

**Raport powstał w ramach projektu „Ochrona rodzimej przyrody przed inwazją Barszczu Sosnowskiego, rdestowca ostrokończystego oraz nawłoci kanadyjskiej na terenie gminy Kępice i Kobylnica” współfinansowanego ze środków Mechanizmu Finansowego EOG 2014-2021 w ramach programu: „Środowisko, Energia i Zmiany klimatu”, obszar programowy: Środowisko**

**Koncepcja zagospodarowania odpadu zielonego – Barszczu Sosnowskiego**

Aquateam COWI AS

Project name: Enhancing the protection of ecosystems  
against invasive species  
Project no: A238217-001  
Report 22-025  
Renata Tomczak-Wandzel  
Beata Szatkowska

Availability: Public

Title/tytuł	Date/data 12.2022
Konceptcja zagospodarowania odpadu zielonego – Barszczu Sosnowksiego	Number of pages/ilość str 14 str, integraną częścią jest załącznik stanowiący opracowanie dla wykonanych badań kompostowania i pirolizy – 52 str
Author (s)/autorzy Renata Tomczak-Wandzel Beata Szatkowska	Responsible sign/podpis    Project number/nr projektu A238217-001

## Table of content

1. Podsumowanie.....	4
2. Założenia i cel opracowania .....	4
3. Obecna gospodarka odpadowa w gminie Kępice.....	5
4. AMPTS i pomiar potencjału biogazu.....	5
4.1. Eksperyment nr 1 .....	6
4.2. Eksperyment nr 2.....	8
4.3. Eksperyment nr 3.....	9
5. Kompostowanie i Piroliza. ....	11
6. Wnioski .....	12
7. Podziękowania .....	14

## 1. Podsumowanie

Zadanie oceny zagospodarowania odpadu jakim jest organiczna masa zielona otrzymana w wyniku wycinki roślin gatunku inwazyjnego Barszczu Sosnowskiego (*Heracleum sosnowskyi* Manden) prowadzone było przez norweskiego partnera projektu - instytut badawczy Aquateam COWI. Zadanie obejmowało diagnozę i analizę problemu, poprzedzone wizytą studyjną oraz wykonaniem badań i analiz naukowych. Przeprowadzone zostały testy fermentacji AMPTS określające wydajność metanową gatunku oraz testy kompostowania i przekształcania biomasy w procesie pirolizy. Najtańszą, efektywną i bezpieczną metodą wydaje się być skierowanie strumienia odpadów zielonych do pobliskich kompostowni. Dobrą alternatywą wydaje się również przekazanie odpadu do pobliskich biogazowni.

## 2. Założenia i cel opracowania

Barszcz Sosnowskiego stanowi odpad zielony, który jest szczególnym rodzajem bioodpadu. Potencjalnie może on być przetwarzany w procesach biologicznych takich jak fermentacja metanowa lub kompostowanie.

W porównaniu do innych bioodpadów może być stosunkowo trudnym materiałem do fermentacji, ponieważ jako odpad zielony może zawierać podwyższoną ilość lignocelulozy i ligniny. Ponadto, odpady zielone charakteryzują się niską wartością stosunku węgla do azotu (C/N) co może prowadzić do zahamowania procesów biologicznych. Może również wystąpić deficyt mikroelementów. Odpady zielone, przed podaniem wsadu do komory fermentacyjnej, powinny zostać poddane mechanicznej obróbce wstępnej, gdyż rozdrabnianie może znacząco podnieść uzysk biogazu. Jako monosubstrat odpad zielony może być problematyczny, jednak stosując go jako domieszkę do wsadu kierowanego do fermentacji możemy podnieść uzysk biogazu całego strumienia.

Biorąc powyższe argumenty pod uwagę w niniejszym projekcie istotne było przeprowadzenie badań fermentacji metanowej i testów uzysku biogazu Barszczu Sosnowskiego. Automatyczny System Testowania Potencjału Metanu (AMPTS II) to urządzenie służące do określenia potencjału biogazowego poszczególnych substratów lub ich mieszanek i zostało ono wykorzystane do badań w niniejszym projekcie (opis rozdział 4). W ramach badań materiał poddano obróbce wstępnej: homogenizacji i rozdrobieniu, następnie zbadano uzysk biogazu. Zbadano także możliwość zmieszania Barszczu z innymi dostępnymi odpadami (w przypadku, gdy np. będzie ekonomiczne zasadne dostarczenie barszczu do pobliskiej biogazowni rolniczej lub oczyszczalni ścieków z fermentacją metanową). Próby te przeprowadzono z wykorzystaniem osadu ściekowego z Oczyszczalni Ścieków (OŚ) Dębogórze (Gdynia).

Drugą zbadaną biologiczną metodą zagospodarowania Barszczu Sosnowskiego było kompostowanie. Kompostowanie to metoda produkcji wartościowego nawozu organicznego – kompostu. Odpady organiczne są przetwarzane w czasie kompostowania przez rozmaite mikroorganizmy do postaci prostych związków, które mogą wzbogacać glebę pod uprawę roślin. Zakres badań w niniejszym projekcie obejmował poddanie procesowi kompostowania Barszczu w mieszance z odpadami zielonymi oraz symulacji procesu kompostowania w reaktorach zamkniętych, okresowo napowietrzanych w celu wykazania zastosowania tego procesu do unieszkodliwiania szkodliwych furanokumaryn. Testy kompostowania Barszczu Sosnowskiego zostały przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych w różnych mieszankach (100, 75, 50 i 25%) z innymi odpadami zielonymi oraz dwóch rodzajach temperatur (50°C i 60°C), najczęściej spotykanymi w czasie kompostowania w warunkach rzeczywistych. Czas trwania procesu kompostowania wynosił 6 tygodni. Jako odpady zielone były wykorzystane mieszanki trawy, liści i trocin. Przed i po zakończeniu procesu zostały wykonane analizy celem oceny procesu kompostowania i stabilności uzyskanego kompostu: wilgotność, straty przy prażeniu, aktywność oddechowa, AT4, stosunek C/N, pH. Dodatkowo przed i po zakończeniu procesu została określona zawartość mikro i makroskładników. Badania prowadzone były przez wykwalifikowaną kadrę posiadającą doświadczenie w zakresie badań procesu kompostowania.

Dodatkowo Barszcz Sosnowskiego można również zagospodarować w procesie termicznego przekształcenia odpadów, w tzw. procesie pirolizy, przekształcając go w wysokowartościowy produkt węglowy zwany potocznie biowęgłem. W wyniku oddziaływania wysokiej temperatury w atmosferze niezawierającej tlenu, roślina jest częściowo odgazowana i skarbonizowana. Docelowo w procesie miały zostać rozłożone również związki organiczne powodujące oparzenia. Najczęściej skarbonizowana roślina (biowęgiel) wykorzystywana jest do użyźniania gleby bądź pozyskania energii z odnawialnego źródła (spalanie biomasy). Sposób zagospodarowania biowęgla jest uzależniony od jego właściwości, a te z kolei zależą od właściwości substratu, z którego został wykonany i warunków procesu. Testy pirolizy Barszczu polegały na produkcji biowęgla i miały za zadanie sprawdzić potencjalne możliwości techniczne produkcji i zagospodarowania takiego materiału organicznego w procesie pirolizy w tym wykazać jego ekonomiczną zasadność. W ramach opracowania wykonano określenie właściwości fizykochemicznych analizowanej rośliny za pomocą analizy technicznej (zawartość wilgoci, sucha masa, zawartość materii organicznej, popiół, części palne, części lotne, węgiel stały), składu elementarnego (zawartość pierwiastków C, H, N, S, O) oraz potencjał energetyczny (wartość opałowa i ciepło spalania).

Z dostarczonych roślin zostały wykonane biowęgłe w szerokim zakresie temperatur od 200 do 600 °C, z interwałem 100 °C (łącznie 5 wariantów biowęgla). W jednym czasie zatrzymania procesu wynoszący 60 min.

Wytworzone biowęgłe w celu charakteryzacji zostały poddane takim samym analizom jak surowiec wykorzystany do ich produkcji oraz dodatkowo wykonano oznaczenie pH i hydrofobowości (pH zostanie wykorzystane do wstępnej oceny czy biowęgiel nadaje się do stosowania, jako nawóz, a hydrofobowość do oceny wykorzystania energetycznego).

Wytworzone biowęgłe zostały poddane analizie fitotoksyczności w celu sprawdzenia się, że zastosowanie ich, jako nawozu będzie bezpieczne dla roślin.

### **3. Obecna gospodarka odpadowa w gminie Kępice.**

Gmina Kępice od lipca 2013 roku odbiera odpady od mieszkańców gminy na podstawie umowy. Od 2018 roku odpady odbiera Spółdzielnia Socjalna „Zielony punkt” w trybie in house. Odpady odbierane są z terenu wiejskiego zgodnie z ustawą o utrzymaniu czystości i porządku w gminie, z częstotliwością dwa razy w miesiącu odpady niesegregowane oraz metale i tworzywa sztuczne, raz w miesiącu szkło i papier, z terenu miejskiego co dwa tygodnie metale i tworzywa sztuczne oraz odpady niesegregowane oraz raz w miesiącu szkło i papier. Bioodpady odbierane są w systemie co dwa tygodnie z całej gminy.

Od mieszkańców odbieranych jest 5 frakcji odpadów: szkło, metale i tworzywa sztuczne, papier, bioodpady i odpady niesegregowane. Dodatkowo 2 razy w roku odbywa się mobilna zbiórka elektrośmieci i odpadów wielkogabarytowych (wiosna – jesień)

Ponadto w gminie funkcjonuje Punkt Selektywnej Zbiórki Odpadów Komunalnych (PSZOK) czynny raz w tygodniu, do którego mieszkańcy mogą oddać: surowce, opony, gruz, gabaryty, elektrośmieci, odpady tekstylne i medyczne. Do PSZOK nie są przyjmowane bioodpady, eternit i onduliny (papy).

Obecnie Barszcz Sosnowskiego w gminie jest wytwarzany w ilości 2.5 tony/rok i traktowany na miejsu jako odpad biodegradowalny.

### **4. AMPTS i pomiar potencjału biogazu**

System automatycznego badania potencjału metanowego (AMPTS II) jest urządzeniem służącym do określania potencjału biogazowego poszczególnych substratów lub mieszanin substratów (zdjęcie 1). System opiera się na działaniu wsadowym i jest prawie w pełni automatyczny, wymaga jedynie starannego przygotowania prób, ich załadowania i ustawienia urządzenia. Prosta obsługa ułatwia jednoczesne porównanie kilku substratów (lub mieszanin) w dokładnie takich samych warunkach.

Aparatura została opracowana przez firmę BPC Instruments (dawna Bioprocess Control) z Lund w Szwecji. Składa się z 15 butelek/reaktorów fermentacyjnych (pokazanych po lewej stronie na zdjęciu 1), które mogą pracować jednocześnie. Każdy reaktor fermentacyjny jest podłączony rurkami do butelek absorpcyjnych CO<sub>2</sub> (pokazane na środku zdjęcia), które są wypełnione 3M roztworem NaOH i wskaźnikiem (roztwór nasycony w obecności wskaźnika zmienia kolor). Są one połączone z układem pomiaru gazu (pokazaną po prawej na zdjęciu), w której gaz jest zbierany pod dźwigniami zanurzonymi w wodzie – siła wyporu gazu unosi dźwignię, gaz jest uwalniany i odmierzany. Butelki do fermentacji zanurza się w łaźni wodnej, która jest utrzymywana w stałej temperaturze (w przypadku prowadzonego niniejszego badania była to temp. 37°C), a każda butelka fermentacji ma dołączony napędzany silnikiem pręt mieszający, który miesza każdy reaktor. Każda butelka fermentacyjna będzie doświadczać dokładnie takich samych warunków, więc teoretycznie różnice w zmierzonych objętościach metanu wynikają wyłącznie z różnych użytych substratów.



**Zdjęcie 1. Zdjęcie aparatu AMPTS (II).**

Jedną z zasad prawidłowego przygotowania testu jest wypełnienie każdej butelki takim samym obciążeniem suchą masą organiczną (SMO), a sucha masa powinna wynosić od 2,5 do 3%. Suma suchej masy to stosunek suchej masy do mokrej próbki, natomiast lotna sucha masa organiczna (SMO) to stosunek masy lotnej (popiołu) do masy mokrej (patrz także PN-EN 12880 (SM) i PN-EN 12879 (SMO)). Aby zmierzyć obie te wartości, każdy substrat pobrano na aluminiowe szalki po ich zważeniu i zarejestrowaniu wartości masy. Naczynia umieszczono w suszarce ustawionej na 105°C i pozostawiono na noc do wyschnięcia. Po wyschnięciu naczynia zważono i zarejestrowano ich masy. Następnie umieszczono je w piecu i nastawiono temperaturę na 550°C. Próbki pozostawiono w piecu na 30 minut po osiągnięciu temperatury 550°C. Po 30 minutach próbki wyjęto z pieca, zważono i zarejestrowano ich masy. Określenie zawartości procentowej SM (suchej masy) i SMO (suchej masy organicznej) oparto na masie próbki w każdym etapie i zgodnie z następującymi równaniami:

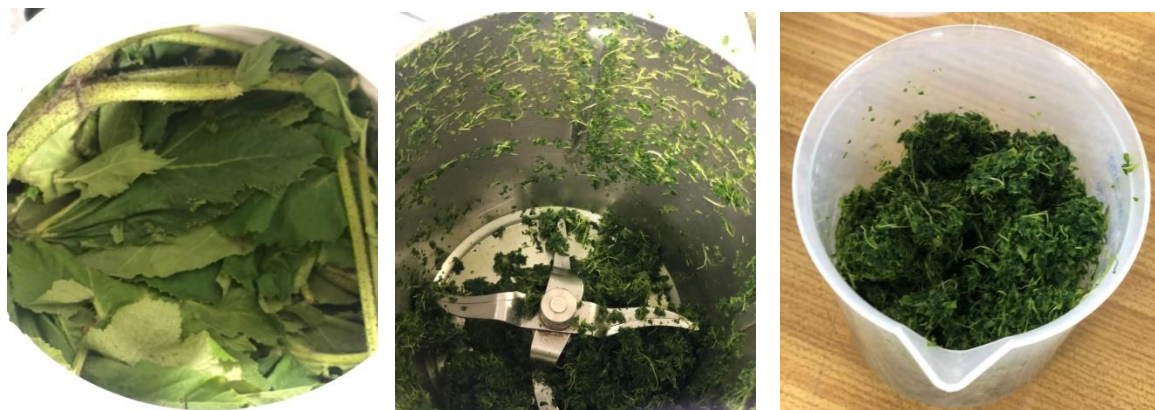
$$SM\% = \frac{M \text{ po suszeniu} - M \text{ naczynia}}{M \text{ próbki} - M \text{ naczynia}} \quad SMO\% = \frac{M \text{ po spaleniu} - M \text{ naczynia}}{M \text{ próbki} - M \text{ naczynia}}$$

gdzie M jest odpowiednią masą każdego etapu.

#### 4.1. Eksperyment nr 1

Próby Barszczu Sosnowskiego zostały dostarczone z gminy Kępice po uprzednim ścięciu. Następnie zostały pocięte (zhomogenizowane) w urządzeniu rozdrabniającym (zdjęcie nr 2).





**Zdjęcie nr 2. Bartszcz Sosnowskiego 1) po ścięciu, 2) podczas homogenizacji, 3) przygotowane do badań próby zhomogenizowane.**

Inokulum do zapoczątkowania procesu pobrano z komory fermentacyjnej oczyszczalni ścieków Dębogórze w Gdyni. Inokulum poddano również analizie na zawartość SM i SMO. Próbkę Bartszczu Sosnowskiego zmieszano w proporcjach 20 i 50 % bartszczu i 80 i 50 % osadu ściekowego z OŚ Dębogórze. W trzecim układzie zbadano uzysk biogazu z monosubstratu jaki stanowił tylko bartszcz. Na zdjęciu nr 3 przedstawiono naważone próbki mieszanin w szalkach aluminiowych przed suszeniem.



**Zdjęcie nr 3. Naważone próbki samego bartszczu, w proporcji 20 i 50 % z osadem ściekowym, oraz próby inokulum.**

W tabeli 1 przedstawiono wartości SM i SMO 3 substratów będących wsadem do reaktorów AMPTS, a w Tabeli nr 2 odważone ilości skomponowanych substratów i inokulum.

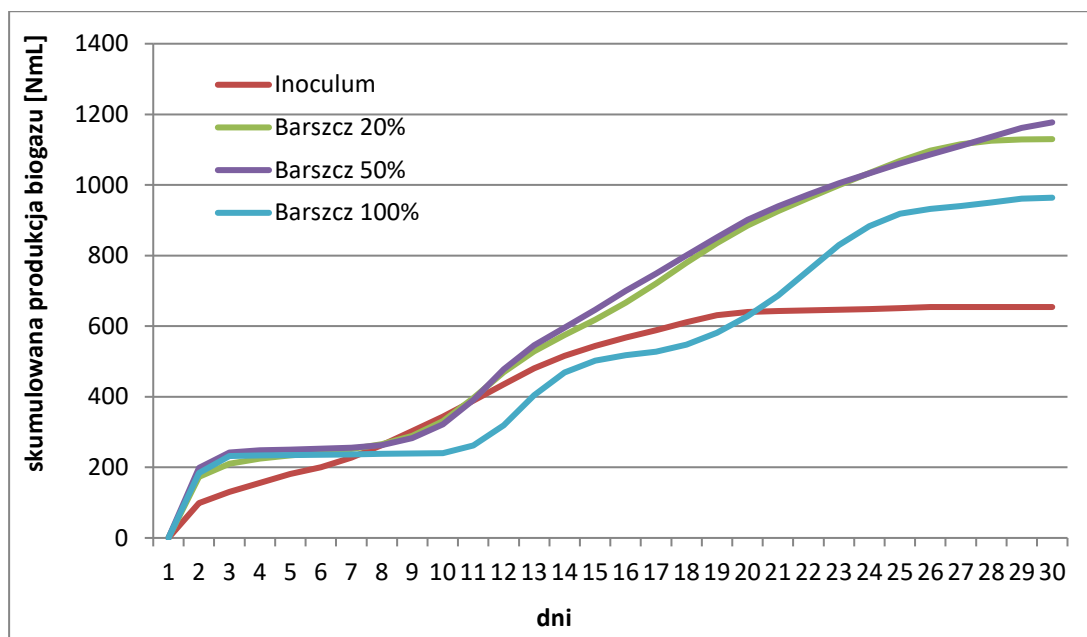
**Tabela 1. Wartości SM i SMO dla eksperymentu nr 1.**

	inokulum	barszcz20%/osad 80%	Barszcz50%/osad 50%	Barszcz100%
<b>TS (%)</b>	2.73	6.15	8.17	13.08
<b>VS (%)</b>	1.83	4.94	6.86	11.32
<b>VS % of total</b>	66.93	80.2	83.98	99.94

**Tabela 2. Załadunek substratów do reaktorów dla eksperymentu nr 1.**

substrat	Masa substratu	Masa Inokulum	in/sub SMO%	Masa całkowita
	<b>g</b>	<b>g</b>		<b>g</b>
<b>barszcz20%/osad 80%</b>	<b>62.61</b>	<b>337.39</b>	<b>2.00</b>	<b>400.0</b>
<b>barszcz50%/osad 50%</b>	<b>45.01</b>	<b>337.39</b>	<b>2.00</b>	<b>382.4</b>
<b>Barszcz100%</b>	<b>27.27</b>	<b>337.39</b>	<b>2.00</b>	<b>364.7</b>

Po 29 dniach eksperyment nr 1 został zakończony. Na rysunku 1 przedstawiono zarejestrowane przez AMPTS wyniki produkcji metanu z inokulum i wszystkich substratów zmieszanych z inokulum.



**Rysunek 1. Średnia produkcja metanu dla 3 substratów i inokulum**

#### 4.2. Eksperyment nr 2

W drugim etapie podobnie jak w pierwszym pobrano inokulum i osad ściekowy z OŚ Dębogórze i przeprowadzono te same próby uzysku biogazu dla Barszczu Sosnowskiego jak w pierwszym eksperymencie. W Tabeli nr 3 przedstawiono zestawienie analiz SM i SMO poszczególnych wsadów do reaktorów oraz ich masowy udział wraz z inokulum (Tabela nr 4).



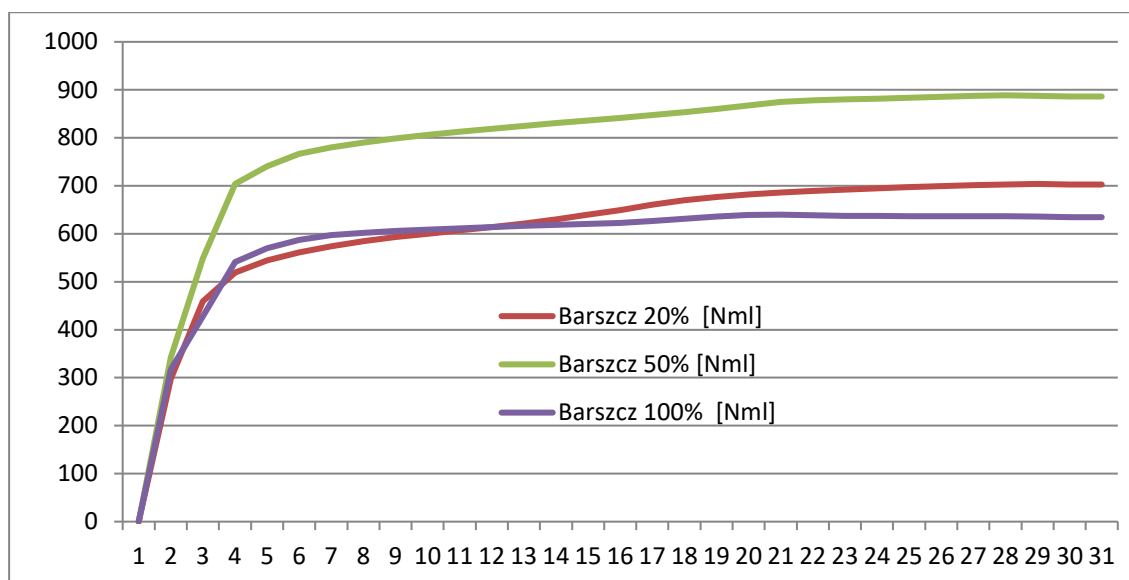
**Tabela 3. Wartości SM i SMO dla eksperymentu nr 2.**

	inoculum	barszcz20%/osad 80%	Barszcz50%/osad 50%	Barszcz100%
<b>TS (%)</b>	2.68	5.41	6.96	13.08
<b>VS (%)</b>	1.84	4.23	5.76	11.32
<b>VS % of total</b>	68.61	78.17	82.75	86.08

**Tabela 4. Załadunek substratów do reaktorów dla eksperymentu nr 2.**

substrat	Masa substratu	Masa Inokulum	in/sub SMO%	Masa całkowita
	g	g		g
<b>barszcz20%/osad 80%</b>	71.31	328.69	2.00	400.0
<b>barszcz50%/osad 50%</b>	52.46	328.69	2.00	381.2
<b>Barszcz100%</b>	26.71	328.69	2.00	355.4

Po 30 dniach produkcja była niska i eksperyment przerwano. Rysunek nr 2 pokazuje przebieg produkcji biogazu dla poszczególnych wsadów po odjęciu wartości dla inokulum.

**Rysunek 2. Średnia produkcja metanu dla 3 substratów po odjęciu wartości dla inokulum, eksperyment nr 2.**

### 4.3. Eksperyment nr 3

Trzecia seria eksperymentalna przebiegła podobnie jak pierwsza i druga. Wyniki analiz wartości SM i SMO przygotowanego wkładu do reaktorów oraz ich ilości przedstawiono w tabeli 5 i 6.

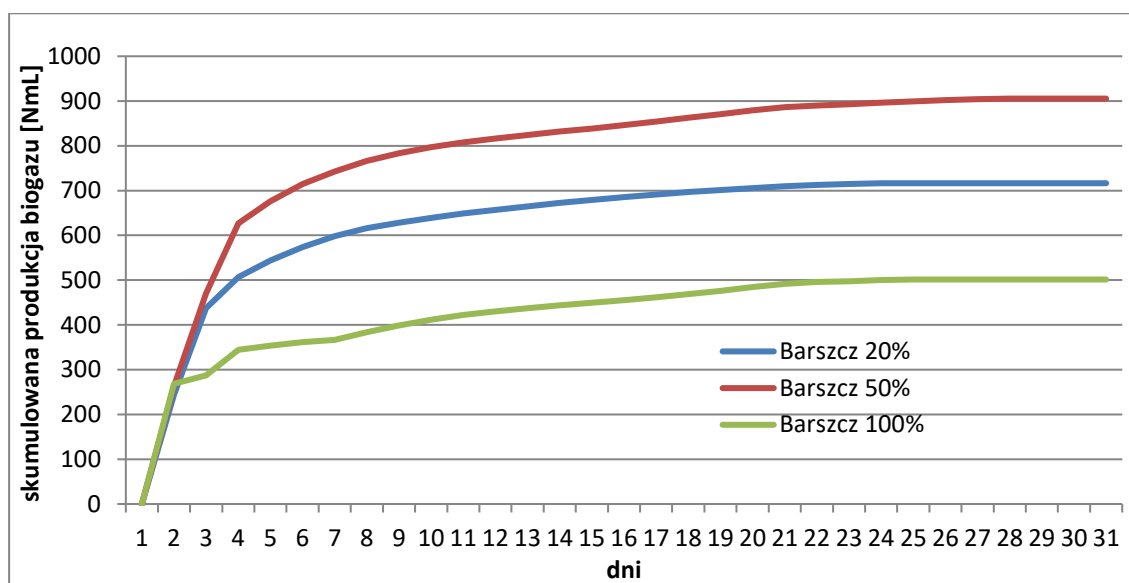
**Tabela 5. Wartości SM i SMO dla eksperymentu nr 3.**

	inoculum	barszcz20%/osad 80%	Barszcz50%/osad 50%	Barszcz100%
<b>TS (%)</b>	2.63	5.69	7.38	13.08
<b>VS (%)</b>	1.78	4.43	6.08	11.32
<b>VS % of total</b>	67.75	77.86	82.40	86.08

**Tabela 6. Załadunek substratów do reaktorów dla eksperymentu nr 3.**

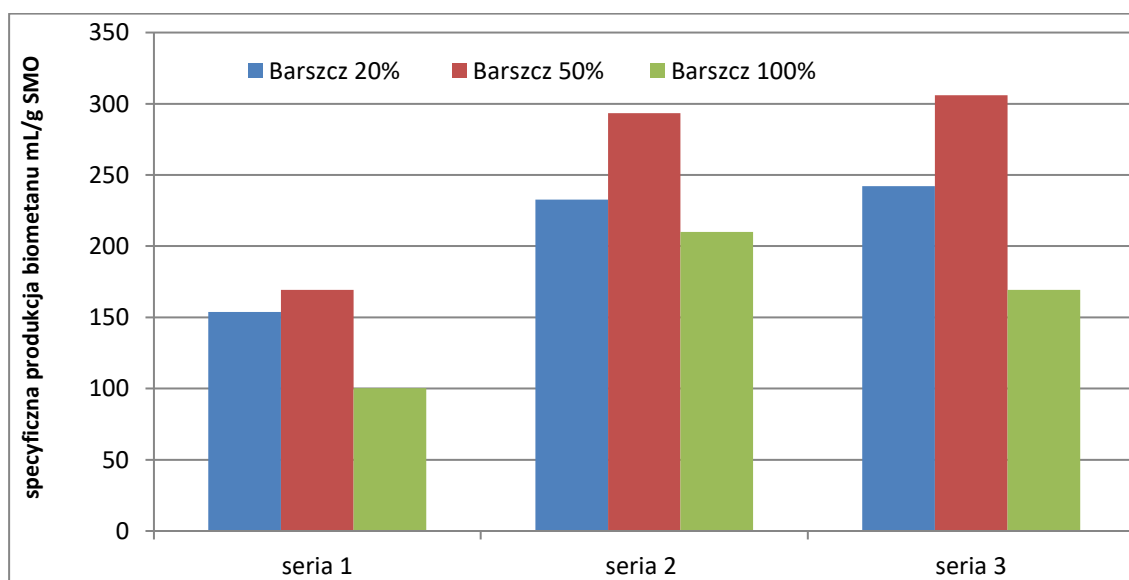
substrat	Masa substratu	Masa Inokulum	in/sub SMO%	Masa całkowita
	g	g		g
barszcz20%/osad 80%	66.96	333.04	2.00	400.0
barszcz50%/osad 50%	48.78	333.04	2.00	381.8
Barszcz100%	26.20	333.04	2.00	359.2

Po 30 dniach prowadzonego eksperymentu niska produkcja metanu pozwoliła na zakończenie eksperymentu. Rysunek 3 przedstawia przebieg produkcji metanu dla poszczególnych testowanych mieszanek barszczu z osadem ściekowym oraz samego barszczu.



**Rysunek 3. Średnia produkcja metanu dla 3 substratów po odjęciu wartości dla inokulum, eksperyment nr 3.**

Na podstawie znanych produkcji metanu oraz wartości masy organicznej w poszczególnych reaktorach obliczono tzw. specyficzną produkcję biometanu lub uzysk biometanu (z ang. SBP - specific biomethane potential). Uzyskane wyniki przedstawione są na rysunku 4.



#### **Rysunek 4. Specyficzny potencjał biometanu uzyskany dla poszczególnych serii badań.**

Uzyskane wyniki wskazują, że chociaż wartości nieco się różnią, to trend pozostaje ten sam. Zwiększenie stosunku i ilości barszczu do osadu ściekowego z 20% na 50% powoduje zwiększenie produkcji biogazu. Natomiast dalsze zwiększenie ilości barszczu bez dodatku osadu ściekowego powoduje znaczący spadek produkcji biogazu. Wskazuje to na właściwości inhibitoryczne fermentację metanową przy zbyt dużej ilości barszczu we wsadzie do komory fermentacyjnej. Być może przyczyną była zbyt mała zawartość węgla i tym samym niewłaściwy stosunek C/N.

Należy jednak zwrócić uwagę, że mało prawdopodobne jest by Barszcz Sosnowskiego poddawany był fermentacji metanowej jako monosubstrat. Zapewnienie właściwej jakości jak i proporcji substratów przed wsadzeniem do komór fermentacyjnych jest jednym z najważniejszych zadań operatorów biogazowni. Zmieszanie Barszczu w odpowiednich proporcjach z innymi substratami (np. osadem ściekowym) nie powinno mieć negatywnego wpływu na pracę biogazowni jak i uzysk biogazu.

## **5. Kompostowanie i Piroliza.**

Pełen, szczegółowy raport dotyczący kompostowania i pirolizy jest osobnym dokumentem stanowiącym integralną część niniejszego raportu. W niniejsze części przytoczono tylko wnioski końcowe z przeprowadzonych badań:

### **Kompostowanie**

W przeprowadzonym doświadczeniu laboratoryjnym, przetestowano możliwość unieszkodliwienia fototoksycznych furanokumaryn obecnych w *Heracleum* sp., w procesie kompostowania. Zastosowano różne warianty dotyczące procentowego udziału *Heracleum* sp., we wsadzie do procesu kompostowania. W tym celu zastosowano proces intensywnego rozkładu substancji organicznych z wymuszonym napowietrzaniem w reaktorach stałotemperaturowych. Proces kompostowania prowadzono w możliwie optymalnych dla tego procesu warunkach.

Przeprowadzone badania wykazały jednoznacznie, iż zastosowanie procesu kompostowania jest procesem pozwalającym z bardzo wysoką skutecznością na rozkład fototoksycznych furanokumaryn. Już w ciągu 6 tygodni uzyskana skuteczność ubytku tej substancji to nawet 99% (Wariant B – 75% *Heracleum* sp.). Zastosowanie optymalnych warunków procesu kompostowania tj. natlenienia wsadu, odpowiedniego stosunku C/N czy wilgotności są bardzo ważne w uzyskaniu wysokiej skuteczności procesu. Dlatego też, pomimo, iż wariant B okazał się najskuteczniejszy, to jednocześnie, wariant ten, nie charakteryzował się optymalnymi wartościami w zakresie otrzymanych wartości kompostowych. Większą uwagę ze względów praktycznych należałoby zwrócić na Wariant C (50% *Heracleum* sp., we wsadzie), ze względu na równie bardzo wysoką skuteczność >98%, przy jednocześnie łatwiejszym prowadzeniu procesu. Wartością dodaną, wskazującą na dużą wartość praktyczną przeprowadzonych badań jest potencjalnie wysoka wartość nawozowa kompostu uzyskanego w procesie kompostowania.

Ponieważ badania te miały charakter bardzo unikalny (brak jakichkolwiek badań w zakresie kompostowania czy składu *Heracleum* sp., które ułatwiłyby wstępne ustawienie parametrów procesów procesu), zaproponowane pierwotnie warianty nie okazały się optymalne. Przetestowano również jedynie możliwości odnośnie różnych proporcji wsadu, nie testując wpływu parametrów procesu kompostowania, które również mogą mieć, duże znaczenie w osiągnięciu jeszcze wyższych skuteczności. Testowany *Heracleum* sp., nie został zidentyfikowany botanicznie, a wiadome jest, że gatunek Barszczy Kaukaskich ma ogromny wpływ na ilość furanokumaryn obecnych w materiale roślinnym *Heracleum* sp. Nie zbadano również wpływu sezonowości materiału, który pobierany w różnych okresach rozwoju

wegetacji również może posiadać różną ilość wymienionych substancji niebezpiecznych jak i ich właściwości.

Konieczne są dalsze badania przed bezpiecznym zastosowaniem i wdrożeniem procesu kompostowania do unieszkodliwiania furanokumryn obecnych w *Heracleum* sp., w tym optymalizowanie parametrów wsadu jak i parametrów procesu kompostowania, jak i określenia zawartości furanokumaryn w wytworzonym gazie kompostowym, oraz wskazanie metod ich unieszkodliwienia, gdyby były tam obecne.

### Piroliza

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że najwyższą wydajnością masową, energetyczną oraz zyskiem energetycznym (stosunek wzrostu wartości ciepła spalania do ubytku masy materiału) charakteryzuje się biowęgiel wytworzony w temperaturze 200°C. Natomiast najwyższym współczynnikiem zagęszczenia energii wynikającej z największego wzrostu wartości ciepła spalania charakteryzuje się biowęgiel wytworzony w 300°C. Z kolei dalszy wzrost temperatury procesu pirolizy powoduje znaczący spadek wydajności masowej i energetycznej procesu jak i zysku energetycznego. Oddziaływanie temperatur powyżej 300°C powoduje również zmianę właściwość z silnie hydrofobowych na hydrofilowe. W związku z czym, optymalny zakres termicznego przetwarzania badanego materiału na cele energetyczne można wskazać w przedziale od 200°C do 300°C. Ze względu na znacznie większe zagęszczenie energii w przypadku biowęgla wyprodukowanego w 300°C w stosunku do biowęgla wyprodukowanego w 200°C (odpowiednio 24117 i 20177 J×g<sup>-1</sup>), temperaturę 300°C rekomenduje się do produkcji paliwa stałego z badanego materiału. Natomiast w celu dalszej optymalizacji procesu pod względem produkcji paliwa wysokiej jakości, rekomenduje się przeprowadzenie dodatkowych badań w zakresie temperatur 200-400°C z interwałem 20-25°C, oraz czasach zatrzymania reaktora od 20 min do 180 min z interwałem co 20-40 min. Wytworzone biowęgla powinny zostać poddane tożsamym badaniom z badaniami wykonanymi w niniejszym raporcie. Badania można rozszerzyć o skład pierwiastków śladowych odpowiadających wskaźnikom żużlowania, oraz o badania dotyczące jakości spalania paliw stałych. Następnie po określeniu najlepszych parametrów procesu do produkcji wymaganej jakości paliwa należałoby przeprowadzić analizę termo grawimetryczną w skali mikro (wielkość próbki 1-15 mg) i makro (1-5 g oraz >5 g) w celu wyznaczenia parametrów kinetycznych procesu pirolizy, na podstawie których możliwe będzie zaprojektowanie reaktora do produkcji biowęgla z badanego materiału.

W odniesieniu do zastosowania wytworzonych biowęgla na cele nawozowe, zakres przeprowadzonych badań jest nie pełny, aby stwierdzić który z biowęgla najlepiej będzie spełniał tą funkcję. W przypadku gleb zakwaszonych, można stosować biowęgiel wytworzony w 300°C ze względu na jego alkaiczne właściwości (pH = 10,9), natomiast w przypadku roślin wymagających neutralnego pH, można stosować biowęgiel wytworzony w temperaturze do 200°C, gdzie pH = 6,9. W celu określenia przydatności wyprodukowanych biowęgla należałoby je poddać dodatkowym analizą określającym skład mikro i makro elementów, pojemności sorpcyjnej oraz testom wazonowym które pozwoliłyby sprawdzić wpływ dodatku biowęgla na konkretną roślinę.

Ze względu na wysoką zawartość wilgoci w badanym materiale występującą w sposób naturalny, przeprowadzenie pirolizy bez nakładu dodatkowej energii nie jest możliwe. Z tego względu pozbycie się wody przed produkcją biowęgla jest konieczne. W przypadku braku możliwości wysuszenia (brak ciepła odpadowego z innego procesu), można rozważyć proces hydrotermalnej karbonizacji który nie wymaga suszenia a naturalna wilgotność materiału jest zaletą (brak potrzeby dostarczania dodatkowej wody do procesu). Nie mniej zastosowanie hydrotermalnej karbonizacji powinno zostać poprzedzone badaniami wstępnymi w zakresie nie mniejszym niż zakres zawarty w niniejszym raporcie.

## 6. Wnioski

Poddawanie odpadów zielonych procesowi kompostowania jest podstawową formą recyklingu odpadów zielonych. Przeprowadzone badania wykazały jednoznacznie, iż zastosowanie

procesu kompostowania jest procesem pozwalającym z bardzo wysoką skutecznością na rozkład fototoksycznych furanokumaryn. Już w ciągu 6 tygodni uzyskana skuteczność ubytku tej substancji to nawet 99% (Wariant B – 75% *Heracleum* sp.). Badania wykazały, iż zastosowanie optymalnych warunków procesu kompostowania tj. natlenienia wsadu, odpowiedniego stosunku C/N czy wilgotności są bardzo ważne w uzyskaniu wysokiej skuteczności procesu.

Najbardziej rozsądnym rozwiązaniem wydaje się kompostowanie zebranego odpadu jakim jest Barszcz Sosnowskiego na miejscu. Należy jednak pamiętać, że do efektywnego procesu kompostowania konieczne jest stworzenie odpowiednich warunków oraz że w wyniku kompostowania otrzymujemy produkt jakim jest kompost. Gdyby jednak kompostowanie na miejscu nie było możliwe warto rozważyć dostarczenie odpadu (biuroc pod uwagę ilość 2.5 ton/rocznie) do pobliskich kompostowni w rejonie. Do takich należą kompostownie:

1. RIPOK Wodociągi Słupsk (32 km)
2. RIPOK Chlewnica (62 km)
3. RIPOK Eko Dolina (130 km).

Kolejną metodą zbadaną metodą zagospodarowania Barszczu Sosnowskiego było poddanie odpadu rozkładowi biologicznemu w kontrolowanych warunkach i użyciu mikroorganizmów, w wyniku którego powstaje metan. Proces ten prowadzony jest powszechnie w biogazowniach. Przeprowadzone badania AMPTS wykazały, że możliwe jest zastosowanie Barszczu Sosnowskiego jako wsadu do biogazowni. Oczywiście należy zawsze pamiętać o zachowaniu odpowiednich proporcji w stosunku do głównego wsadu jakim w przypadku wykonanych testów był osad ściekowy. Dodatek Barszczu w ilości maksymalnej około 20% wydaje się być bezpiecznym. Dlatego też alternatywą do kompostowania jest zastosowanie Barszczu jako ko-substratu do fermentacji metanowej w okolicznych biogazowniach. Najbliższymi biogazowniami usytuowanymi w bardzo rozsądnych odległościach (niskie koszty transportu) od gminy Kępice są:

1. Wodociągi Słupsk (32 km)
2. Goodvalley Agro S.A. Naclaw 14, 76-006 Naclaw, Poland (35 km)
3. GAMAWIND Sp. z o.o. 77-200 Piaszczyzna, Poland (43 km)
4. Goodvalley Agro S.A. Polna 3, 77-220 Koczała, Poland (50 km)
5. Nadmorskie Elektrownie Wiatrowe Darżyno Sp. z o.o. 76-230 Darżyno, Poland (58 km).

Inną testowaną metodą było przetwarzanie odpadów na drodze pirolizy. Na podstawie uzyskanych wyników Pirolizy można stwierdzić, że najwyższą wydajnością masową, energetyczną oraz zyskiem energetycznym (stosunek wzrostu wartości ciepła spalania do ubytku masy materiału) charakteryzuje się biowęgiel wytworzony w temperaturze 200°C. Natomiast najwyższym współczynnikiem zagęszczenia energii wynikającej z największego wzrostu wartości ciepła spalania charakteryzuje się biowęgiel wytworzony w 300°C. Z kolei dalszy wzrost temperatury procesu pirolizy powoduje znaczący spadek wydajności masowej i energetycznej procesu jak i zysku energetycznego.

W odniesieniu do zastosowania wytworzonych biowęgli na cele nawozowe, zakres przeprowadzonych badań nie dał pełnej odpowiedzi, który z biowęgli najlepiej będzie spełniał tę funkcję. W przypadku gleb zakwaszonych, można stosować biowęgiel wytworzony w 300°C ze względu na jego alkaiczne właściwości (pH = 10,9), natomiast w przypadku roślin wymagających neutralnego pH, można stosować biowęgiel wytworzony w temperaturze do 200°C, gdzie pH = 6,9.

Przeprowadzone badania wskazują, że przy zachowaniu określonych parametrów procesowych możliwe jest bezpieczne zagospodarowanie usuwanego przez gminę ze środowiska Barszczu Sosnowskiego. Usuwany odpad organiczny może wręcz stanowić cenny substrat do produkcji biogazu, kompostowania i pirolizy. Możliwe jest zwiększenie uzysku biogazu w biogazowni, wyprodukowanie wartościowego kompostu lub biowęgla, które to mogą być wykorzystane jako nawóz lub polepszacz jakości gleby.

## 7. Podziękowania

Autorzy opracowania pragną podziękować za pomoc w pozyskaniu osadów ściekowych pracownikom OŚ Dębogórze, a w szczególności Pani Annie Remiszewskiej-Skwarek oraz pracownikom Politechniki Gdańskiej za wszelkie wsparcie, w szczególności Pani Sylwii Fudale-Książek oraz Panu Hubertowi Bylińskiemu.