z regeneracji chemikaliów w metodzie siarczanowej wytwarzania masy celulozowej oraz odpady ze spalania paliw (popioły).

W Unii Europejskiej zostało wydanych kilka dyrektyw, których zadaniem jest wywarcie wpływu na strategię gospodarki odpadami, firm produkujących papier. Prawo znacznie ogranicza możliwość składowania odpadów ograniczonych, choć definitywnie nie zrezygnowano z ich składowania.

Nie wszystkie techniki zagospodarowania odpadów, sprawdzające się z powodzeniem w innych przypadkach, mogą znaleźć zastosowanie w odniesieniu do odpadów papierniczych - zwłaszcza odpadów z przerobu makulatury. Wpływ na to mają: duża wilgotność odpadów, znaczne ilości oraz zmienność składu. W odniesieniu do tego rodzaju odpadów metody ich przetworzenia (np. konwersja w paliwo) są po prostu za drogie, a w niektórych przypadkach pozytywny wpływ na środowisko może być problematyczny.

Wydaje się, że w odniesieniu do odpadów z przerobu makulatury praktyczne znaczenie mają lub będą miały już w niedalekiej przyszłości następujące procesy:

- procesy termiczne: piroliza i zgazowanie - jako techniki uznane i zalecane do stosowania,
  - hydroliza w celu uzyskania etanolu - w odniesieniu do uwodnionych szlamów i osadów.
- Mogą one stanowić alternatywne źródło zagospodarowania substancji organicznych zawartych w tych odpadach. Na obecnym etapie metody te są jeszcze uznawane za techniki wschodzące.

## 2. Charakterystyka odpadów z produkcji mas włóknistych i papieru

W przemyśle celulozowo-papierniczym powstaje wiele strumieni odpadów stałych, charakteryzujących się zróżnicowanym składem chemicznym i właściwościami fizykochemicznymi. Właściwości i skład odpadów zależą od technologii wykorzystywanej w procesie wytwarzania mas włóknistych i papieru, rodzaju masy, rodzaju produkowanego papieru, wykorzystywanego surowca, zaplecza technicznego (doposażenia, rodzaju i wydajności) zarówno wykorzystywanego w produkcji papieru jak i eliminacji zanieczyszczeń.

Odpady, w zależności od miejsca ich powstania i stosowanego surowca, zawierają m.in.<sup>2,3)</sup>:

- substancje stałe mineralne: szlamy pokaustyzacyjne, popioły, osady z przygotowania wody świeżej, wypełniacze, pigmenty, itp.,
- substancje organiczne: kora, drewno i włókno odpadowe, osady z mechanicznego i biologicznego oczyszczania ścieków i wód obiegowych, itp.,
- lotne związki organiczne: metanol, etanol, merkaptan metylu, dwusiarczek dwumetylu, itp.,
- metale alkaliczne i ziem alkalicznych (Ca, Na, K, Mg) oraz śladowe ilości metali ciężkich.

<sup>1)</sup> Monte M.C., Fuente E., Blanco A., Negro C.: „Waste management from pulp and paper production in the European Union”, Chemical Engineering Department, Complutense University of Madrid, Avenida Complutense s/n, 28040 Madrid, 2008.

<sup>2)</sup> Machado Martins F., Martins J.M., Ferracin L.C., da Cunha C.J.: „Mineral phases of green liquor dregs, slaker grits, lime mud and wood ash of a Kraft pulp and paper Mill”, Journal of Hazardous Materials, 147, 610-617, 2007.

<sup>3)</sup> Komisja Europejska: „Zintegrowane Zapobieganie i Ograniczanie Zanieczyszczeń (IPPC), Dokument Referencyjny BAT dla najlepszych dostępnych technik w przemyśle celulozowo-papierniczym”, Bruksela, 2001.

### **3. Techniki gospodarowania odpadami<sup>1,2,3)</sup>**

#### **3.1. Informacje ogólne**

Podstawowe zasady gospodarki odpadami uwzględniające dostosowanie się do wymagań najlepszych dostępnych technik obejmują:

- zapobieganie powstawaniu odpadów,
- stosowanie technik, pozwalających na minimalizację wytwarzania odpadów,
- selektywne gromadzenie odpadów, których powstawanie w procesach produkcyjnych jest nieuniknione,
- odzysk odpadów w całości lub części w możliwie szerokim zakresie,
- unieszkodliwianie odpadów, dla których nie można zastosować procesów odzysku.

Opracowanie i skuteczne wdrożenie programu gospodarowania odpadami, zwłaszcza w obszarze minimalizacji ilości ich powstawania może zmniejszyć koszty funkcjonowania instalacji a nawet prowadzić do wzrostu jej wydajności.

Opracowując plan gospodarowania odpadami należy mieć na uwadze techniki minimalizacji odpadów, które mogą przyczynić się do zmniejszenia ich ilości:

- planowanie produkcji i jej etapowanie,
- regulacja urządzeń lub ich modernizacja,
- zastępowanie surowca,
- zapobieganie powstawaniu potencjalnych szkód i ich likwidacja,
- segregacja odpadów i ich separacja,
- recykling.

W wielu papierniach problem odpadów traktowany jest priorytetowo. Odnosi się to zwłaszcza do strumieni odpadów technologicznych, zawierających włókna celulozowe. Wysoki stopień zawrócenia włókna (jego recykling wewnętrzny) z jednej strony ogranicza straty cennego surowca oraz konieczność dodatkowego uzupełniania np. masą celulozową z zewnątrz a z drugiej zmniejsza ilość powstających odpadów i obniża koszty funkcjonowania papierni. Zmniejszenie ilości włókna odpadowego uzyskuje się np. poprzez wprowadzenie planowej gospodarki surowcowej w obrębie sortowania i mielenia masy papierniczej. Osiąga się to dzięki:

- ograniczeniu strat włókna odprowadzanego do ścieków przez zastosowanie zamkniętego systemu mielenia,
- stosowaniu lepszych jakościowo gatunków makulatury, które generują mniejsze ilości odpadów podczas produkcji,
- stosowaniu nowoczesnych technik maksymalizacji odzysku włókna, a tym samym zmniejszenia strat surowca w ściekach
- unowocześnianiu technik wykańczania papieru, w celu zwiększenia możliwości ponownego wykorzystania odpadu,
- stosowaniu przyjaznych technik recyklingu opakowań.

#### **3.2. Metody gospodarowania odpadami organicznymi stosowane obecnie w papierniach**

Odpady o wysokiej zawartości substancji organicznych, takie jak osady włókniste z różnych etapów produkcji oraz osady i szlamy z oczyszczania ścieków są zazwyczaj wysoko uwodnione oraz szczególnie te ostatnie – często trudno odwadniane. Najczęściej obecnie stosowaną techniką odzysku tego rodzaju odpadów<sup>1,3)</sup> jest ich zagęszczanie i odwadnianie

(osadniki, odwłókniacze, filtry, prasy) a następnie spalanie jako dodatek do paliwa podstawowego w kotłach opalanych korą lub miałem węglowym.

Inne stosowane sposoby postępowania z tymi odpadami polegają na ich rozproszaniu na powierzchni ziemi lub składowaniu. Pewne niewielkie ilościowo zastosowania<sup>1)</sup> odpady te znalazły w innych przemysłach jak przemysł materiałów budowlanych i materiałów do budowy dróg, rolnictwo (nawożenie gleb) oraz rekultywacja terenów zdegradowanych. Z uwagi na fakt, iż w ostatnich latach umieszczanie odpadów organicznych na składowiskach jest bardzo restrykcyjnie ograniczane, prowadzi się intensywne badania nad wykorzystaniem niekonwencjonalnych metod odzysku odpadów organicznych z przemysłu celulozowo-papierniczego.

### **3.3. Alternatywne (niekonwencjonalne) metody odzysku odpadów organicznych**

Techniki odzysku odpadów o wysokiej zawartości związków organicznych w suchej masie, które mogą być brane pod uwagę przez producentów mas włóknistych i papieru obejmują:

- Procesy termiczne
  - spalanie z odzyskiem energii,
  - piroliza,
  - reforming parowy,
  - zgazowanie,
- Procesy utleniania chemicznego:
  - utlenianie na mokro,
  - utlenianie w warunkach nadkrytycznych w środowisku wodnym,
- Wykorzystanie rolnicze i przyrodnicze:
  - kompostowanie,
  - melioracja i poprawa gleby,
- Odzysk substancji zawartych w odpadzie:
  - ponowne wykorzystanie odpadu w produkcji,
  - produkcja wypełniaczy mineralnych,
  - produkcja materiałów budowlanych i cementu,
  - produkcja materiałów izolacyjnych i ogniotrwałych.

Poniżej przedstawiono zwięzłą informację na temat wymienionych wyżej technik wraz z podaniem źródeł literaturowych informacji.

#### **• Piroliza<sup>1,4)</sup>**

W procesie pirolizy, (zwanej również destylacją destrukcyjną) odpad organiczny jest ogrzewany bez dostępu tlenu. Produktem końcowym pirolizy jest mieszanina paliw gazowych i ciekłych. Technika ta może być techniką alternatywą dla spalania i składowania odpadów papierniczych. Technologia pirolizy została opracowana dla odpadów o wysokiej zawartości węgla, takich jak odpady drewna, ropy naftowej, tworzyw sztucznych oraz gumy; nie jest ona jeszcze w wystarczającym stopniu dostosowana dla odpadów papierniczych.

---

<sup>4)</sup> Fytli D., Zabaniotou A.: „Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods - A review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 116–140, 2008.

Proces pirolizy prowadzi się w atmosferze beztlenowej, w temperaturze od 400 do 800°C, podwyższonym ciśnieniu i z wykorzystaniem ogrzewania przeponowego. W wyniku ogrzewania i działania podwyższonego ciśnienia substancje organiczne zawarte w odpadach ulegają rozkładowi na gazy, oleje i smoły. Prowadzone są intensywne badania, przez różne europejskie ośrodki badawcze, które mają na celu dostosowanie tej technologii do utylizacji osadów z produkcji papieru.

- **Reforming parowy<sup>1,5)</sup>**

Idea reformingu parowego opiera się na innowacyjnej technologii spalania impulsowego, które odbywa się w tzw. reaktorze reformingu parowego. Spalanie impulsowe to proces spalania wykorzystujący zjawisko pulsacyjnego spalania paliwa podawanego do palnika z pewną określoną częstotliwością (max 1 Hz). Technologia ta zapewnia lepszy współczynnik przeniesienia ciepła, bardziej kompletne spalanie oraz niski poziom emisji NOx. Ponadto, współpracując z reformingiem parowym w temperaturze 500-600°C, tj. niższej niż normalna temperatura spalania, zmniejsza parowanie metali ciężkich, które pozostają w popiele. Technologia ta jest obecnie wykorzystywana do przetwarzania osadów ściekowych. Jest jednak nadal uważana za technologię wschodzącą obróbki osadu papierniczego.

- **Mokre utlenianie<sup>1,4)</sup>**

Utlenianie na mokro jest procesem, w którym zanieczyszczenia organiczne, ciekłe lub stałe, znajdujące się w cieczy poddaje się działaniu utleniacza w warunkach wspomagających ich szybki rozkład. Proces prowadzony jest w fazie wodnej w temperaturze 150÷330°C i pod ciśnieniem 1÷22 MPa przy użyciu powietrza lub czystego tlenu.

Zaletą tego procesu, z uwagi na utleniania chemiczne, jest całkowity brak wrażliwości na problemy związane z toksycznością rozkładanych substancji (co ma miejsce w przypadku procesów biologicznych). Utlenianie prowadzone jest w środowisku wodnym, w którym woda stanowi medium dla rozpuszczonego tlenu i innych składników utleniających oraz reaguje z substancjami organicznymi. W tym przypadku woda jest integralną częścią procesu działając jako katalizator i substrat reakcji hydrolizy. Tlen i pochodzące wody rodniki reagują ze związkami organicznymi, tworząc rodniki organiczne. Uważa się, że powstające wolne rodniki organiczne są kluczowym czynnikiem w chemii mokrego utleniania. Katalizatorami są metale: miedź i żelazo oraz w celu zwiększenia efektywności reakcji mogą być stosowane również metale szlachetne<sup>4)</sup>.

W wyniku mokrego utleniania, jako podstawowe produkty końcowe, powstają CO<sub>2</sub> i woda, oraz kwasy karboksylowe, głównie: kwas octowy, mrówkowy i szczawiowy. Kwasy te ulegają biodegradacji i mogą być usunięte przy użyciu konwencjonalnych technik biologicznych.

Gaz uwalniany z mokrego utleniania zawiera śladowe ilości tlenków azotu, tlenków siarki i pyłu zawieszonego. W zależności od składu oczyszczanego strumienia odpadów gazy odlotowe mogą zawierać: lotne związki organiczne (aldehydy, ketony i alkohole), które mogą być usunięte przez utlenianie termiczne.

Technologia mokrego utleniania znajduje już zastosowanie w Europie, jako nowa technika, do obróbki osadów papierniczych.

Do zalet techniki mokrego utleniania należą:

- mała wrażliwość na zmiany właściwości strumienia utylizowanych odpadów,

---

<sup>5)</sup> Demirbas A.: „Progress and recent trends in biofuels Ayhan Demirbas”, Progress in Energy and Combustion Science, 33, 1–18, 2007.

- niewielkie, w odniesieniu do tradycyjnych systemów biologicznych, gabaryty instalacji,
- możliwość utylizacji odpadów niebezpiecznych i toksycznych o dużych stężeniach,
- uzyskiwanie wysokiego stopnia redukcji zanieczyszczeń,
- niskie, w porównaniu z tradycyjnymi systemami biologicznymi, koszty oczyszczania,
- możliwość łatwiejszego uzyskanie pozwolenia na działanie instalacji.

#### • **Utlenianie w warunkach nadkrytycznych w środowisku wodnym**<sup>1)</sup>

Nadkrytyczne utlenianie w środowisku wodnym (super critical water oxidation SCWO) jest innowacyjną i skuteczną metodą rozkładu zanieczyszczeń organicznych zawartych w ściekach i uwodnionych osadach. Wykorzystuje się w niej szczególne właściwości wody w warunkach nadkrytycznych tj. temp. > 374°C i ciśnienie > 221 barów. Woda ogrzana do temperatury 400÷600°C i pod ciśnieniem 250 bar uzyskuje nowe właściwości chemiczne a mianowicie wykazuje zwiększoną zdolność rozpuszczania tlenu i niepolarnych związków organicznych. W fazie wodnej następuje utlenianie substancji organicznych odpadów do dwutlenku węgla i wody. Składniki mineralne, takie jak sole i wypełniacze wytrącają się i mogą zostać odzyskane do ponownego użycia.

Technika SCWO może zostać zastosowana do oczyszczania strumieni uwodnionych odpadów (osadów), zawierających materiał organiczny przy stosunkowo niskich stężeniach, zapewniając przy tym niską emisję i sprzężenie z systemem odzysku energii. Osiągnięcie odpowiedniego efektu ekologicznego oraz dobrej opłacalności ekonomicznej procesu wymaga by dopływający do reaktora strumień osadów był jednorodny (nie zawierał dużych cząstek) a zawartość suchej substancji w osadzie wynosiła przynajmniej 20%.

#### • **Zgazowanie**<sup>1,6)</sup>

Zgazowanie jest techniką znaną i stosowaną od wielu lat. Jednak w przypadku odpadów pochodzących z przemysłu papierniczego nie znalazło jeszcze powszechnego zastosowania - pozostaje w stadium rozwoju.

Zgazowanie jest procesem termicznym polegającym na przeprowadzeniu paliwa stałego lub płynnego (o dużej zawartości węgla) w paliwo gazowe. Proces prowadzi się wobec kontrolowanej zawartości powietrza, tlenu (lub pary wodnej). Zgazowanie odbywa się w wysokiej temperaturze: od 900 do 1100°C z powietrzem, lub od 1000 do 1400°C z tlenem. Wykorzystanie do zgazowania odpadów czystego tlenu zapobiega powstawaniu zanieczyszczających atmosferę tlenków azotu. Zgazowanie może być prowadzone łącznie z pirolizą - w tym przypadku zgazowaniu poddaje się pozostałości po etapie pirolizy.

Technika zgazowania odpadów z produkcji mas włóknistych i papierów (zwłaszcza osadów) nie została jeszcze zastosowana na skalę przemysłową, niemniej uważa się, że może ona zostać z powodzeniem wykorzystana do utylizacji mechanicznie odwodnionych odpadów papierniczych.

Różnice pomiędzy technikami zgazowania i pirolizy wynikają z chemii procesów oraz z własności poddawanych tym procesom bioodpadów. Ponadto techniki różnią się między sobą temperaturą procesu, warunkami i kontrolą reakcji utleniania. Optymalny przebieg pirolizy wymaga dłuższego czasu prowadzenia reakcji w porównaniu z procesem zgazowania.

<sup>6)</sup> CANMET Energy Technology Centre: „Pulp and paper sludge to energy – preliminary assessment of Technologies”, Canada, 2005. (<http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/eng/publications.html?2005-135>)

Wady i zalety procesów termicznych i utleniania stosowanych do utylizacji odpadów i osadów ściekowych przedstawiono w poniższej tabeli.

Proces	Korzyści	Wady
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Spopielanie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimalna ilość popiołu, który ma być składowany.</li> <li>- Niemal całkowite usunięcie substancji organicznych.</li> <li>- Stosunkowo łatwe uzyskanie pozwolenia na składowanie popiołów.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Może wystąpić spalanie z ujemnym bilansem energii,</li> <li>- Zanieczyszczenie powietrza (NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub>).</li> <li>- Pozostające w popiele metale ciężkie.</li> <li>- Obecne w odpadzie znaczne ilości związków chloru.</li> <li>- Wysoki koszt związany z koniecznością oczyszczania gazów odlotowych.</li> </ul>
Piroliza	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proces utleniania bez spalania,</li> <li>- Przekształcenie odpadu w paliwo gazowe i płynne oraz obojętną pozostałość stałą.</li> <li>- Może wchodzić w skład większości istniejących instalacji.</li> <li>- Minimalne zanieczyszczenie powietrza, gleby i wody.</li> <li>- Zamiana wszystkich frakcji biomasy osadu w energię użyteczną.</li> <li>- Zmniejszenie objętości odpadu nawet o 90%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proces nadaje się głównie do utylizacji odpadów gumowych i plastików.</li> <li>- Piroliza wymaga niskiej zawartości wody w odpadzie (&lt;20%).</li> <li>- W odniesieniu do osadów papierniczych znajduje się w fazie eksperymentów.</li> </ul>
Reforming parowy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Duże szybkości przenoszenia ciepła,</li> <li>- Niska emisja NO<sub>x</sub>.</li> <li>- Niskie koszty operacyjne utrzymania instalacji.</li> <li>- Brak syntezy dioksyn i furanów,</li> <li>- Zminimalizowana emisja metali ciężkich.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Możliwość utylizacji określonych grup odpadów.</li> </ul>
Mokre utlenianie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brak zanieczyszczenia powietrza,</li> <li>- Produkcja pary o wysokim ciśnieniu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wysoka cena.</li> </ul>
Utlenianie w warunkach nadkrytycznych	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Całkowite utlenienie substancji organicznej.</li> <li>- Ze względu na niskie temperatury pracy nie powstają dioksyny i NO<sub>x</sub>.</li> <li>- Odzyskanie i możliwość ponownego użycia wypełniaczy i wytrąconych soli.</li> <li>- Odzyskanie całego wytworzonego ciepła reakcji w postaci pary oraz ciepłej wody.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wymagania w stosunku do osadów: stosunkowo wysoka zawartość suchej substancji i małe rozmiary cząstek.</li> <li>- Możliwość tworzenia się podtlenku azotu w przypadku obecności śladowych ilości kwasu octowego.</li> </ul>



1	2	3
Zgazowanie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wysoka sprawność odzysku energii,</li> <li>- Redukcja emisji zanieczyszczeń,</li> <li>- Zdolność do utlenienia większości związków nieorganicznych obecnych w osadach</li> <li>- Brak wpływu spiekania popiołu na niezawodność procesu,</li> <li>- Wytwarzanie obojętnych odpadów stałych.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konieczność odwodnienia i wysuszenia osadów.</li> <li>- Brak aplikacji, która mogłaby być wykorzystana do zgazowania osadów papierniczych.</li> <li>- Złożoność technologii.</li> <li>- Proces nie do końca zbadany, zwłaszcza pod kontem wpływu składu chemicznego odpadów na efektywność procesu.</li> </ul>

#### • Fermentacja beztlenowa<sup>1,6,7)</sup>

Proces fermentacji beztlenowej jest techniką związaną przede wszystkim z przetwarzaniem odpadów z hodowli zwierząt oraz osadów nadmiernych z biologicznych oczyszczalni ścieków. Obecnie technika ta stosowana jest do utylizacji różnego rodzaju organicznych odpadów stałych, na przykład odpadów komunalnych, odpadów rolniczych i przemysłowych.

Fermentację beztlenową prowadzi się przeważnie w temperaturze  $35\pm 5^{\circ}\text{C}$ . W tych warunkach około połowa materii organicznej ulega biodegradacji beztlenowej w wyniku, której tworzy się biogaz.

Odpady z przemysłowe (w tym papiernicze) są wykorzystywane zwykle jako dodatkowe, uzupełniające do fermentowanych odpadów rolniczych. Wyprodukowany biogaz (metan) może zostać wykorzystany do pokrycia zapotrzebowania na energię i ciepło niezbędną do prowadzenia procesu. Natomiast odpad przefermentowany może zostać wykorzystany rolniczo (jako polepszacz gleby).

#### • Inne możliwości wykorzystania (odzysku) odpadów<sup>1,6)</sup>

Alternatywne do opisanych wyżej metody zagospodarowania odpadów, a zwłaszcza osadów ściekowych polegają na wykorzystaniu ich w niżej wymienionych procesach.

##### - Produkcja ściółek dla zwierząt domowych (tzw. żwirek)

Wysuszone osady ściekowe mogą znaleźć zastosowanie jako ściółka dla zwierząt domowych, np. kotów. Z uwagi jednak na koszty wytworzenia oraz potencjalne zapotrzebowanie nie wydaje się by produkcja żwirku mogła być ekonomicznie opłacalna oraz by mogła mieć istotny udział w ogólnej ilości utylizowanych odpadów.

- **Produkcja materiałów sorpcyjnych** Wysuszone osady mogłyby być stosowane jako sorbent, np. do rozpraszania na wycieki produktów ropopochodnych. Produkcja sorbentów z osadów podlega jednak ograniczeniom identycznym jak w przypadku wytwarzania ściółek dla zwierząt domowych.

<sup>7)</sup> Mshandete, L. Björnsson, A.K. Kivaisi, S.T. Rubindamayugi and B. Mattiasson: „Enhancement of anaerobic batch digestion of sisal pulp waste by mesophilic aerobic pre-treatment”, *Water Res.*, 39, 8, 1569–1575, 2005.

- **Nośnik pestycydów i nawozów** (tzw. substancji aktywnych)

Wysuszone osady posiadają zdolność wchłaniania substancji aktywnych. Po wysianiu w uprawach osad rozkłada się uwalniając substancje aktywne. Umożliwia to ich stopniowe dozowanie, dzięki czemu uzyskuje się obniżenie stężenia substancji aktywnych w glebie i wodzie oraz wydłużenie czasu ich działania. Wadą tego rozwiązania jest odkładanie się w glebie zanieczyszczeń zawartych w osadach i uwalnianych podczas ich rozkładu.

- **Konwersja do składników paliw:** konwersja kwasu lewulinowego zawartego w osadach papierniczych do metyloctetrahydrofuranu jest uznawana za celową i ekonomicznie uzasadnioną. Metyloctetrahydrofuran może stanowić pożądany składnik paliw alternatywnych produkowanych na bazie etanolu i płynnego gazu naturalnego. Poprawia on proces spalania paliwa w silnikach oraz wpływa na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń.

- **Biokonwersja celulozowej frakcji osadu do etanolu:** pod wpływem enzymów frakcja celulozowa zostaje zhydrolizowana do glukozy, która następnie, w procesie fermentacji zostaje przekształcona w etanol. Proces biokonwersji przebiega o wiele efektywniej w przypadku wykorzystania osadów z produkcji mas siarczanowych i siarczynowych. Dużo mniejszą efektywność biokonwersji obserwuje się w przypadku przekształcania osadów z produkcji mas półchemicznych.

Nie wszystkie osady mogą zostać poddane procesowi fermentacji, np. osad z deinkingu nie nadaje się do biokonwersji ze względu na niską zawartość włókien celulozowych związaną, z uzyskiwaną obecnie, wysoką efektywnością procesu odbarwiania.

#### 4. Aspekty ekologiczne i ekonomiczne

Opracowanie i skuteczne wdrożenie programu gospodarowania odpadami, zwłaszcza w obszarze minimalizacji ich wytwarzania, powinno spowodować zmniejszenie uciążliwości instalacji dla otoczenia. Drugim istotnym aspektem ekologicznym jest zastosowanie technik odzysku odpadów o wysokiej zawartości substancji organicznych (osadów, szlamów) na miejscu lub przekazanie ich do odzysku, realizowanego przez przedsiębiorcę zewnętrznego. Oczekiwane efekty ekologiczne zoptymalizowanej gospodarki odpadami obejmują:

- zmniejszenie ilości odpadów deponowanych na składowiskach,
- zmniejszenie zagrożenia wód i gleby wywołanego migracją do nich zanieczyszczeń zawartych w odpadach,
- zastąpienie części energii wytwarzanej z paliw kopalnych tzw. czystą energią pozyskiwaną z biomasy,
- zmniejszenie emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłów związanych z wytwarzaniem energii,
- wniesienie wkładu w globalne zmniejszenie zużycia zasobów naturalnych przez innych wytwórców lub konsumentów poprzez wykorzystanie odpadów jako surowców wtórnych.

Spśród aspektów ekonomicznych na uwagę zasługują:

- zmniejszenia strat surowców,
- pozyskanie nowych tańszych źródeł energii (np. biogaz),
- zmniejszenie opłat z tytułu korzystania ze środowiska,
- uzyskanie przychodów z tytułu produkcji komponentów i biopaliw lub paliw alternatywnych.