

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA
I INŻYNIERII ŚRODOWISKA



POLSKIE ZRZESZENIE INŻYNIERÓW
I TECHNIKÓW SANITARNYCH



MONOGRAFIE

„INŻYNIERIA ŚRODOWISKA – MŁODYM OKIEM”

TOM 27

GOSPODARKA ODPADAMI

pod redakcją
Iwony Skoczko
Janiny Piekutin
Elżbiety Grygorczuk-Petersons
Pauliny Mielniczuk



Białystok 2016

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA
I INŻYNIERII ŚRODOWISKA



POLSKIE ZRZESZENIE INŻYNIERÓW
I TECHNIKÓW SANITARNYCH



MONOGRAFIE

TOM 27

GOSPODARKA ODPADAMI

MONOGRAFIE

TOM 27

Patronat
Rękoźora Politechniki Białostockiej
prof. dr hab. inż. Lecha Dzieńisa

Wydział Budownictwa
i Inżynierii Środowiska
Politechniki Białostockiej



Honorowy Patronat
Prezydenta
Miasta Białegostoku

**Publikacja dofinansowana przez
Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej w Białymstoku**

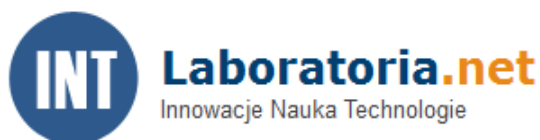


Wojewódzki Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej
w Białymstoku

www.wfosigw.bialystok.pl

Serdecznie dziękujemy za pomoc w organizacji uroczystości
i wydaniu niniejszej publikacji.

Patronaty medialne:



POLSKI
instalator



INŻYNIERIA ŚRODOWISKA – MŁODYM OKIEM

TOM 27

GOSPODARKA ODPADAMI

**pod redakcją
Iwony Skoczko
Janiny Piekutin
Elżbiety Grygorczuk-Petersons
Pauliny Mielniczuk**

Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej
Białystok 2016

Redaktor tomu:

Iwona Skoczko
Janina Piekutin
Elżbieta Grygorczuk-Petersons
Paulina Mielniczuk

Zespół redakcyjny:

Iwona Skoczko – Redaktor Naczelny
Janina Piekutin – Redaktor Naczelny
Elżbieta Grygorczuk-Petersons – Redaktor Naczelny
Paulina Mielniczuk – skład monografii

Redakcja językowa: Autorzy**Recenzenci monografii:**

dr hab. inż. Katarzyna Ignatowicz
dr hab. inż. Urszula Filipkowska

Zespół naukowy:

dr hab. inż. Iwona Skoczko – Politechnika Białostocka
prof. dr hab. inż. Józefa Wiater – Politechnika Białostocka
prof. dr hab. inż. Rafał Miłaszewski – Politechnika Białostocka
prof. Aleksey Ternovtsev – Kijowski Narodowy Uniwersytet Budownictwa i Architektury
prof. Dmitry Spitsov – Moskiewski Państwowy Uniwersytet Budownictwa
prof. Javier Bayo – Uniwersytet Techniczny Cartagena
dr hab. inż. Mariusz Dudziak – Politechnika Śląska
dr hab. Aneta Dorota Petelska – Uniwersytet w Białymstoku
dr hab. Izabella Jastrzębska – Uniwersytet w Białymstoku
dr hab. Zenon Łotowski – Uniwersytet w Białymstoku
dr hab. inż. Jacek Piekarski, prof. PK – Politechnika Koszalińska
dr hab. inż. Urszula Filipkowska, prof. UWM – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
dr hab. inż. Katarzyna Ignatowicz – Politechnika Białostocka
dr hab. inż. Sławomir Obidziński – Politechnika Białostocka
dr n. tech. Janina Piekutin – Politechnika Białostocka
dr n. tech. Joanna Szczykowska – Politechnika Białostocka
dr inż. Katarzyna Gładyszewska-Fiedoruk – Politechnika Białostocka
dr inż. Anna Siemieniuk – Politechnika Białostocka
dr inż. Elżbieta Grygorczuk-Petersons – Politechnika Białostocka
dr inż. Dariusz Andracki – Politechnika Białostocka
dr inż. Jacek Leszczyński – Politechnika Białostocka

Wszystkie zamieszczone w monografii prace są recenzowane

Copyright by Politechnika Białostocka, Białystok 2016

ISBN 978-83-62582-94-5

Publikacja nie może być w jakikolwiek sposób powielana i rozpowszechniana bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich

Ofcyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej

Polskie Zrzeszenie Techników i Inżynierów Sanitarnych Oddział w Białymstoku
ul. M. C. Skłodowskiej 2, 15-950 Białystok
Tel.: 85 744 31 00
e-mail: konferencjapzits@gmail.com
www.pzits.bialystok.pl

SPIS TREŚCI

Skład morfologiczny odpadów komunalnych, a możliwości ich energetycznego zagospodarowania	9
mgr inż. Michał Kamiński, mgr inż. Maciej Cholewiński	
Dachy zielone - zrównoważony rozwój budownictwa wielorodzinnego	41
inż. Yelena Pyshinskaya, dr inż. Barbara Sadowska-Buraczewska	
Charakterystyka ilościowa odpadów komunalnych wytwarzanych w Polsce oraz wybranych krajach świata	65
mgr Agnieszka Serafin, mgr Katarzyna Janicka, dr hab. Aneta D. Petelska	
Biopaliwa ciekłe i możliwości ich zastosowania w rolnictwie	92
mgr inż. Magdalena Joka, Rafał Żyłowski, Robert Pietryńczak, Karol Sobolewski, Milena Dołżyńska	
Wpływ popiołu lotnego ze spalania węgla kamiennego na mrozoodporność betonu ...	115
mgr inż. Anna Bernatowicz, dr hab. inż. Marta Kosior-Kazberuk	
Zagospodarowanie biomasy odpadowej z upraw krzewów owocowych	145
inż. Maciej Chomik, inż. Sylwia Bartnikowska, dr inż. Damian Janczak, inż. Jakub Frankowski	
Współfermentacja jako metoda intensyfikacji produkcji biogazu	167
mgr inż. Katarzyna Kalembe, prof. dr hab. inż. Krzysztof Barbusiński	
Porównanie gospodarki odpadami w wybranych gminach woj. podlaskiego	191
inż. Paulina Mielniczuk, inż. Justyna Osipiuk, inż. Agata Myszkowska, Marta Boguszewska, Adrian Jagłowski, Michał Bursa, inż. Monika Wysocka, inż. Maciej Załuska, Rafał Buczyński, Faustyna Adamczuk, Magda Biernacka, mgr inż. Ewa Szatyłowicz, dr hab. inż. Iwona Skoczko	
Gruz budowlany – niektóre aspekty prawne odpadu	213
mgr inż. Katarzyna Kalinowska-Wichrowska	
Biogazownie w Polsce – stan, perspektywy i zagospodarowanie pofermentu.....	227
Paulina Stempnik, Ewelina Toczyska	

Michał Kamiński¹⁾

Uniwersytet Przyrodniczy we
Wrocławiu, Wydział Przyrodniczo-
Technologiczny, Instytut Inżynierii
Rolniczej, Zakład Niskoemisyjnych
Źródeł Energii i Gospodarki
Odpadami, ul. C. K. Norwida 25,
50-375 Wrocław

¹⁾ michal.kaminski@up.wroc.pl

Maciej Cholewiński²⁾

Politechnika Wrocławska,
Wydział Mechaniczno-Energetyczny,
Katedra Technologii Energetycznych,
Turbin i Modelowania Procesów
Ciepłno-Przepływowych
Wybrzeże Wyspiańskiego 27,
50-370 Wrocław

²⁾ maciej.cholewinski@pwr.edu.pl

Skład morfologiczny odpadów komunalnych, a możliwości ich energetycznego zagospodarowania

*Morphological composition of municipal waste and the possibility
of their energy management*

Słowa kluczowe: odpady komunalne, paliwa alternatywne, gospodarka odpadami
komunalnym, odnawialne źródła energii, zagospodarowanie odpadów

Key words: municipal waste, Refused Derived Fuel, municipal wastes management,
renewable energy sources, waste management

Streszczenie: Odpady komunalne i przemysłowe stanowią uboczny produkt działalności współczesnego człowieka. Wraz z postępującym rozwojem gospodarczym oraz wzrostem standardów życia społeczeństw, ilość generowanych materiałów odpadowych ulega systematycznemu zwiększeniu. Wdrażane w ostatnich latach założenia polityki proekologicznej, nastawionej na poszanowanie środowiska oraz ograniczanie negatywnego wpływu działalności człowieka na jego stan, sprawiły, iż popularne do tej pory rozwiązanie w postaci ich składowania w specjalnie przystosowanych do tego przyzmach jest stopniowo wypierane przez nowoczesne systemy recyklingu bądź też waloryzacji wspomnianej mieszaniny substancji (np. na cele energetyczne). Co jednak istotne, potencjał obu wspomnianych technik silnie zależy od składu morfologicznego powstających odpadów, determinującego tak kształt samej gospodarki odpadami, jak i możliwe do zastosowania technologie – gromadzenia, sortowania, przetwarzania, ponownego wykorzystania.

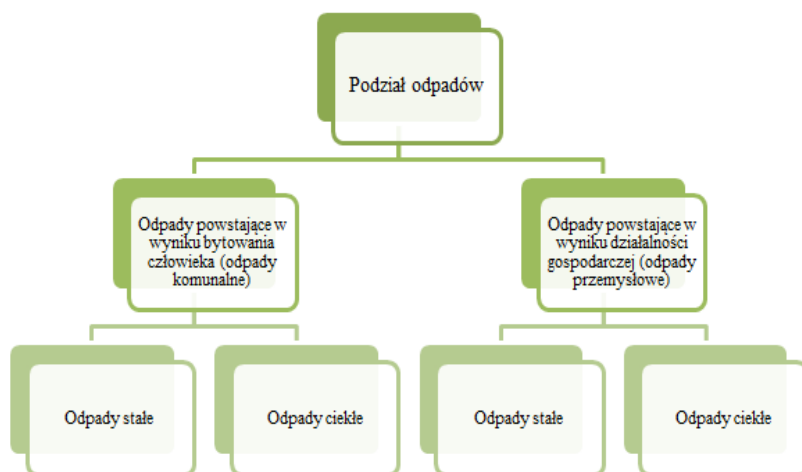
W artykule przedstawiono dane statystyczne dotyczące ilości powstających, w obrębie przykładowej gminy wiejskiej, odpadów komunalnych i przemysłowych – wraz z podziałem na poszczególne grupy materiałów. Zidentyfikowano udział substancji posiadających techniczny potencjał w procesach konwersji energii (35,87% odebranych w 2014 roku odpadów), wskazano na stopień ich wykorzystania w produkcji wysokokalorycznego paliwa typu PAKOM (3,22%) oraz ograniczenia związane z morfologią odpadów. Oszacowano możliwą do uzyskania, na drodze spalania i fermentacji metanowej, średnioroczną moc termiczną źródeł (1,22-1,45 MWt, w zależności od wykorzystania materiałów, w przypadku spalania paliwa stałego oraz 3,32-3,92 MWt w przypadku wykorzystania biogazu). Opisano także cykl przetwarzania odpadów wraz ze wskazaniem wiodących technologii ich energetycznego wykorzystania w zależności od rodzaju materiałów.

1. Wstęp

Wraz z ciągłym rozwojem cywilizacji oraz poprawą sytuacji materialnej społeczeństwa, zwłaszcza w krajach wysoko rozwiniętych oraz rozwijających się, nastąpił gwałtowny wzrost zużycia energii. Tendencja ta wymaga dostarczania coraz większej ilości energii dla ludności. Można to osiągnąć stosując różne rozwiązania. Najbardziej popularnym z nich jest zwiększenie produkcji co jest bezpośrednio związane z wydobyciem oraz spalaniem paliw kopalnych. Proces ten jest w szerokim zakresie niekorzystny dla środowiska, powodując jego znaczną dewastację i degradację. Innym sposobem jest wykorzystanie produktów ubocznych codziennej egzystencji człowieka, tj. odpadów do produkcji energii. Proces przekształcenia odpadów na energię elektryczną, użyteczną człowiekowi, związany jest z przeprowadzeniem szeregu koniecznych działań polegających na pozyskaniu, segregacji, transporcie oraz w etapie końcowym - unieszkodliwiania odpadów w sposób nie powodujący degradacji środowiska naturalnego.

Odpady oznaczają każdą substancję lub przedmiot należący do jednej kategorii, określonych w załączniku nr 1 do ustawy, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do ich pozbycia jest zobowiązany [1]. Zgodnie z Ustawą o odpadach [2], zbieranie odpadów to gromadzenie odpadów przed ich transportem do miejsc przetwarzania, w tym wstępne sortowanie nieprowadzące do zasadniczej zmiany charakteru i składu odpadów i niepowodujące zmiany klasyfikacji odpadów oraz tymczasowe magazynowanie odpadów.

Poprzez transport odpadów rozumie się odbiór i przemieszczanie odpadów z wykorzystaniem specjalnego, przeznaczonego wyłącznie do tego celu środka transportu. Sam transport zaś, jest elementem, który łączy wszystkie pozostałe elementy gospodarki odpadami [3]. Końcowym etapem produkcji energii z odpadów jest ich unieszkodliwianie, czyli poddanie określonej grupy morfologicznej odpadów szeregom działań fizycznych, mechanicznych, chemicznych lub termicznych prowadzących na wyeliminowaniu oddziaływania danej grupy odpadów na środowisko naturalne.

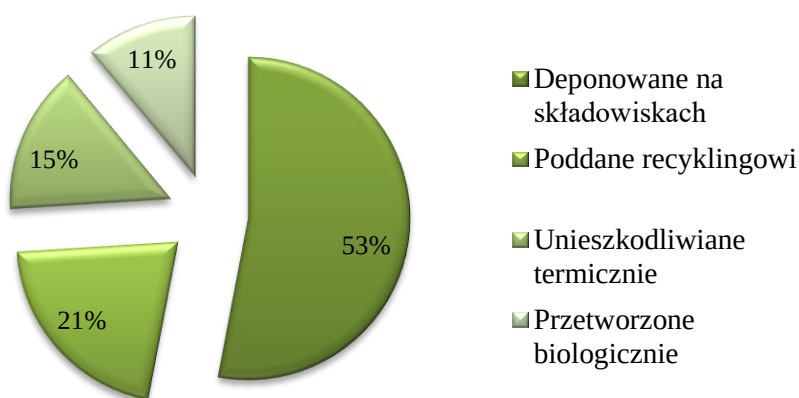


Rysunek 1. Struktura podziału odpadów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie materiałów dydaktycznych do wykładu Gospodarka Odpadami

Wstępując do Unii Europejskiej przed Polską stanęły ogromne wyzwania związane ze spełnieniem rygorystycznych wymogów wynikających z unijnych dyrektyw dotyczących ochrony środowiska. Za jeden z najistotniejszych obszarów wymagających poprawy uważa się gospodarkę odpadami, której stan wymaga gruntownych zmian zarówno w zakresie organizacji systemu zarządzania odpadami, a także prowadzeniem działalności związanej z edukacją ekologiczną społeczeństwa.

Na rysunku 2 przedstawiono procentowy udział deponowanych odpadów na składowiskach oraz ilość odpadów „zagospodarowanych” w Polsce w roku 2014 [8].



Rysunek 2. Procentowy udział odpadów zdeponowanych na składowiskach w Polsce

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [8]

Struktura udziałów poszczególnych sposobów zagospodarowania powstających odpadów (rysunek 2.) wykazuje, iż 47% z nich było ponownie zagospodarowywane – w różnych formach recyklingu lub produkcji energii. Ponad 50% mas trafiających do regionalnych punktów odbioru odpadów było natomiast deponowanych na składowiskach,

generując szereg problemów środowiskowych towarzyszących temu przedsięwzięciu (emisja metanu i odorów, degradacja krajobrazu). Zjawisko to, choć statystycznie prezentuje się znacznie lepiej niż w latach ubiegłych, nadal plasuje polski sektor gospodarki odpadami daleko za systemami zarządzania zebranymi odpadami komunalnymi wprowadzonymi w krajach Wspólnoty Europejskiej. Wynikać może to m.in. z niewystarczającej infrastruktury technicznej do odzysku odpadów, braku odpowiednich zachęt (finansowych, prawnych) do reorganizacji działalności przedsiębiorstw zajmujących się ich zagospodarowaniem czy też nieumiejętnie prowadzonej selektywnej zbiórki mas odpadowych. O ile potrzeba ograniczania procederu składowania odpadów jest znana i stopniowo wdrażana, o tyle nie przyczyniła się ona jeszcze do zauważalnej reorganizacji gospodarki odpadami w Polsce w stosunku do stanu sprzed przyjęcia odpowiednich norm europejskich.

Z dniem 1 lipca 2011 roku znowelizowana została ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach z 13 września 1996 roku, będąca kluczowym dokumentem dla systemu gospodarki odpadami, wprowadziła w życie nowe mechanizmy umożliwiające „naprawę systemu gospodarki odpadami”.

Poprzez naprawę systemu gospodarki odpadami należy rozumieć [4]:

- prowadzenie kontroli nad strumieniem wygenerowanych odpadów i wyeliminowanie nielegalnych składowisk odpadów,
- wprowadzenie segregacji odpadów w miejscu ich powstawania,
- rozwój nowoczesnych instalacji do unieszkodliwiania odpadów w sposób inny niż składowanie,

- zmniejszenie dodatkowych zagrożeń dla środowiska naturalnego wynikających z transportu odpadów z miejsc ich powstania do miejsc odzysku i unieszkodliwiania,
- wprowadzenie podziału województw na regiony gospodarki odpadami, w ramach których prowadzone będą wszelkie czynności związane z gospodarowaniem odpadami.

Model gospodarowania odpadami obejmuje podział kraju na 123 regiony gospodarki odpadami, w ramach, których powstały nowoczesne zakłady, tj. Regionalne Instalacje Przetwarzania Odpadów Komunalnych tzw. RIPOK-i, których budowa umożliwić ma rozwój efektywnego systemu gospodarowania odpadami [5].

Regionalne Instalacje Przetwarzania Odpadów Komunalnych w myśl zasady regionalizacji odpowiadają za przyjęcie określonych grup odpadów z regionu, w którym odpady te wytworzono. W celu zagwarantowania stałego dopływu strumienia odpadów, postępując zgodnie z jedną z podstawowych zasad dotyczących gospodarowania odpadami tzw. „zasadą bliskości”. Oznacza to, że w pierwszej kolejności wytworzone odpady poddaje się przetworzeniu w miejscu ich powstania, a w przypadku, gdy jest to niemożliwe przekazuje się je do najbliższych położonych miejsc, w których mogą być przetworzone, pamiętając jednak, iż wywożenie ich poza region wytworzenia jest zabronione [6].

Według sprawozdań z wojewódzkich planów gospodarki odpadami w 2013 r. w kraju funkcjonowało 96 regionalnych instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów komunalnych, w tym: 2 regionalne instalacje mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów z procesem biologicznego suszenia; 78 regionalnych instalacji do przetwarzania selektywnie zebranych odpadów zielonych i innych bioodpadów oraz

jedna spalarnia zmieszanych odpadów komunalnych (w województwie mazowieckim o zdolnościach przerobowych ok. 70 000 Mg/rok) [7].

Zaprezentowane działania mają umożliwić uzyskanie wymaganych przez Unię Europejską poziomów odzysku i recyklingu niektórych frakcji odpadów oraz ograniczenie składowania, zwłaszcza bioodpadów przy zastosowaniu technologii bezpiecznej dla środowiska naturalnego.

2. Strumień masowy oraz morfologia odpadów komunalnych

Odpady komunalne są to odpady powstające w gospodarstwach domowych, z wyłączeniem pojazdów wycofanych z eksploatacji, a także odpady niezawierające odpadów niebezpiecznych pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych.

Głównymi źródłami powstawania odpadów komunalnych są:

- gospodarstwa domowe;
- obiekty infrastruktury (handel, usługi, rzemiosło, szkolnictwo, przemysł w części „socjalnej” i inne).

Tabela 1. Ilość odpadów komunalnych wytworzonych w Polsce w latach 2005 – 2013

Rok	2005	2010	2011	2012	2013
Odpady wytworzone (tys. Mg)	12 169	12 038	12 129	12 085	11 295

Źródło: Opracowanie na podstawie [7]

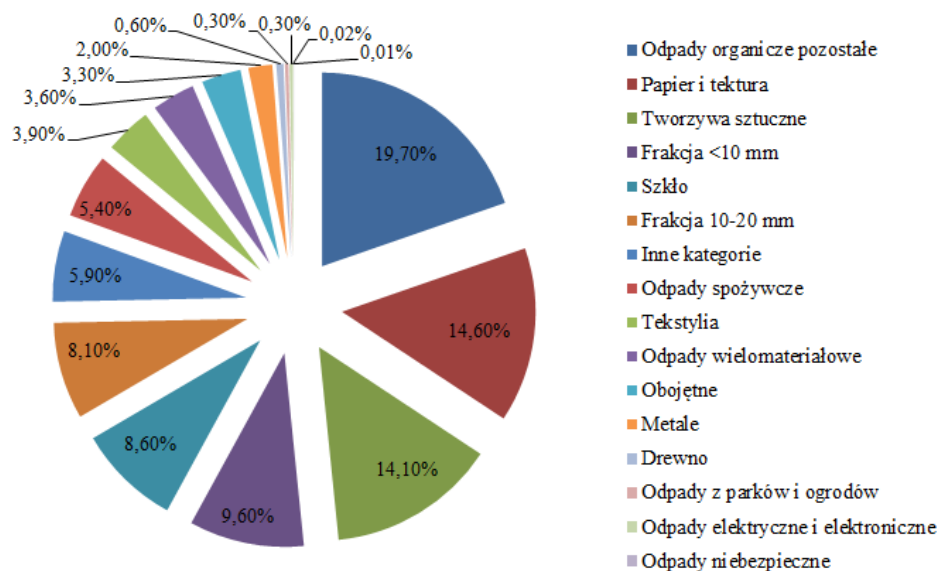
Zaprezentowany w tabeli 1 niewielki spadek ilości zbieranych odpadów może być podyktowany różnymi czynnikami. Wynikać może to ze zmniejszającej się liczby mieszkańców w Polsce, skutkami kryzysu finansowo-ekonomicznego bądź też niewłaściwymi praktykami

gospodarowania produkowanymi odpadami komunalnymi. Aczkolwiek taka sytuacja może wynikać ze świadomie podejmowanych działań mających na celu zapobiegnięcie powstawania odpadów. Do tych działań należy zwiększenie opłat za składowanie odpadów, co spowodowało podniesienie opłat za odbieranie odpadów komunalnych od właścicieli nieruchomości, a w konsekwencji bardziej proekologiczne zachowania konsumentów, które były wzmocnione przez edukację ekologiczną dotyczącą energetycznego wykorzystania odpadów.

Przydatność energetyczna odpadów prowadzona i porównywana jest od wielu lat poprzez prowadzenie stosownych analiz morfologicznych odpadów komunalnych. Zauważalna zmienność właściwości fizykochemicznych w składzie morfologicznym zależy od szeregu czynników określających wielkość populacji, zamożność społeczeństwa (poziom konsumpcji wyrobów), ale także położenia geograficznego analizowanego obszaru czy też pory roku. Nadmienić należy, iż ilość odpadów komunalnych zebranych, w przeliczeniu na jednego mieszkańca na rok jest silnie skorelowana z kondycją ekonomiczną poszczególnych regionów kraju. Wpływ na rodzaj i ilość wytwarzanych odpadów mają również: rodzaj obszaru (miasto, wieś), na którym są one wytwarzane, gęstości zaludnienia, typ zabudowy (jednorodzinna, wielorodzinna), obecność obiektów użyteczności publicznej oraz obecność, rodzaj, wielkość i ilość placówek handlowych i drobnego przemysłu lub usług [7]. Określając, jako główny cel możliwości przetwarzania odpadów, szczególnie interesującymi parametrami są ich właściwości paliwowe, określające m.in. wartość opałową, zawartość wilgoci, zawartość części palnych czy też skład elementarny. Rozpatrując jednak proces produkcji paliw energetycznych z odpadów, powyższe cechy tracą

na priorytetowości. Pożądanymi parametrami są: odpowiedni skład morfologiczny oraz wysoka ilość składników palnych wysokosortowalnych, do których należą: papier, tektura, drewno, guma, tworzywa sztuczne, odpady biodegradowalne i resztki kuchenne zawierające tkankę mięsną i kości, odpady produktów spalania paliw, a także inne substancje zawierające części palne zarówno pochodzenia organicznego, jak i nieorganicznego [8].

Na rysunku 3 przedstawiono uśredniony skład morfologiczny odpadów komunalnych, określony na podstawie analiz przeprowadzonych na wniosek Generalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w 20 instalacjach do mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów w 2015 roku.



Rysunek 3. Skład morfologiczny zmieszanych odpadów komunalnych

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [10]

Analiza zebranych danych (rys. 3) wykazała, iż najmniejszy udział w składzie morfologicznym zmieszanych odpadów komunalnych mają baterie (0,01%, odpady niebezpieczne (0,02%), odpady elektryczne

i elektroniczne i odpady z parków i ogrodów (0,3%) oraz drewno (0,6%). Powyższe kategorie odpadów stanowią około 1,2%. Blisko połowę strumienia zmieszanych odpadów komunalnych tworzą: tworzywa sztuczne (14,1%), papier i tektura 14,6%) oraz odpady organiczne pozostałe (19,7%), co stanowić może doskonałą podstawę do produkcji paliw alternatywnych (RDF) z wymienionych frakcji odpadów lub też stanowić paliwo wsadowe w przypadku spalania lub produkcji energii elektrycznej z biogazu.

3. Metodyka

Celowe staje się, więc wdrażanie zarówno technologii umożliwiających odzysk z powstających odpadów materiałów możliwych do ponownego użycia lub też stanowiących substrat dla układów energetycznych, jak i sposobów pozwalających na przetwórstwo odpadów już zdeponowanych na istniejących składowiskach odpadów. Przykładem zakładu, gdzie obie wspomniane kierunki działań są już realizowane, jest ZGO „Gać” w okolicach Oławy (woj. dolnośląskie).

Dane bilansowe konieczne do określenia możliwości wykorzystania odpadów do generacji różnych form energii użytkowej pochodzą z Zakładu Gospodarowania Odpadami we wsi Gać na Dolnym Śląsku. W wyniku porozumienia zawartego pomiędzy m. Brzeg, g. Brzeg (obecnie Skarbimierz), g. Lubsza, m. Oława, g. Oława w latach 1996 – 1998, na mocy programu gospodarki odpadami komunalnymi rozpoczęto inwestycję nad stworzeniem obecnej Regionalnej Instalacji Przetwarzania Odpadów Komunalnych (RIPOK). Zakład wyposażony jest w kwatery składowania przetworzonych odpadów komunalnych, instalację beztlenowej fermentacji metanowej wyposażoną w dwa agregaty o mocy

600 kW każdy produkujące energię elektryczną i ciepło z biogazu, linię sortowniczą wyposażoną między innymi w kabiny sortownicze, separatory indukcyjne i elektromagnetyczne oraz separatory opto-pneumatyczne, obsługującą około 60 tys. Mg/rok odpadów komunalnych i zebranych w systemie selektywnej zbiórki, a także instalację do tlenowego przetwarzania odpadów po fermentacji oraz odpadów zielonych . Ponadto RIPOK w Gaci wytwarza paliwo, tzw. „alternatywne”, którego głównym odbiorcą są cementownie.

4. Charakterystyka zebranych odpadów

Na podstawie danych bilansowych udostępnionych przez Zakład Gospodarowania Odpadami w Gaci wykonano część badawczo-projektową pracy. W tabeli 2 zestawiono strumienie oraz kody dostarczonych i zebranych odpadów innych niż niebezpieczne przez ZGO w Gaci w roku 2014.

Tabela 2. Odpady inne niż niebezpieczne dostarczone i zebrane przez ZGO Gać w roku 2014

Lp.	Kod odpadów	Rodzaj odpadów	Masa odpadów Mg	Proces odzysku R
1.	01 04 13	Odpady powstające przy cięciu i obróbce postaciowej skał inne niż wymienione w 01 04 07	20,00	R5
2.	02 01 03	Odpadowa masa roślinna	8,28	R3
3.	02 01 83	Odpady z upraw hydroponicznych	0,28	R3
4.	02 03 04	Surowce i produkty nie nadające się do spożycia i przetwórstwa	2,98	R3
5.	02 03 81	Odpady z produkcji pasz roślinnych	51,14	R3
6.	02 06 01	Surowce i produkty nieprzydatne do spożycia i przetwórstwa	0,02	R3
7.	03 01 05	Trociny, wióry, ścinki drewno, płyta wiórowa i formir	19,26	R3
8.	04 02 21	Odpady z nieprzetworzonych włókien tekstylnych	0,12	R12
9.	04 02 22	Odpady z przetworzonych włókien tekstylnych	37,90	R12
10.	10 01 01	Żużle, popioły paleniskowe i pyły z kotłów	130,34	R5
11.	12 01 05	Odpady z toczenia i wygładzania tworzyw sztucznych	0,08	R12
12.	15 01 02	Opakowania z tworzyw sztucznych	264,04	R12
13.	15 01 06	Zmieszane odpady opakowaniowe	3 156,42	R12
14.	16 03 06	Organiczne odpady inne niż wymienione	15,26	R3
15.	16 03 80	Produkty spożywcze przeterminowane lub nieprzydatne do spożycia	47,57	R3
16.	17 01 01	Odpady betonu oraz gruz betonowy z rozbiórek i remontów	296,40	R5
17.	17 01 02	Gruz ceglany	1 047,74	R5

Lp.	Kod odpadów	Rodzaj odpadów	Masa odpadów Mg	Proces odzysku R
18.	17 01 03	Odpady innych materiałów ceramicznych i elementów	10,24	R5
19.	17 01 07	Zmieszane odpady z betonu, gruzu ceglanego	1 180,36	R5
20.	17 05 04	Gleba i ziemia, w tym kamienie	193,00	R5
21.	17 05 06	Urobek z pogłębiania inny niż wymieniony w 17 05 05	40,80	R5
22.	16 01 03	Zużyte opony	100,00	R5
23.	19 08 05	Ustabilizowane komunalne osady ściekowe	300,00	R3
24.	19 05 03	Kompost nieodpowiadający wymaganiom (niezdatny do wykorzystania)	11 097,83	R3
25.	19 09 02	Osady z klarowania wody	69,12	R5
26.	19 12 04	Tworzywa sztuczne i guma	3,92	R12
27.	20 01 01	Papier i tektura	21,06	R12
28.	20 01 08	Odpady kuchenne ulegające biodegradacji	1 328,24	R3
29.	20 01 39	Tworzywa sztuczne	124,16	R12
30.	20 02 01	Odpady ulegające biodegradacji	3 000,00	R3
31.	20 02 02	Gleba i ziemia, w tym kamienie	7,82	R5
32.	20 03 01	Niesegregowane (zmieszane) odpady komunalne	56 091,02	R12
		Suma:	78 665,400	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ZGO Gać

Z danych umieszczonych w tabeli 2 wywnioskować można, iż odpady inne niż niebezpieczne posiadające zdolność do poddania procesom wytwarzania energii stanowią 96,27% całkowitego strumienia odpadów tego typu dostarczonych w roku 2014 do ZGO w Gaci. Do odpadów, z których nie istnieje możliwość pozyskania energii w rozpatrywanym przypadku zaliczyć można żużle, popioły paleniskowe i pyły z kotłów (liczba porządkowa w tabeli – Lp. 10), materiały budowlane (tynki, gruz betonowy) i materiały ceramiczne (Lp. 16–21) czy też gleba lub kamienie (Lp. 20 i 31).

W tabeli 3 zestawiono strumienie oraz kody dostarczonych i zebranych odpadów do unieszkodliwiania przez ZGO w Gaci w roku 2014.

Tabela 3. Odpady unieszkodliwiane dostarczone i zebrane przez ZGO Gać w roku 2014

Lp.	Kod odpadów	Rodzaj odpadów	Masa odpadów <i>Mg</i>	Proces unieszkodliwiania D
1.	10 13 14	Odpady betonowe i szlam betonowy	96,76	D5
2.	12 01 17	Odpady poszlifierskie inne niż wymienione w 12 01 16	8,58	D5
3.	12 01 21	Zużyte materiały poszlifierskie inne niż wymienione w 12 01 20	0,86	D5
4.	16 03 04	Nieorganiczne odpady inne niż wym. w 160306,160380	143,72	D5
5.	17 01 80	Usunięte tynki, tapety, okleiny itp.	13,12	D5
6.	17 08 02	Materiały konstrukcyjne zawierające gips	1,24	D5
7.	17 06 04	Materiały izolacyjne inne niż w 170601, 170603	60,82	D5
8.	17 09 04	Zmieszane odpady z budowlowy, remontów i demontażu	2504,48	D5
9.	19 08 01	Skratki	436,56	D8
10.	19 08 02	Zawartość piaskowników	345,62	D8
11.	19 08 14	Szlamy z innego niż biologicznie oczyszczania	6,90	D5
12.	19 09 01	Odpady stałe ze wstępnej filtracji i skratki	4,26	D8
13.	19 12 12	Inne odpady niż wymienione w 191211	32128,69	D5

Lp.	Kod odpadów	Rodzaj odpadów	Masa odpadów <i>Mg</i>	Proces unieszkodliwiania D
14.	19 12 12	Inne odpady (w tym zmieszane substancje i przedmioty) z mechanicznej obróbki odpadów inne niż wymienione w 19 12 11 (0-80 mm)	26213,56	D8
15.	19 05 99	Inne nie wymienione odpady	10444,08	D5
16.	19 05 01	Nieprzekompostowane frakcje odpadów komunalnych i podobnych	738,00	D5
17.	19 05 02	Nieprzekompostowane frakcje odpadów pochodzenia zwierzęcego i roślinnego	505,70	D5
18.	20 02 03	Inne odpady nie ulegające biodegradacji	958,99	D5
19.	20 03 03	Odpady z czyszczenia ulic i placów	301,04	D5
20.	20 03 06	Odpady ze studzienek kanalizacyjnych	332,40	D5
		Suma:	75 245,380	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ZGO Gać

Z danych umieszczonych w tabeli 3 wywnioskować można, iż odpady unieszkodliwiane posiadające zdolność do poddania procesom wytwarzania energii stanowią 35,87% całkowitego strumienia odpadów tego typu dostarczonych w roku 2014 do ZGO w Gaci. Do odpadów, z których istnieje możliwość pozyskania energii w rozpatrywanym przypadku zaliczyć można: odpady (zmieszane substancje i przedmioty) z mechanicznej obróbki odpadów (Lp. 14), skratki (Lp. 9) czy też zawartość piaskowników (Lp. 10). Opis działań odzysku R i unieszkodliwiania D, szerzej opisano w ustawie z dnia 14 grudnia 2012 o odpadach. W tabelach 4 i 5 zawarto objaśnienia procesów odzysku i recyklingu oraz unieszkodliwiania odpadów.

Tabela 4. Procesy odzysku i recyklingu odpadów komunalnych

Symbol	Procesy odzysku i recyklingu
R1	Wykorzystanie głównie jako paliwa lub innego środka wytwarzania energii
R2	Odzysk/regeneracja rozpuszczalników
R3	Recykling lub regeneracja substancji organicznych, które nie są stosowane jako rozpuszczalniki (w tym kompostowanie i inne biologiczne procesy przekształcania)
R4	Recykling lub odzysk metali i związków metali
R5	Recykling lub odzysk innych materiałów nieorganicznych
R6	Regeneracja kwasów lub zasad
R7	Odzysk składników stosowanych do redukcji zanieczyszczeń
R8	Odzysk składników z katalizatorów
R9	Powtórna rafinacja oleju lub inne sposoby ponownego użycia olejów
R10	Obróbka na powierzchni ziemi przynosząca korzyści dla rolnictwa lub poprawę stanu środowiska
R11	Wykorzystywanie odpadów uzyskanych w wyniku któregośkolwiek z procesów wymienionych w pozycji R1–R10

Symbol	Procesy odzysku i recyklingu
R12	Wymiana odpadów w celu poddania ich któremukolwiek z procesów wymienionych w pozycji R1–R11
R13	Magazynowanie odpadów poprzedzające którykolwiek z procesów wymienionych w pozycji R1–R12 (z wyjątkiem wstępnego magazynowania u wytwórcy odpadów)

Źródło: Opracowanie na podstawie ustawy o odpadach z dnia 14 grudnia 2012

Tabela 5. Procesy unieszkodliwiania odpadów komunalnych

Symbol	Procesy unieszkodliwiania
D1	Składowanie w gruncie lub na powierzchni ziemi (np. składowiska itp.)
D2	Przetwarzanie w glebie i ziemi (np. biodegradacja odpadów płynnych lub szlamów w glebie i ziemi itd.)
D3	Głębokie zatłaczanie (np. zatłaczanie odpadów w postaci umożliwiającej pompowanie do odwiertów, wysadów solnych lub naturalnie powstających komór itd.)
D4	Retencja powierzchniowa (np. umieszczanie odpadów ciekłych i szlamów w dołach, poletkach poletkach osadowych lub lagunach itd.)
D5	Składowanie na składowiskach w sposób celowo zaprojektowany (np. umieszczanie w uszczelnionych oddzielnych komorach, przykrytych i izolowanych od siebie wzajemnie i od środowiska itd.)
D6	Odprowadzanie do wód z wyjątkiem mórz i oceanów
D7	Odprowadzanie do mórz i oceanów, w tym lokowanie na dnie mórz
D8	Obróbka biologiczna, niewymieniona w innej pozycji niniejszego załącznika, w wyniku której powstają ostateczne związki lub mieszanki, które są unieszkodliwiane za pomocą któregośkolwiek spośród procesów wymienionych w poz. D1–D12
D9	Obróbka fizyczno-chemiczna, niewymieniona w innej pozycji niniejszego załącznika, w wyniku której powstają ostateczne związki

Symbol	Procesy unieszkodliwiania
	lub mieszaniny unieszkodliwiane za pomocą któregośkolwiek spośród procesów wymienionych w pozycjach D1–D12 (np. odparowanie, suszenie, kalcynacja itp.)
D10	Przekształcanie termiczne na lądzie
D11	Przekształcanie termiczne na morzu
D12	Trwałe składowanie (np. umieszczanie pojemników w kopalniach itd.)
D13	Sporządzanie mieszanki lub mieszanie przed poddaniem odpadów któremukolwiek
	z procesów wymienionych w pozycjach D1–D12
D14	Przepakowywanie przed poddaniem któremukolwiek z procesów wymienionych w punktach od D1–D13
D15	Magazynowanie poprzedzające którykolwiek z procesów wymienionych w pozycjach D1–D14 (z wyjątkiem wstępnego magazynowania u wytwórcy odpadów)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie ustawy o odpadach z dnia 14 grudnia 2012

Na podstawie informacji uzyskanych od ZGO w Gaci, a także aktualnych aktów prawnych, stwierdzić można, iż najczęściej wykorzystywanymi procesami odzysku i recyklingu odpadów innych niż niebezpieczne należą recykling lub regeneracja substancji organicznych, które nie są stosowane jako rozpuszczalniki (w tym kompostowanie i inne biologiczne procesy przekształcania) (proces R3), recykling lub odzysk innych materiałów nieorganicznych (proces R5) oraz wymiana odpadów w celu poddania ich któremukolwiek z procesów wymienionych w pozycji R1–R11 (proces R12). W przypadku pozostałych strumieni odpadów poddawana zostaje unieszkodliwianiu i poprzez składowanie na składowiskach w sposób celowo zaprojektowany, np. umieszczanie w uszczelnionych oddzielnych komorach, przykrytych i izolowanych od siebie wzajemnie i od środowiska –

(proces D5). Niewielki strumień odpadów zostaje unieszkodliwiony poprzez obróbkę biologiczną, w wyniku, której powstają ostateczne związki lub mieszanki, które są unieszkodliwiane za pomocą któregośkolwiek spośród procesów wymienionych w pozycjach D1–D12 (proces D8).

5. Odpady, jako paliwo stałe

W ramach działalności w roku 2014 ZGO „Gać” wyselekcjonował strumienie poszczególnych grup odpadów predysponowanych do odzysku w formie recydingu (tabela 6) lub też produkcji paliwa alternatywnego typu PAKOM (tabela 7). We wspomnianych zestawieniach mogą znajdować się te same strumienie odpadów, co oznacza, iż odpowiednie ich przetwórstwo pozwala na odzysk zarówno materiałów do ponownego użycia, jak i tych stanowiących substrat w procesach energetycznych z wykorzystaniem paliw stałych. Podane w tabeli kody odpadów odpowiadają klasyfikacji z Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2014 poz. 1923).

Tabela 6. Wyselekcjonowane grupy odpadów do produkcji paliwa alternatywnego

Typ procesu przetwarzania odpadów	Kod odpadów	Rodzaj odpadów	Masa odpadów, Mg
Przetwórstwo mechaniczne	20 01 01	papier i tektura	21,06
	20 01 39	tworzywa sztuczne	124,16
	15 01 02	opakowania z tworzyw sztucznych	264,04
	15 01 06	zmieszane odpady opakowaniowe	3 156,42
	20 03 01	niesegregowane (zmieszane) odpady komunalne	56 091,02

Źródło: Zestawienie własne na podstawie materiałów ZGO „Gać”

Tabela 7. Wyselekcjonowane grupy odpadów do produkcji paliwa alternatywnego

Typ procesu przetwarzania odpadów	Kod odpadów	Rodzaj odpadów	Masa odpadów, Mg/rok
Przetwórstwo mechaniczne	04 02 22	odpady z przetworzonych włókien tekstylnych	37,90
	04 02 21	odpady z nieprzetworzonych włókien tekstylnych	0,12
	12 01 05	odpady z toczenia i wygładzania tworzyw sztucznych	0,08
	19 12 04	tworzywa sztuczne i guma	3,92
	20 01 39	tworzywa sztuczne	124,16
	15 01 02	opakowania z tworzyw sztucznych	264,04
	15 01 06	zmieszane odpady opakowaniowe	3 156,42
	20 03 01	niesegregowane (zmieszane) odpady komunalne	56 091,02

Źródło: Zestawienie własne na podstawie materiałów ZGO „Gać”

Ze zidentyfikowanych substratów do produkcji stałych paliw alternatywnych zakład, dzięki wdrożeniu procesów przeróbki w obrębie posiadanego parku maszynowego, wytworzył, w roku 2014, wspomniane paliwo alternatywne oraz szereg materiałów predysponowanych do ponownego użycia (makulatura, tworzywa sztuczne, guma).

W pracy przeanalizowano dwa warianty energetycznego wykorzystania poszczególnych odpadów:

1. wykorzystanie jedynie paliwa alternatywnego (kod 19 12 10),

2. wykorzystanie zarówno paliwa alternatywnego, jak i zidentyfikowanych materiałów pierwotnie przygotowanych do recyklingu (ze względu na korzystną kaloryczność).

W tabeli 8 podano łączny strumień uzyskiwanego z zakładu paliwa alternatywnego. Do analiz możliwej do uzyskania średniorocznej mocy termicznej źródła (przy założeniu pełnej dyspozycyjności bloku w skali roku) przyjęto stałą wartość opałową powstającego paliwa PAKOM równą 25 MJ/kg (w stanie roboczym) [11].

Tabela 8. Zestawienie uzysku paliwa alternatywnego z instalacji przetwórstwa mechanicznego

Kod odpadów	Rodzaj odpadów	Masa uzyskana, Mg	Kod odpadów wyjściowych	Stopień odzysku
19 12 10	odpady palne (paliwo alternatywne)	19,20	04 02 22	50,66%
		0,08	04 02 21	66,67%
		0,06	12 01 05	75,00%
		2,92	19 12 04	74,49%
		67,40	20 01 39	54,28%
		42,82	15 01 02	16,22%
		650,00	15 01 06	20,59%
		1 138,90	20 03 01	2,03%
SUMA		1921,38 t	ŁĄCZNIE	3,22%

Źródło: Zestawienie własne na podstawie materiałów ZGO „Gać”

Analiza danych wykazała, że jedynie 3,22% masy odpadów poddanych przetwórstwu mechanicznemu zostało przetworzonych do postaci paliwa alternatywnego. Ma to przede wszystkim uzasadnienie w fakcie, iż blisko 94% substratów stanowiły niesegregowane odpady komunalne, wśród których znajdować się mogły znaczne ilości materiałów inertnych lub też trudnych do przetworzenia mechanicznego. Drugim powodem jest fakt równolegle

prowadzonego recydingu, który przyczynił się do ograniczenia uzysku paliwa na poczet ponownego użycia wartościowych elementów mieszaniny.

Przy założonej kaloryczności, uzyskany strumień paliwa pozwala na wytworzenie średniorocznej mocy termicznej źródła równej 1,22 MW. Pozornie wysoki strumień paliwa w skali roku odpowiada spalaniu jedynie 5,26 ton paliwa dziennie (blisko 220 kg na godzinę). Jest to wartość dość mała, zważywszy na fakt potrzeby uwzględnienia sprawności konwersji energii chemicznej paliwa na formę użytkową (30-40% w przypadku energii elektrycznej lub 90% na ciepło w instalacjach monogeneracyjnych, bądź też 40% sprawności elektrycznej i 50% sprawności cieplnej w blokach kogeneracyjnych). Dla porównania, blok węglowy o mocy 50 MW_{el} brutto i podobnej kaloryczności paliwa, przy założeniu odpowiednich sprawności energetycznych, wymaga dostarczenia do palników 22,5 tony materiału węglowego na dobę. W przypadku ciepłowni, 50 MW_t uzyskuje się dzięki wprowadzeniu do komory kotła wodnego strumienia paliwa w liczbie 10 ton dziennie.

W celu określenia możliwości ewentualnego zwiększenia mocy termicznej źródła zasilanego produktami z instalacji ZGO „Gać” przeanalizowano potencjał energetyczny zawarty w materiałach dedykowanych pierwotnie ponownemu użyciu. Zestawiono je w tabeli 9. Przyjęte kaloryczności dobrano zgodnie z [12].

Tabela 9. Zestawienie strumieni materiałów przeznaczonych do recyklingu

Kod odpadów	Rodzaj odpadów	Masa odpadów, Mg	Kod odpadów wyjściowych	Stopień odzysku	Wartość opałowa, MJ/kg
19 12 01	papier i tektura	8,94	20 01 01	42,45%	11
15 01 01	opakowania z tworzyw sztucznych	3,7		17,57%	42
19 12 04	tworzywa sztuczne i guma	4,2	20 01 39	3,38%	35
15 01 02	opakowania z tworzyw sztucznych	132,02	15 01 02	50,00%	42
15 01 02	opakowania z tworzyw sztucznych	380,8	15 01 06	12,06%	42
15 01 01	opakowania z papieru i tektury	142		4,50%	11
19 12 04	tworzywa sztuczne i guma	3,2	20 03 01	0,01%	35
15 01 01	opakowania z papieru i tektury	98,2		0,18%	11
20 01 01	papier i tektura	406,98		0,73%	11
19 12 01	papier i tektura	232,69		0,41%	11
20 01 39	tworzywa sztuczne	15,48		0,03%	42
15 01 02	opakowania z tworzyw sztucznych	320		0,57%	42

Źródło: Zestawienie własne na podstawie materiałów ZGO „Gać”

Udział odzyskanych odpadów z łącznego strumienia materiału wejściowego ponownie był mały i w tym przypadku wyniósł 2,93%. Fakt ten koreluje ponownie z dominującym udziałem niesegregowanych, zmieszanych odpadów komunalnych, wśród których dominowały najprawdopodobniej materiały o wysoki stopniu degradacji, uniemożliwiającym ich ponowne wykorzystanie.

Uzyskane wyniki wykazały średnioroczną łączną moc termiczną wszystkich źródeł opalanych materiałami z tabeli 9 równą 1,45 MW. Jest ona większa aniżeli wartość uzyskana dla paliwa alternatywnego, jednak jej techniczne wdrożenie może stać w opozycji do przyjętej polityki gospodarki odpadami, nastawionej w pierwszej kolejności recycling materiału. Ich użycie byłoby ponadto nieuzasadnione ze względu na relatywnie niski potencjał w generacji energii elektrycznej, ciepła oraz chłodu.

6. Odpady jako paliwo gazowe

Poza wykorzystaniem odpadów, jako paliwa stałego (po uprzednim przetwórstwie mechanicznym), możliwa jest także ich waloryzacja biochemiczna polegająca na technicznej implementacji fermentacji metanowej. Jednym z produktów wspomnianego procesu jest mieszanina gazowa zawierająca metan (w udziale ok. 50%, gdzie pozostałe 50% stanowi głównie CO₂) [13]. Przedsięwzięcie wymaga stabilnego – pod względem jakości oraz ilości – strumienia materiału wsadowego w skali roku oraz odpowiedniej kompozycji samej mieszaniny poddawanej działaniu bakterii beztlenowych.

W analizach przetwórstwo biologiczne prowadzone w obrębie ZGO „Gać” podzielono na fermentację metanową (głównie odpady stałe

z oczyszczalni ścieków oraz frakcja podsitowa z mechanicznej obróbki odpadów) oraz kompostowanie (odpady z grup: 20, 16 i 02, tj. *Odpady z rolnictwa, sadownictwa, upraw hydroponicznych, rybołówstwa, leśnictwa, łowiectwa oraz przetwórstwa żywności*). Odpady z drugiej metody proponuje się włączyć do przedsięwzięcia biogazowego (procesy kompostowania, przebiegające w warunkach tlenowych, uniemożliwiają uzysk palnego gazu). Na podstawie danych z tabeli 10 i 11 określono możliwy do uzyskania uzysk metanu (stanowiącego składnik biogazu) z fermentacji metanowej obu grup strumieni materiałów biodegradowalnych. Własności substratów pod kątem ich stosowalności w biogazowni oraz potencjału biogazowego ujęto w tabeli 12 (parametry pochodzą z [14, 15]). W szacunkach posłużono się wzorem (1):

$$\dot{V}_{CH_4} = \sum(\dot{m}_{subs} \cdot SM \cdot SMO \cdot P_{CH_4}) \quad (1)$$

gdzie:

$\dot{m}_{subs}$ – strumień substratu,

SM – zawartość suchej masy w świeżym substracie,

SMO – zawartość substancji organicznej w suchej masie obecnej w substracie,

P_{CH_4} – szacunkowy uzysk metanu z jednostki substancji organicznej obecnej w suchej masie.

Tabela 10. Odpady przeznaczone do procesu fermentacji metanowej

Typ procesu przetwarzania odpadów	Kod odpadów	Rodzaj odpadów	Masa odpadów, Mg
Przetwórstwo biologiczne	19 09 01	odpady stałe, ze wstępnej filtracji i skratki	4,26
	19 08 01	skratki	436,56
	19 08 02	zawartość piaskowników	345,62
	19 12 12 (0-80)	inne odpady niż wymienione w 19 12 11 (frakcja podsitowa)	26 213,56

Źródło: Zestawienie własne na podstawie materiałów ZGO „Gać”

Tabela 11. Odpady pierwotnie przeznaczone do kompostowania

Typ procesu przetwarzania odpadów	Kod odpadów	Rodzaj odpadów	Masa odpadów, Mg
Przetwórstwo biologiczne	20 02 01	odpady ulegające biodegradacji	3 000,00
	02 01 03	odpadowa masa roślinna	8,28
	02 06 01	surowce i produkty nieprzydatne do spożycia i przetwórstwa	0,02
	02 03 04	surowce i produkty nienadające się do spożycia i przetwórstwa	2,98
	16 03 80	produkty spożywcze, przeterminowane lub nieprzydatne do spożycia	47,57
	20 01 08	odpady kuchenne ulegające biodegradacji	1 328,24
	02 01 83	odpady z upraw hydroponicznych	0,28
	02 03 81	odpady z produkcji pasz roślinnych	51,14
	16 03 06	organiczne odpady inne niż wymienione	15,26

Źródło: Zestawienie własne na podstawie materiałów ZGO „Gać”

Tabela 12. Właściwości poszczególnych odpadów pod kątem szacowania uzysku metanu z procesu fermentacji metanowej

Substrat	SM	SMO	P _{CH4}
	-	-	m^3_{norm}/t_{smo}
mieszanina substratów z tabeli 10	0,57	0,5	400
odpady ulegające biodegradacji	0,232	0,882	489,7
odpadowa masa roślinna	0,45	0,615	400
surowce i produkty nieprzydatne do spożycia i przetwórstwa	0,136	0,802	370
produkty spożywcze, przeterminowane lub nieprzydatne do spożycia	0,189	0,719	530
odpady kuchenne ulegające biodegradacji	0,45	0,719	530
odpady z upraw hydroponicznych	0,57	0,5	400
odpady z produkcji pasz roślinnych	0,875	0,87	387,5
organiczne odpady inne niż wymienione	0,57	0,5	400

Źródło: Zestawienie własne

Sumaryczny uzysk biogazu w skali roku przy przyjętych strumieniach oraz założeniach procesowych wynosi 3 078 tys. m^3_{norm} metanu dla odpadów pierwotnie przeznaczonych do procesu fermentacji oraz 549,7 tys. m^3_{norm} metanu dla materiałów dedykowanych kompostowaniu. Daje to uzyskiwane średnioroczne moce termiczne, kolejno, 3,32 MW oraz 0,6 MW. W przypadku zastosowania typowej elektrociepłowni kontenerowej (sprawność elektryczna na poziomie 40% oraz ciepła równa 50%), generacja elektryczności i ciepła wyniosłaby 1,33 MW_{el} i 1,66 MW_t dla pierwszego przypadku oraz 0,24 MW_{el} i 0,30 MW_t dla drugiego.

Kojarząc generację energii elektrycznej w ZGO „Gać” z okolicznymi gospodarstwami rolnymi (o rocznym zużyciu energii elektrycznej na poziomie 5000 kWh [16] każde i możliwie płaskiej charakterystyce popytu w roku), możliwe stałoby się zasilanie w elektryczność blisko 2 700 domostw przez cały rok (pomijając wykorzystanie generowanie energii elektrycznej na potrzeby własne).

7. Wnioski

1. Wykazano, że możliwe jest przekształcenie odpadów na paliwo energetyczne mając na uwadze rodzaj pozyskiwanych odpadów oraz możliwość wykorzystania jednej lub wielu technologii konwersji energii chemicznej zawartej w paliwach z odpadów.
2. Uzyskane moce termiczne dla paliw stałych są małe, przez co ich energetyczne wykorzystanie z zachowaniem korzystnych wskaźników ekonomicznych może zbiegać się do ich spalania w piecach obrotowych cementowni (roczne zapotrzebowanie na paliwo alternatywne cementowni, które rocznie na produkcję klinkieru zużywają ponad 1 200 tys. Mg paliw alternatywnych).
3. Uzysk biopaliwa gazowego z instalacji stwarza realne możliwości do stworzenia zdecentralizowanego poligeneracyjnego bloku energetycznego umożliwiającego zasilanie zakładu (oraz okolicznych gospodarstw) w energię elektryczną, ciepło i chłód – nawet w ilości pozwalającej na uzyskanie statusu samowystarczalnego energetyczne w skali całego roku.



Autorzy artykułu składają serdeczne podziękowania Pracownikom Zakładu Gospodarowania Odpadami we wsi Gać za udostępnienie danych bilansowych niezbędnych do wykonania analiz zawartych w powyższym artykule. Ponadto Autorzy pragną podziękować za wsparcie merytoryczne oraz konsultacje podczas pisania niniejszej pracy.

Literatura:

1. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U. 2001 nr 62 poz. 628).
2. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach z późniejszymi zmianami (Dz.U. 2013 poz. 21).
3. Malinowski M., Wozniak A.: *Problem optymalizacji logistycznych parametrów transportu odpadów komunalnych w aspekcie strategii ekofirmy*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Nr 10/2011, 2011.
4. Materiały konferencyjne „Cykl seminariów w zakresie sposobów wdrażania nowego modelu gospodarki odpadami komunalnymi”, Polska Izba Ekologii, Katowice 2013.
5. Radomski Zakład Utylizacji Odpadów Komunalnych P.P.U.H. RADKOM Sp. z o.o.: „Nowa rzeczywistość odpadowa”, Dodatek specjalny nr 2/2013 do kwietniowego Przeglądu Komunalnego nr 4/2013,

6. Pasak J., Pikoń K.: *„Instalacje ponadregionalne – nowy element systemu gospodarki odpadami”*, Współczesne problemy ochrony środowiska 2015.
7. Założenie do aktualizacji Krajowego planu gospodarki odpadami, Projekt z 28 lipca 2015, Warszawa 2015.
8. Główny Urząd Statystyczny, *„Rocznik statystyczny ochrony środowiska 2013”* Warszawa, 2015.
9. Wilk R., Wandrasz J. A.: *Współspalanie węgla i paliw z odpadów – badania eksperymentalne*, Paliwa z odpadów – tom III, Gliwice 2001.
10. Jędrzak A., den Boer E.: *„Raport końcowy III etapu ekspertyzy mającej na celu przeprowadzenie badań odpadów w 20 instalacjach do mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów”*, Zielona Góra, 2015.
11. Cholewiński M., Dzimitrowicz A., Kamiński M.: *Własności wybranych paliw alternatywnych – wpływ na procesy spalania oraz unos zanieczyszczeń*, IV Wrocławska Konferencja Studentów Nauk Technicznych i Ścisłych Puzzel 2015, wydawca: Oskar Uchański, Wrocław 2015.
12. Sorek A., Borecki M., Ostrowska-Popielska: *Wybrane odpady tworzyw sztucznych jako źródła paliw alternatywnych w przemyśle metalurgicznym*. Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, nr 4, 2012.
13. Veeken A.: *Digestion and composting of domestic and market biodegradable waste in Kotte MC*, Urban Environment Group, Department of Environmental Sciences, Wageningen University, Wageningen, 2005.

14. Curkowski A., Oniszk-Popławska A.: *Surowce do produkcji biogazu - uproszczona metoda obliczenia wydajności biogazowni rolniczej*, Czysta Energia, 2010.
15. Fugol M., Szlachta J.: *Analiza bazy surowcowej do produkcji biogazu w powiecie strzelińskim*, Inżynieria Rolnicza 2009.
16. Główny Urząd Statystyczny: *Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2009 r.*, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa 2012.

inż. Yelena Pyshynskaya (Helena Pyszyńska)¹⁾

dr inż. Barbara Sadowska-Buraczewska²⁾

Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Katedra Konstrukcji Budowlanych^{1) 2)}

Wiejska 45A, Białystok

¹⁾helenapyszynska@gmail.com

Dachy zielone - zrównoważony rozwój budownictwa wielorodzinnego

Green roofs - sustainable development of multi-family housing

Słowa kluczowe: dach zielony, ekologia, budynek wielorodzinny

Keywords: green roof, ecology, multi-family building

Streszczenie: W chwili obecnej w dużych miastach coraz częściej spotykamy się z małą ilością terenów zieleni. Wynika to z powodu oszczędzenia przestrzeni, przeznaczonej pod zabudowę. W takich sytuacjach dobrym rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie użytkowych dachów oraz tarasów zielonych w budynkach. Nowoczesne budynki wielorodzinne charakteryzują się swoim atrakcyjnym wyglądem zewnętrznym oraz wygodnym układem wewnętrznym mieszkań. Zaproponowano projekt i wizualizację budynku wielorodzinnego z użytkowym dachem zielonym, w wielkim mieście o ograniczonej przestrzeni, w układzie płytowo-słupowym z wprowadzeniem ścian usztywniających. Obliczenia momentów zginających oraz sił wewnętrznych konstrukcji uzyskano Metodą Elementów Skończonych programem numerycznym Autodesk Robot Struktural Analysis Professional 2014. W celu sprawdzenia poprawności uzyskanych wyników, wydzielono część płyty stropowej i obliczono momenty zginające metodą współczynnika. Podstawowym celem niniejszego artykułu jest przedstawienie zalet dachów zielonych i udowodnienie, że budowa dachu zielonego w wyniku zastosowania odpowiednich rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych, zapewni dobre warunki do wegetacji roślin oraz w miarę potrzeb warunki do rekreacji. Omówiono tu typy występujące w tego rodzaju dachach oraz ich konstrukcje.

1. Wstęp

XXI wiek jest okresem dynamicznej progresywności technologicznej, która bezspornie powoduje zmiany w rozwoju ekonomiczno-społecznym oraz budownictwie miejskim. Rozwój ten wywołuje duże zapotrzebowanie na wolne tereny pod infrastrukturę, zabudowę budynków usługowych oraz przemysłowych. Wraz z rozwojem miast również rozwija się budownictwo mieszkaniowe [21].

Z powodu zwiększenia zaludnienia powstają osiedla w zabudowie mieszkaniowej – powstałych z budynków wielorodzinnych, które są przeznaczone do długotrwałego pobytu ludzi. Te obiekty budowlane zazwyczaj są złożone z powtarzalnych segmentów oraz kondygnacji. Zazwyczaj mają one prosty kształt geometryczny, co wiąże się z ułatwieniem wykonania, oraz składają się z wielu pięter, by zaoszczędzić przestrzeń miejską [21, 26].

Należy zauważyć, że rosną też standardy zabudowy mieszkaniowej: wygodny układ przestrzenny mieszkań, dobór materiałów budowlanych o dobrej jakości, estetyczny wygląd zewnętrzny budynków, rozwinięta komunikacja miejska oraz możliwość posiadania własnego miejsca parkingowego [24, 26].

Wszystkie te czynniki powodują zmniejszenie terenów zieleni w przestrzeni nowoczesnego miasta, co powoduje nieustającą degradację środowiska naturalnego.

Jednym z rozwiązań tego problemu jest zastosowanie zielonych systemów przegród poziomych oraz pionowych w budynkach. W nowoczesnym budownictwie coraz częściej używa się zieleni na dachach różnych obiektów budowlanych, takich jak: centra handlowe,

budynki biurowe, banki itd. Popularność tych dachów wzrosła, ponieważ jest to świetne rozwiązanie estetyczne oraz użytkowe [21, 24].

1.1. Zalety dachów zielonych

Coraz częstszym zabiegiem architektów jest projektowanie dachów zielonych, które nie powodują utraty terenów wokół budynków, a potrafią zyskać przestrzeń przyjazną środowisku i człowiekowi. Pozorna prostota tego rozwiązania pozwala zachęcić do coraz częstszego stosowania go przy nowo powstających inwestycjach kubaturowych [24].

Poza walorami estetycznymi, które niewątpliwie są ich zaletą, powinniśmy dostrzec inne korzyści, jakie za sobą niosą. Mowa tutaj o korzyściach użytkowych, ekologicznych oraz ekonomicznych.

Jeżeli chcielibyśmy nawiązać do ekologicznej strony zagadnienia można śmiało powiedzieć, że ten typ dachu stał się niejako łącznikiem pomiędzy światem naturalnym, a światem architektury, który jest światem ludzkim i coraz bardziej odstępuje od otaczającej nas przyrody. Oddziaływania przestrzeni architektonicznej na przyrodę miały nieczęsto charakter destrukcyjny. Stosowanie tego typu rozwiązania pozwala nam tchnąć pierwiastek życia w coraz to bardziej zurbanizowane tereny miejskie i podmiejskie [21, 26].

Przede wszystkim dach zielony pozwala zaoszczędzić wolne tereny pod zabudowę miejską, gdzie ważny jest każdy niewykorzystany metr kwadratowy przestrzeni. Pozwala to również zachować balans pomiędzy terenami zabudowanymi, a zielonymi. Takie rozwiązanie nie wiąże ze sobą dużych kosztów podczas projektowania oraz wykonania konstrukcji nośnej obiektu budowlanego. Możliwość zastosowania dość lekkich materiałów

drenujących oraz nowoczesnych technologii wykonania dachów zielonych nie doprowadza do nadmiernego obciążenia konstrukcji budynku [24, 25].

Dodatkowo zastosowanie dachów zielonych jest jedną z metod gospodarowania wodami opadowymi na terenach ciasnej zabudowy miejskiej. Podczas dużych opadów deszczu warstwa wegetacyjna o odpowiedniej miąższości i w zależności od zastosowanego substratu może pełnić funkcję ochrony przeciwpowodziowej. Nadmierna ilość cieczy przepływa do odbiorników z dużym opóźnieniem, co powoduje odciążenie kanalizacji deszczowych podczas szczytowych przepływów wody. W dodatku woda wyparowuje z warstw glebowych dachów zielonych oraz z samej powierzchni roślinności. Zarazem można odprowadzać wodę zebraną z dachu zielonego do specjalnych zbiorników, całkowicie ją zatrzymując, a następnie wykorzystać w odpowiednich celach [2, 3].

Ze względu na zwartość zabudowy miejskiej, działalność gospodarczą człowieka oraz intensywny ruch uliczny pogarsza się mikroklimat miast o wysokim stopniu urbanizacji. Wynikiem tego jest spadek względnej wilgotności powietrza, wysoki poziom jego zanieczyszczenia oraz wzrost temperatury. A więc roślinność, zastosowana na dachach zielonych, pomaga zredukować wyżej wymienione problemy. Po pierwsze na skutek działania procesu fotosyntezy zachodzi do regresji dwutlenku węgla i wytwarzania tlenu. Po drugie, roślinność absorbując energię świetlną, doprowadza do zmniejszenia temperatury oraz wilgotności powietrza. Obniża się również temperatura nagrzewania elementów pokryć dachowych budynku [2, 25].

Ważnym aspektem jest również to, iż roślinność pochłania kurz oraz toksyny. W wyniku tego procesu zachodzi do filtracji

zanieczyszczonego powietrza, korzystnie działając na bioklimat środowiska [2].

Konstrukcja dachu musi posiadać warstwy izolacyjne, które chronią budynek przed utratą ciepła w okresach obniżonej temperatury oraz przed nagrzewaniem się wskutek działania temperatur wysokich. W budownictwie spotykamy się ze zjawiskiem starzenia się materiałów. W wyniku tego procesu materiał staje się nieuszczelny, posiada pęknięcia oraz rysy, co prowadzi do niespełnienia wymogów stawianych materiałom izolacyjnym. Czynniki przyspieszającymi proces starzenia się są: promieniowanie słoneczne, wysoka kumulacja ozonu w powietrzu, opady atmosferyczne (deszcz, śnieg oraz grad) oraz obciążenie wiatrem [19, 20]. Natomiast odpowiednie i prawidłowe wykonanie dachu zielonego chroni materiał przed uszkodzeniami zewnętrznymi redukując jego proces zmęczenia się. Z tego wynika, że dachy zielone redukują straty energii cieplnej oraz korzystnie wpływają na bilans cieplny budynku. Układ warstw zielonych przegród poziomych chroni izolację przed nadmiernym zamarzaniem w okresach zimowych oraz przed zbytnim nagrzaniem w okresach letnich [2, 22].

Standardy współczesnego budownictwa wymagają zaostrzenia uwagi na hałas pochodzący z zewnątrz oraz z wewnątrz budynku. Dachy zielone pełnią rolę również dobrej izolacji akustycznej. Jego warstwy posiadają właściwości tłumiące. Pochłaniają one hałas dzięki miękkiej warstwie dachu zielonego, utworzonej przez powierzchnie roślinności. Ze względu na zastosowaną roślinność oraz grubość warstwy substratu natężenie dźwięku może być ograniczone nawet o 50 dB [2].

1.2. Typy dachów zielonych

Na dachach zielonych (Rysunek 1) stosuje się następujące typy zieleni: roślinność ekstensywna i intensywna oraz typ prosty intensywny [2].



Rysunek 1. Dach zielony Uniwersytetu Technicznego Nanyang w Singapurze

Źródło: [8]

1.1.1 Roślinność ekstensywna

Ekstensywne dachy zielone (Rysunek 2.) charakteryzują się dużą powierzchnią oraz mogą być pochylone do 30%. Przy dużych nachyleniach dachów należy pamiętać o zastosowaniu specjalnych zabezpieczeń przed osuwaniem oraz erozją.



Rysunek 2. Ekstensywny dach zielony

Źródło: [9]

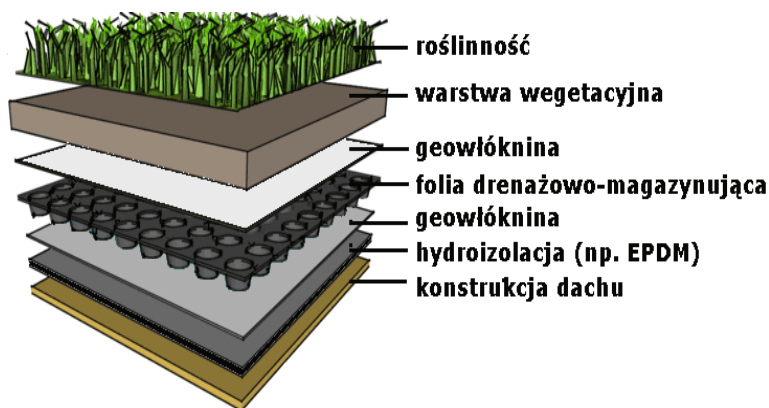
W przypadku zastosowania roślinności ekstensywnej (Rysunek 3.) nie projektuje się instalacji nawadniających, ponieważ tego typu roślinność ma zdolność do samoregeneracji, są to rośliny sucholubne. Głównie są to mchy, rojniki oraz zioła. Wyróżniają się one wysoką odpornością na działanie promieni słonecznych, długotrwałą suszę oraz wiatr. Dlatego dachy typu ekstensywnego charakteryzują się stosunkowo niskimi kosztami wykonania oraz utrzymania [2, 3].



Rysunek 3. Roślinność ekstensywna

Źródło: [10]

Warstwy takiego typu dachu zielonego (Rysunek 4.) cechują się dosyć małą miąższością ze względu na stosunkowo płytki system korzeniowy. Dlatego jest to dobre rozwiązanie w przypadku konstrukcji nośnych, które nie posiadają odpowiedniej wytrzymałości na dodatkowe obciążenia. Wartość charakterystyczna ciężaru warstwy glebowej o grubości od 5 do 15 cm w stanie nasyconym wodą wynosi 0,6-2,4 kN/m² [2].



Rysunek 4. Warstwy dachu ekstensywnego

Źródło: [11]

1.1.2. Roślinność intensywna

Dachy intensywne (Rysunek 5.) pełnią rolę ekologiczną oraz użytkową i rekreacyjną. Charakteryzują się one dosyć wysokimi kosztami pod względem utrzymania oraz wykonania w stosunku do dachów typu ekstensywnego [2, 24].

Wysokie koszty są związane z tym, że można zastosować różnorodną roślinność (Rysunek 6.): od niemalże wszystkich gatunków roślin i krzewów do niewysokich drzew z odpowiednim systemem korzeniowym.

Pielęgnacja polega na odpowiednim oraz systematycznym nawożeniu, koszeniu oraz nawadnianiu. W tym celu często stosuje się automatyczne instalacje nawadniające i odwadniające.

Zazielenienie tego typu wymaga warstwy wegetacyjnej o dosyć dużej grubości, może ona wynosić od 25 do 100 cm. Warstwa substratu glebowego może być usytuowana sposób punktowy jak również pasmowy [2].



Rysunek 5. Dach zielony intensywny

Źródło: [12]

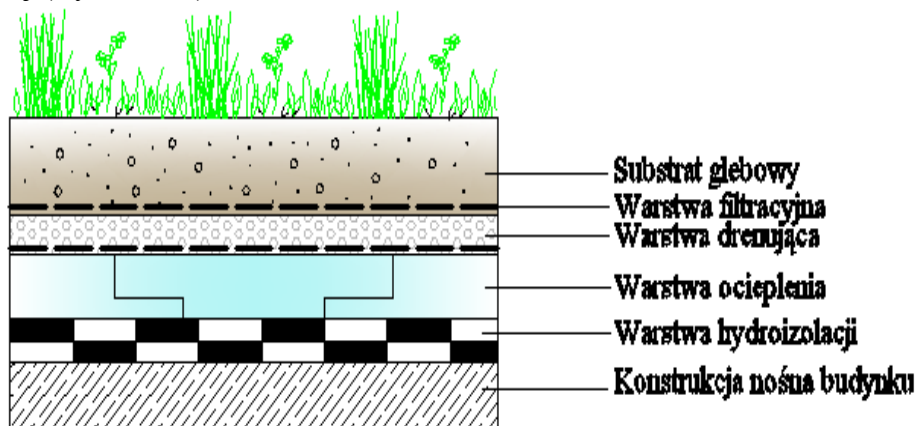


Rysunek 6. Roślinność intensywna

Źródło: [10]

Spadek takiego dachu nie powinien przekraczać 10%, ze względu na erozję. Ciężar warstwy substratu glebowego w stanie nasyconym wodą jest większy w stosunku do ciężaru w przypadku dachów ekstensywnych i wynosi 2,5-15,0 kN/m² [2].

Warstwy dachu zielonego intensywnego przedstawiono na rysunku niżej (Rysunek 7.)



Rysunek 7. Warstwy dachu intensywnego

Źródło: [7]

1.1.2 Typ prosty intensywny

Takie dachy wymagają większej pielęgnacji w stosunku do dachów z roślinnością ekstensywną. Do stosowanych roślin należą gatunki zieleni intensywnej tzw. łąki zieleni (Rysunek 8.).



Rysunek 8. Zielony dywan

Źródło: [13]

Warstwa substratu glebowego wynosi od 15 do 25 cm grubości. Podobnie jak w przypadku dachów z roślinnością typu intensywnego pielęgnacja polega na koszeniu, nawadnianiu oraz nawożeniu warstwy wegetacyjnej. Dach powinien być zaopatrzony również w system odwadniający oraz powinien być zastosowany odpowiedni kąt nachylenia (nie mniejszy niż 2%). Ciężar takiego dachu wynosi 0,18-0,30 kN/m² [2].

1.2 Konstrukcja dachów zielonych

Podczas projektowania budynków z dachami zielonymi należy brać po uwagę obciążenia ciężarem własnym substratu glebowego wraz z ciężarem roślin oraz instalacji nawadniających. Uwzględnia się również obciążenie śniegiem, wiatrem oraz obciążenie użytkowe dachu. Należy zaprojektować dach o właściwym pochyleniu, ze względu na zastosowaną roślinność.

Konstrukcja dachu zielonego powinna się składać z:

- warstw hydroizolacji,
- warstwy ocieplenia,
- ochrony przed przenikaniem korzeni roślin,
- warstwy filtracji,
- warstwy drenażu,
- warstwy wegetacyjnej,
- zieleni [2].

Grubość warstwy ziemi uprawnej dobiera się za względu na typ zastosowanej roślinności oraz warunków otaczającego środowiska. Substrat glebowy (Rysunek 9.) powinien charakteryzować się odpowiednimi cechami biologicznymi, chemicznymi oraz fizycznymi.

Ważne jest tak dobrać substrat, by posiadał on wysoką odporność na cykliczne zmiany temperatury (zamarzanie i rozmarzanie), która ma wpływ na osiadanie gruntu. Substrat glebowy może być rozprowadzony w sposób punktowy, pasmowy oraz może być usytuowany na całej powierzchni dachu [2].

Dobór mieszanki ogrodniczej jest uwarunkowany przyjętym typem roślinności. Powinna ona charakteryzować się odpowiednio dobraną frakcją komponentów mineralnych oraz ilością komponentów organicznych. W przypadku roślinności ekstensywnej przyjmuje się 8-10 cm grubości ziemi uprawnej. W przypadku roślinności intensywnej - nawet ponad 25 cm [2, 3].



Rysunek 9. Substrat glebowy

Źródło: [14]

Warstwa filtracyjna powinna zatrzymywać drobne cząsteczki spadające z wyżej położonych warstw dachu zielonego. Warstwa

ta znajduje się pomiędzy warstwą wegetacyjną i drenującą. Materiał powinien być odporny na przenikanie korzeni roślin oraz na działanie mikroorganizmów. Zazwyczaj stosowana jest geotekstylia (struktury płaskie) która posiada stosunkowo wysoką wytrzymałość mechaniczną [2, 23].

Warstwa drenująca ma za zadanie gromadzenia, a następnie odprowadzania nadmiernej ilości wody z warstwy substratu glebowego. Również powinna zapewnić prawidłowe dotlenienie systemu korzeniowego zieleni. Warstwa drenująca może być wykonana z materiałów sztucznych (np. żużel) oraz z materiałów pochodzenia naturalnego (żwir płukany, piasek średni, grys naturalny). Grubość warstwy drenującej oraz warstwy substratu glebowego warunkują uziarnienie materiałów sypkich. Natomiast takie rozwiązanie powoduje wzrost obciążenia konstrukcji nośnej ze względu na dosyć duży ciężar własny warstwy drenującej, dlatego coraz częściej jednak stosuje się specjalne maty drenujące (Rysunek 10.) wykonane z tworzyw sztucznych. Są one lekkie w porównaniu do materiałów sypkich. Można je stosować pod roślinność typu ekstensywnego i intensywnego [2, 7].



Rysunek 10. Mata drenująca

Źródło: [15]

Warstwa hydroizolacji oprócz właściwości wodoszczelnych i wodoodpornych, powinna posiadać odpowiednią wytrzymałość na ściskanie. Jej kolejnym zadaniem jest zabezpieczenie konstrukcji i niżej leżących warstw dachu zielonego przed przerastaniem korzeniami roślin. Natomiast często warstwy hydroizolacji nie posiadają odpowiedniej odporności na przebicie korzeniami roślin, więc stosuje się wtedy dodatkową warstwę ochronną. Eksploatacja tego typu dachów niesie za sobą konieczność korzystania z różnego rodzaju nawozów chemicznych, co wymaga od izolacji odpowiedniej odporności na działanie kwasów i zachodzących reakcji. Ważną cechą jest również odporność warstwy hydroizolacji na działanie mrozu oraz czynniki biologiczne. Do wykonania hydroizolacji możemy zastosować takie materiały, jak: papa bitumiczna oraz powłoki z tworzyw sztucznych. Papy często wykonuje się z dodatkiem odpowiednich środków chemicznych lub ze specjalną wkładką z folii miedzianej. Powłoki hydroizolacyjne z tworzyw sztucznych (np. masy bitumiczne KMB) charakteryzują dobrą sie wodo- i mrozoodpornością i nie są podatne na działanie mikroorganizmów [2, 7, 23].

Termoizolacja powinna również charakteryzować się odpornością na przebicie korzeniami roślin, na działanie wody i mikroorganizmów oraz kwasów humusowych. Stosuje się wełnę mineralną lub piankę XPS, czyli polistyren ekstrudowany, który charakteryzuje się wysoką mrozoodpornością oraz niską przepuszczalnością cieplną. Materiał ten dodatkowo posiada dużą odporność na działanie wilgoci oraz wysoką wytrzymałość na ściskanie [2, 5, 23].

Projektowanie dachów z roślinnością polega nie tylko na precyzyjnym dobraniu warstw składowych przegrody zielonej, ale także urządzeń zabezpieczających przed upadkiem ludzi przebywających

na dachu. W tym celu stosowane są balustrady ze stali nierdzewnej, układy lin oraz specjalnych uchwytów. Przestrzenie pomiędzy ścianami attyki lub ściankami kominów, a substratem glebowym, wypełnione są paskami keramzytowymi o odpowiedniej szerokości [4].

2. Projektowanie konstrukcji budynku wielorodzinnego z dachem zielonym

Zaprojektowany obiekt jest budynkiem wielorodzinnym przeznaczonym na stały pobyt ludzi. Obiekt mieści w sobie trzy kondygnacje nadziemne i jedną kondygnację podziemną - piwnicę. Każda z kondygnacji nadziemnych dzieli się na sześć mieszkań. Na stropodachu zaprojektowany został użytkowy dach zielony.

W budynku zastosowano technologię monolityczną o konstrukcji płytowo-słupowej z wprowadzeniem ścian usztywniających.

Rysunki 11 i 12 przedstawiają wizualizację budynku.



Rysunek 11. Wizualizacja dachu zielonego analizowanego budynku (projekt własny)

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 12. Wizualizacja elewacji analizowanego budynku (projekt własny)

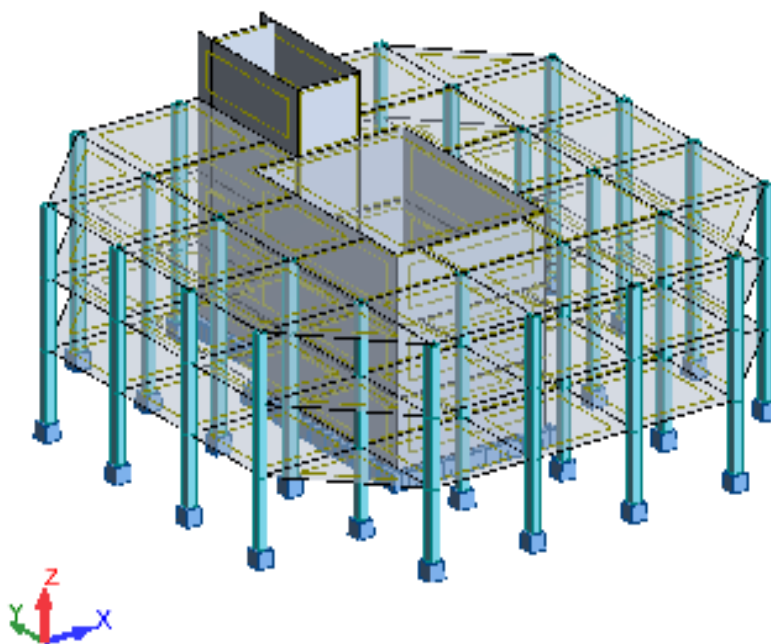
Źródło: Opracowanie własne

2.1. Obliczenia statyczne Metodą Elementów Skończonych budynku wielorodzinnego z dachem zielonym

Metoda Elementów Skończonych (MES) jest jedną z metod numerycznych, która polega na dzieleniu analizowanego obszaru na pewną skończoną liczbę geometrycznie prostych elementów połączonych ze sobą węzłami. Za pomocą programów komputerowych opartych na tej metodzie, obliczenia statyczne nie są czasochłonne. Początkowo stworzono model obliczeniowy analizowanego obiektu, a następnie uruchomiono procedury obliczeniowe. Ten etap składa się z dwóch podstawowych faz: utworzenie układu równań liniowych i rozwiązanie tych równań [6, 16].

W przedmiotowym budynku do obliczeń momentów przęsłowych i momentów podporowych elementów konstrukcji został zastosowany

program obliczeniowy Autodesk Robot Structural Analysis 2014 (wersja edukacyjna), w którym utworzono model konstrukcji (Rysunek 13.) w trójwymiarze. Zebrane obciążenia m.in.: od ciężaru własnego płyty oraz obciążenie użytkowe wykorzystywano do obliczeń statycznych konstrukcji budynku. W projektowanym budynku zastosowano technologię monolityczną o konstrukcji płytowo-słupowej z wprowadzeniem ścian usztywniających [17].

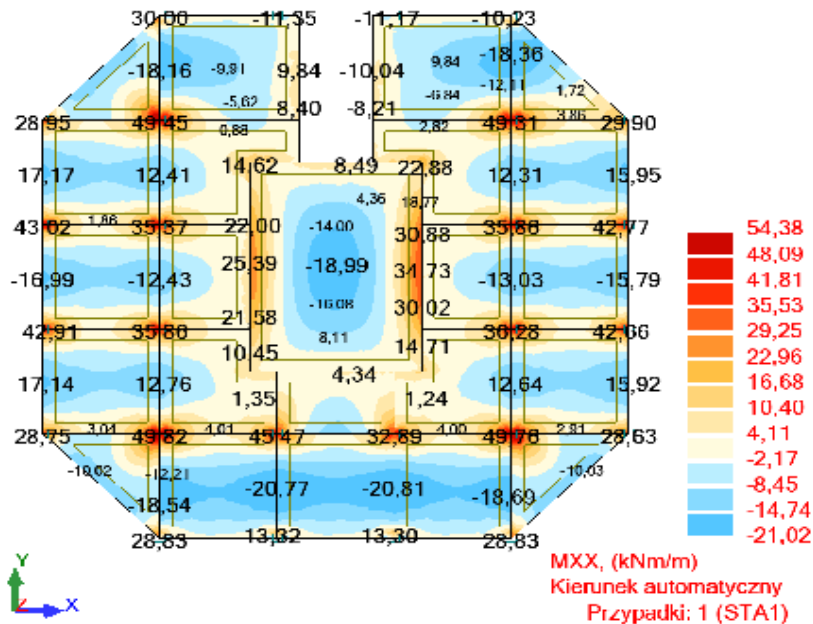


Rysunek 13. Model konstrukcji przedmiotowego obiektu

Źródło: Opracowanie własne

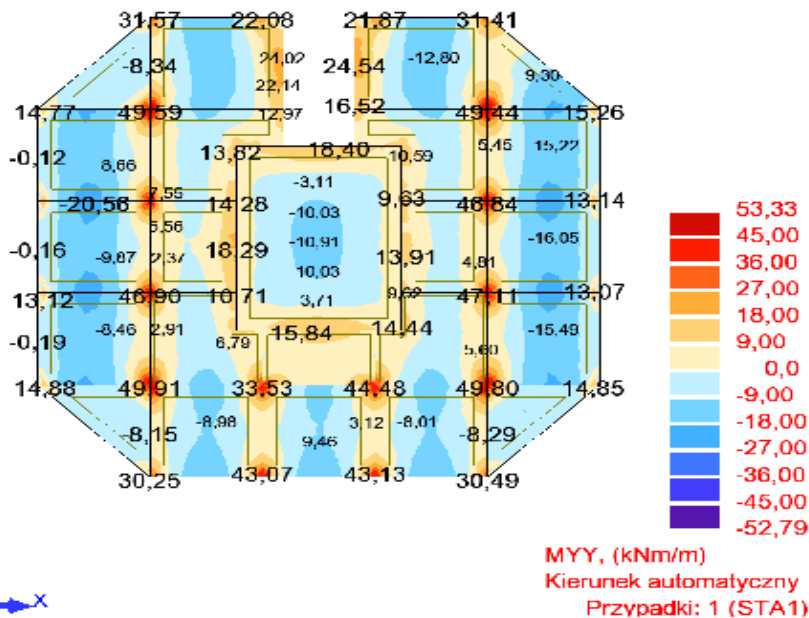
2.1 Wyniki analizy MES

Z analizy numerycznej Metodą Elementów Skończonych przedstawiono wybrane wyniki dla elementów konstrukcji. Rysunek 14 przedstawia mapę momentów płyty na kierunku X oraz rysunek 15 dla płyty na kierunku Y [18].



Rysunek 14. Mapa momentów na kierunku XX płyty

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 15. Mapa momentów na kierunku YY płyty

Źródło: Opracowanie własne

2.2. Obliczenia statyczne metodą współczynnikową (metoda analityczna)

Metodę współczynnikową stosuje się dla płyt, których grubość jest stała oraz mała w stosunku do pozostałych wymiarów. W przypadku płyt jednoprzęsłowych, opartych na podporach nieodkształcalnych rozróżnia się sześć schematów oparcia płyty na obwodzie.

Wydzielono część stropu opierającą się na ścianach żelbetowych. Następnie płytę obciążono obciążeniem stałym równomiernie rozłożonym od ciężaru własnego i obciążeniem zmiennym użytkowym. Momenty zginające obliczono za pomocą współczynników przyjętych z tabel. Współczynniki dobiera się w oparciu na stosunek długości krawędzi płyty $\frac{l_y}{l_x}$ oraz sposób jej zamocowania [1, 18].

Momenty przęsłowe oblicza się ze wzoru:

$$M_x = \varphi_x q l_x^2 \quad (1)$$

$$M_y = \varphi_y q l_y^2 \quad (2)$$

gdzie:

φ_x, φ_y - współczynniki dobrane z tabel,

l_x, l_y - wymiary płyty,

q - obciążenie działające na płytę.

Momenty podporowe oblicza się ze wzoru:

- przy obustronnym zamocowaniu:

$$M_x = -\frac{\chi}{12} q l_x^2 \quad (3)$$

$$M_y = -\frac{(1-\chi)}{12} q l_y^2 \quad (4)$$

- przy jednostronnym zamocowaniu:

$$M_x = -\frac{\chi}{8}ql_x^2 \quad (5)$$

$$M_y = -\frac{(1-\chi)}{8}ql_y^2 \quad (6)$$

gdzie:

χ - współczynnik rozdziału obciążenia na kierunek równoległy do boków

l_x, l_y ,

l_x, l_y - wymiary płyty,

q - obciążenie działające na płytę.

3. Ocena i podsumowanie wyników

Przeprowadzono analizę porównawczą wyników uzyskanych metodą współczynnikową i Metodą Elementów Skończonych w zakresie ugięć, nośności i sztywności elementów konstrukcyjnych obiektu z dachem zielonym. W tabeli 1 pokazano wybrane wyniki momentów przęsłowych i podporowych dla płyty.

Tabela 1. Porównanie wyników analizy MES i Metody Współczynnikowej

	MES	Metoda współczynnikowa	Różnica
Moment przęsłowy M_x	18,99 kNm	17,06 kNm	+11%
Moment przęsłowy M_y	10,91 kNm	11,08 kNm	+2%
Moment podporowy M_A	34,73 kNm	34,94 kNm	+1%
Moment podporowy M_B	18,40 kNm	19,16 kNm	+4%

Źródło: Opracowanie własne

Z analizy wyników przedstawionych w tabeli 1 wynika, iż wartości momentów obliczone analitycznie jak i Metodą Elementów Skończonych są bardzo zbliżone. Różnice nie przekraczają 11%.

4. Wnioski

1. Dachy zielone są dobrym rozwiązaniem estetycznym zwieńczenia budynków w ciasnej zabudowie miejskiej. Ich zastosowanie pozwala zaoszczędzić wolne tereny pod zabudowę miejską. Dachy zielone są dobrym rozwiązaniem pod względem użytkowym, ekologicznym oraz ekonomicznym. Zastosowanie tego typu dachów wpływa korzystnie na samopoczucie człowieka.
2. Dachy zielone redukują straty energii cieplnej oraz korzystnie wpływają na bilans cieplny budynku. Prawdłowo zaprojektowany dach zielony odgrywa znaczną rolę w gospodarowaniu wodami atmosferycznymi. Pozwala to pełnić funkcję ochrony przeciwpowodziowej. Dachy zielone również izolują budynek przed hałasem. Roślinność zastosowana na dachach zielonych polepsza mikroklimat miast oraz filtruje zanieczyszczone powietrze.
3. Zastosowanie roślinności ekstensywnej jest mniej kosztowne w stosunku do roślinności intensywnej. Natomiast dach zielony typu intensywnego może pełnić funkcję użytkową oraz rekreacyjną.
4. Analiza porównawcza wyników wartości momentów i sił wewnętrznych w płycie stropowej metodą współczynnikową (analityczną) i Metodą Elementów Skończonych (numeryczną), wykazała nieznaczną różnicę wynoszącą ok. 11%.

Literatura:

1. Kobiak J., Stachurski W.: *Konstrukcje żelbetowe*, tom II, Arkady, Warszawa 1987, str. 6-12.
2. Szajda-Birnfeld E., Pływaczyk A., Skarżyński D.: *Zielone Dachy. Zrównoważona gospodarka wodna na terenach zurbanizowanych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław 2012, str. 11-57.
3. Burszta-Adamiak E.: *Zielone dachy jako element zrównoważonych systemów odwadniających na terenach zurbanizowanych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław 2014, str. 7-16.
4. <http://www.optigruen.pl/News/Podstawy.htm> [dostęp: 27.02.2016r.].
5. http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materialy_i_technologie,artykul,zielony_dach_odwrocony,5621 [dostęp: 27.02.2016r.].
6. http://riad.pk.edu.pl/~kbanas/wprowadzenie_do_MES.pdf [dostęp: 06.01.2015 r.]
7. <http://www.budujemydom.pl/dachy-i-rynny/16844-dach-zielony-konstrukcja-zakladanie> [dostęp: 27.02.2016r.] [dostęp: 26.02.2016r.].
8. <http://inhabitat.com/amazing-green-roof-art-school-in-singapore/> [dostęp: 26.02.2016r.].
9. <http://e-zielonydach.pl/pl/content/22-dach-ekstensywny-tarasy-zielone> [dostęp: 26.02.2016r.].
10. <http://www.dachyzielone.pl/rolinno-ekstensywna.html> [dostęp: 26.02.2016r.].
11. http://archiwumallegro.com.pl/geogreen+20+folia+mata+zielony+dach+zielone+dachy-7_4798242967.html [dostęp: 26.02.2016r.].

12. <http://e-zielonydach.pl/pl/content/23-dach-intensywny>[dostęp: 26.02.2016r.].
13. <http://www.dachyplaskie.info.pl/realizacje/systemy-dachow-zielonych-izolacja-w-zgodzie-z-natura/> [dostęp: 26.02.2016r.].
14. <http://gcl.com.pl/substraty-do-zielonych-dachow/substraty-do-zielonych-dachow/> [dostęp: 26.02.2016r.].
15. <http://www.dachyzielone.pl/drenae-spg/maty-drenaowe.html> [dostęp: 26.02.2016r.].
16. Starosolski W.: *Komputerowe modelowanie betonowych ustrojów inżynierskich*. Wybrane zagadnienia - Tom I. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.
17. Zeszyty edukacyjne Buildera: Zeszyt 2. Projektowanie konstrukcji żelbetowych.
18. PN-EN 1991-1-1:2004: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1 Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
19. PN-EN 1991-1-3:2005: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3 Oddziaływania na konstrukcje. Obciążenie śniegiem.
20. PN-EN 1991-1-4:2008: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4 Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru.
21. Neufert, E.: *Podręcznik projektowania architektoniczno-budowlanego*, Arkady, Warszawa 2007.
22. Sokołowska, B., Krajczyński, M.: *Stropodachy projektowanie i wykonawstwo*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2004.

23. Ślusarek, J.: *Rozwiązanie strukturalno-materiałowe balkonów, tarasów, dachów zielonych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
24. Kowalczyk A.: *Zielone dachy szansą na zrównoważony rozwój terenów zurbanizowanych* Zrównoważony Rozwój - Zastosowania, nr 2, 2011, str. 66-81.
25. Rokiej M.: *Dachy zielone*, Buduj z Głową. Kwartalnik Kosztorysanta, nr 1, 2007.
26. Pallado J.: *Zabudowa wielorodzinna podstawy projektowania*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2014.

mgr Agnieszka Serafin¹⁾, mgr Katarzyna Janicka, dr hab. Aneta D. Petelska
Zakład Elektrochemii, Instytut Chemii, Uniwersytet w Białymstoku
ul. Ciołkowskiego 1K, 15-245 Białystok
¹⁾agaw.90@o2.pl

Charakterystyka ilościowa odpadów komunalnych wytwarzanych w Polsce oraz wybranych krajach świata

*Quantitative Characterization of comunal westes generated
in Poland and selected countries in the world*

Słowa kluczowe: odpady komunalne, podział odpadów, gospodarka odpadami

Keywords: comunal weste, division of weste, weste management

Streszczenie: Odpowiednie normy i ustawy nałożone na kraje członkowskie Unii Europejskiej sprawiły, iż gospodarka odpadami nie ogranicza się już tylko do składowania odpadów. Z biegiem lat zaczęto poddawać odpady recyklingowi i przetwarzać je tak, aby nadawały się do ponownego użytku. Procedury te regulują normy związane z segregacją, wywozem oraz przetwarzaniem wyprodukowanych odpadów. Głównym celem unijnej polityki w sprawie gospodarki odpadami jest przede wszystkim zniwelowanie negatywnego oddziaływania odpadów na środowisko poprzez redukcję wytwarzanych odpadów, coraz wyższy poziom recyklingu oraz bezpieczne unieszkodliwianie odpadów. Przetwarzanie odpadów służy, bowiem zarówno porządkowaniu Ziemi, jak również daje zysk ekonomiczny [1]. Jedno z głównych założeń polityki UE mówi m.in. o dążeniu do ciągłego ograniczania ilości produkowanych odpadów przy stałym wzroście gospodarczym poprzez inicjatywy zapobiegawcze powstawania odpadów, lepsze wykorzystywanie zasobów oraz zmiany wzorców produkcji spożycia na bardziej zrównoważone [2,3]. Pomimo ujednoliconego prawa we wszystkich krajach członkowskich Unii Europejskiej w każdym z nich przeważa inny rodzaj odpadów komunalnych. Jak również w inny sposób radzą sobie z niwelowaniem zagrożenia wynikającego z niewłaściwego unieszkodliwiania odpadów. Powyższe aspekty zależą od tego w jaki sposób prosperuje gospodarka poszczególnego kraju [4].

1. Wstęp

Od zarania dziejów składowanie i utylizacja odpadów komunalnych stanowi poważny problem. Mogłoby się wydawać, że w dobie coraz większego postępu technologicznego nie powinno stanowić to aż tak wielkiego problemu. Nie mniej liczba produkowanych odpadów z roku na rok wzrasta, co potęguje wspomniany problem. Składowanie jest najczęściej wykorzystywaną metodą zagospodarowania odpadów komunalnych, nawet w tak dobrze rozwiniętych krajach jak Stany Zjednoczone, Finlandia, Austria czy Wielka Brytania. Metoda składowania jest bardzo często stosowana, ponieważ stanowi najbardziej konkurencyjną pod względem ekonomicznym metodę gospodarowania odpadami, w porównaniu do innych. Pomimo tego, że składowiska są ciągle wykorzystywane, to istnieją tysiące już нефunkcjonujących składowisk oraz tych, które na przestrzeni 30 lat zostaną zamknięte [1].

Polityka Unii Europejskiej do gospodarowania odpadami oparta jest na trzech podstawowych zasadach, do których zalicza się:

- zapobieganie powstawaniu odpadów;
- recykling i ponowne wykorzystanie;
- usprawnione trwałe składowanie i monitorowanie.

Istnieje wiele sposobów zapobiegania wytwarzania odpadów takich jak: stosowanie bardziej ekologicznych technologii, ekoprojektów, bądź wydajniejszych ekologicznie systemów produkcji i konsumpcji. Zapobieganie powstawaniu odpadów oraz recykling, skupiające się na technologii materiałowej, także ograniczają oddziaływanie wykorzystywanych zasobów na środowisko poprzez ograniczenie wydobycia surowców i ich przetwarzania podczas procesów produkcyjnych. Odpady, których nie można poddać recyklingowi,

ani ponownemu użyciu powinny być w miarę możliwości poddawane bezpiecznemu spalaniu, a na składowiska powinny trafiać tylko w ostateczności. Powyższe metody wymagają jednak ścisłego monitorowania, ponieważ potencjalnie stanowią zagrożenie dla środowiska [4].

2. Aspekty prawne

Zgodnie z ustawą z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, „odpadem nazywamy każdą substancję lub przedmiot, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do których pozbycia się jest obowiązany”. Odpadami komunalnymi nazywamy „odpady, powstające w gospodarstwach domowych, z wyłączeniem pojazdów wycofanych z eksploatacji, a także odpady niezawierające odpadów niebezpiecznych pochodzących od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych”, natomiast odpady przemysłowe - jak sama nazwa mówi - powstają przy udziale przemysłu [5]. Gospodarka odpadami musi odbywać się zgodnie z ustalonymi dyrektywami krajowymi oraz zasadami Unii Europejskiej. Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej 2002/1600/WE z dnia 22 lipca 2002 r. ustanowiła szósty wspólnotowy program działań w zakresie środowiska naturalnego (Dz. Urz. WE L 242 z 10.09.2002, str. 1), a jedno z jej głównych założeń mówi m.in. o dążeniu do ciągłego ograniczania ilości produkowanych odpadów przy stałym wzroście gospodarczym poprzez inicjatywy zapobiegawcze powstawania odpadów, lepsze wykorzystywanie zasobów oraz zmiany wzorców produkcji i spożycia na bardziej zrównoważone [6]. Ciągły postęp technologiczny oraz zwiększający się standard życia

ludzkiego prowadzi do coraz większej liczby wytwarzanych odpadów, zwłaszcza opakowań jednorazowego użytku. Do niedawna gospodarka odpadami w Polsce ograniczała się tylko i wyłącznie do wywozu odpadów poza tereny zamieszkania na wysypiska. Dopiero członkostwo Polski w Unii Europejskiej wymusiło wprowadzenie zmian dotyczących składowania i utylizacji odpadów. Obecnie najważniejszym celem polityki państwa w zakresie gospodarowania odpadami jest zapobieganie wytwarzaniu odpadów, co ma wpłynąć na ochronę wód, gleb i powietrza.

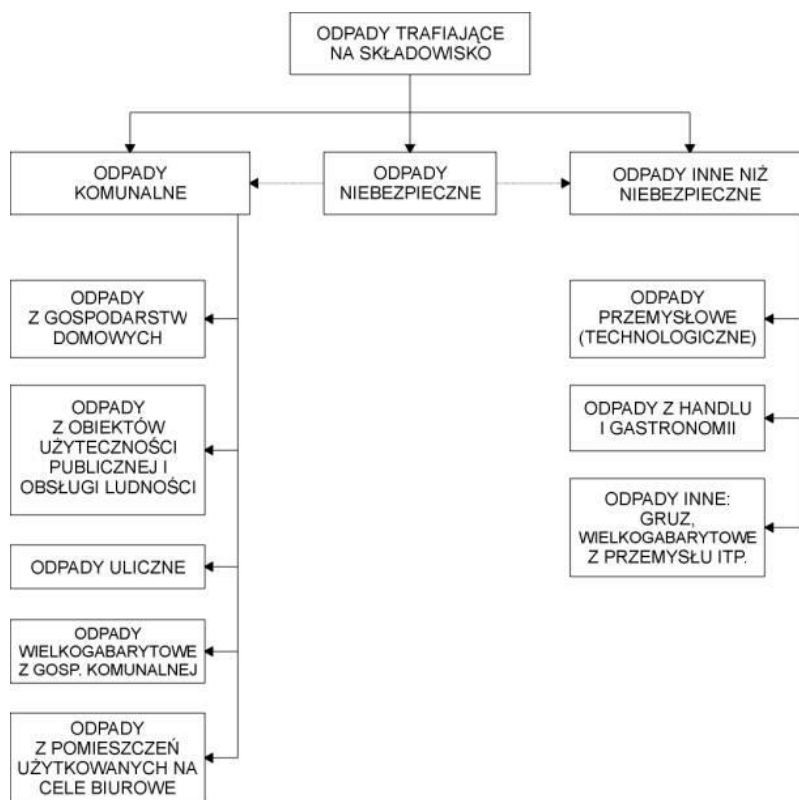
W dyrektywach Unii Europejskiej i Ustawie o odpadach z dnia 12 października 2015 roku została przedstawiona odpowiednia hierarchizacja w postępowaniu z odpadami, która przedstawia się następująco:

- przeciwdziałanie powstawaniu odpadów oraz ich redukcja;
- dążenie do odzysku odpadów, głównie recyklingu, których powstanie jest nieuniknione;
- unieszkodliwianie odpadów, inne od składowania;
- bezpieczne dla zdrowia i życia ludzkiego składowanie odpadów w przypadku, kiedy nie jest możliwe poddanie ich odzyskowi lub unieszkodliwieniu w danych warunkach ekonomiczno-technologicznych.

Oprócz aktów prawnych obowiązujących w krajach członkowskich Unii Europejskiej, Polska uchwaliła również inne dokumenty prawne regulujące przepisy dotyczące gospodarki odpadami m.in. ustawę o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej, ustawę o opakowaniach i odpadach opakowaniowych czy ustawę o utrzymaniu czystości i porządku w gminach [7].

3. Podział odpadów

Istnieje wiele kryteriów podziału odpadów np. ze względu na obszar powstawania, źródło pochodzenia odpadów, stan skupienia odpadu, jego skład chemiczny, rodzaj surowca z jakiego powstał odpad, toksyczność dla środowiska czy jego zdolność do ponownego użycia. Odpady można podzielić na kilka podstawowych grup, co przedstawia Rysunek 1, jednak w Polsce odpady klasyfikowane są zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 w zależności od źródła ich powstania, na 20 podstawowych grup, gdzie grupę 20-stą stanowią odpady komunalne zmieszane łącznie z frakcjami gromadzonymi selektywnie [8].



Rysunek 1. Podział odpadów

Źródło: http://www.legionowo.pl/miasto/pliki/srodowisko/plan_gospodarki_odpadami.html

4. Odpady wytwarzane w Unii Europejskiej

W ramach rozporządzenia nr 2150/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej w sprawie statystyk odpadów wszystkie pozostałości potencjalnie oznaczają olbrzymie straty zasobów w postaci materiałów i energii. Gospodarowanie odpadami i ich niwelowanie mogą mieć poważne skutki dla środowiska. Składowiska odpadów zajmują duże arealy i mogą powodować zanieczyszczenie powietrza, wody oraz gleby. Natomiast spalanie odpadów bez odpowiednich uregulowań może skutkować emisją niebezpiecznych zanieczyszczeń do powietrza. Zatem polityka Unii Europejskiej w zakresie gospodarowania odpadami dąży do ograniczenia wpływu odpadów na środowisko i zdrowie oraz poprawy efektywnego użytkowania zasobów na jej terenie. Długoterminowy cel tej polityki stanowi zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów, a jeśli ich wytwarzanie jest konieczne, promowanie ich wykorzystania jako zasobów, szersze upowszechnienie recyklingu i zapewnienie bezpiecznego unieszkodliwiania odpadów [4].

Zgodnie ze statystykami Głównego Urzędu statystycznego w roku 2012 łącznie wytworzono w Unii Europejskiej 2 515 mln ton odpadów pochodzących ze wszystkich działalności gospodarczych i gospodarstw domowych. Wartość ta była nieco większa niż w latach 2008 i 2010, w których wyprodukowano odpowiednio 2 460 mln ton i 2 427 mln ton, natomiast zmalała w stosunku do roku 2004 r. Spadek masy wywarzanych odpadów w latach 2008 i 2010 może być wynikiem osłabienia działalności gospodarczej wywołanej kryzysem finansowym i gospodarczym. W tabeli 1 zamieszczono informacje z 2012 r. W obrębie państw członkowskich Unii Europejskiej widoczne są znaczące różnice dotyczące ilości

wytworzonych odpadów, jak również rodzajów działalności gospodarczej, które najbardziej przyczyniły się do wytwarzania zanieczyszczeń [4,9].

W roku 2012 z budownictwa i rozbiórki pochodziło 33 % łącznej ilości wytwarzanych odpadów (821 mln ton), natomiast dalszej w klasyfikacji plasują się następujące sektory: górnictwo i wydobywanie (29% - 734 mln ton), przetwórstwo (11% - 270 mln ton), gospodarstwa domowe (8 %-213 mln ton) i energia (4% - 96 mln ton). Pozostałe 15% stanowiły odpady wytwarzane przez inne rodzaje działalności gospodarczej [4].

Łączną ilość odpadów wytworzonych w 2012 r. przez sektory działalności gospodarczej oraz gospodarstwa domowe można również wyrazić w stosunku do liczby ludności. Średnia ilość odpadów wytworzonych w Unii Europejskiej w 2012 r. odpowiadała blisko pięciu tonom - 4 984 kg na mieszkańca. Średnia nie odzwierciedla jednak znaczących dysproporcji między państwami członkowskimi UE. Widoczne jest to na przykładzie najwyższych i najniższych średnich wartości ilości wytwarzanych odpadów według działalności gospodarczej oraz gospodarstw domowych w 2012 roku [4,10].

Najwięcej odpadów wytworzono w Bułgarii 22,1 tony odpadów na jednego mieszkańca, zaś najmniej w Chorwacji tylko 791 kilogramów/mieszkańca [4].

Tabela 1. Wytwarzanie odpadów według działalności gospodarczej i gospodarstw domowych, 2012 r.

	Górnictwo i kopalnictwo	Energia	Budownictwo i rozbiórki	Inne rodzaje działalności gospodarczej	Gospodarstwa domowe
UE	733 980	95 480	821 160	380 390	213 410
Belgia	115	1 314	24 570	18 891	5 004
Bulgaria	141 083	9 533	1 033	3 841	2 755
Czechy	167	1 063	8 593	5 739	3 233
Dania	18	893	3 867	6 216	3 727
Niemcy	8 625	8 050	197 528	60 752	36 472
Estonia	9 355	6 258	657	1 165	436
Irlandia	2 025	396	366	4 379	1 657
Grecja	47 832	12 259	813	2 383	4 859
Hiszpania	22 509	5 772	26 129	28 333	21 224
Francja	2 477	2 100	246 702	42 024	29 996
Chorwacja	5	108	682	968	1191
Włochy	720	3616	52966	41708	29613
Cypr	218	2	965	353	451
Łotwa	2	133	8	558	1213

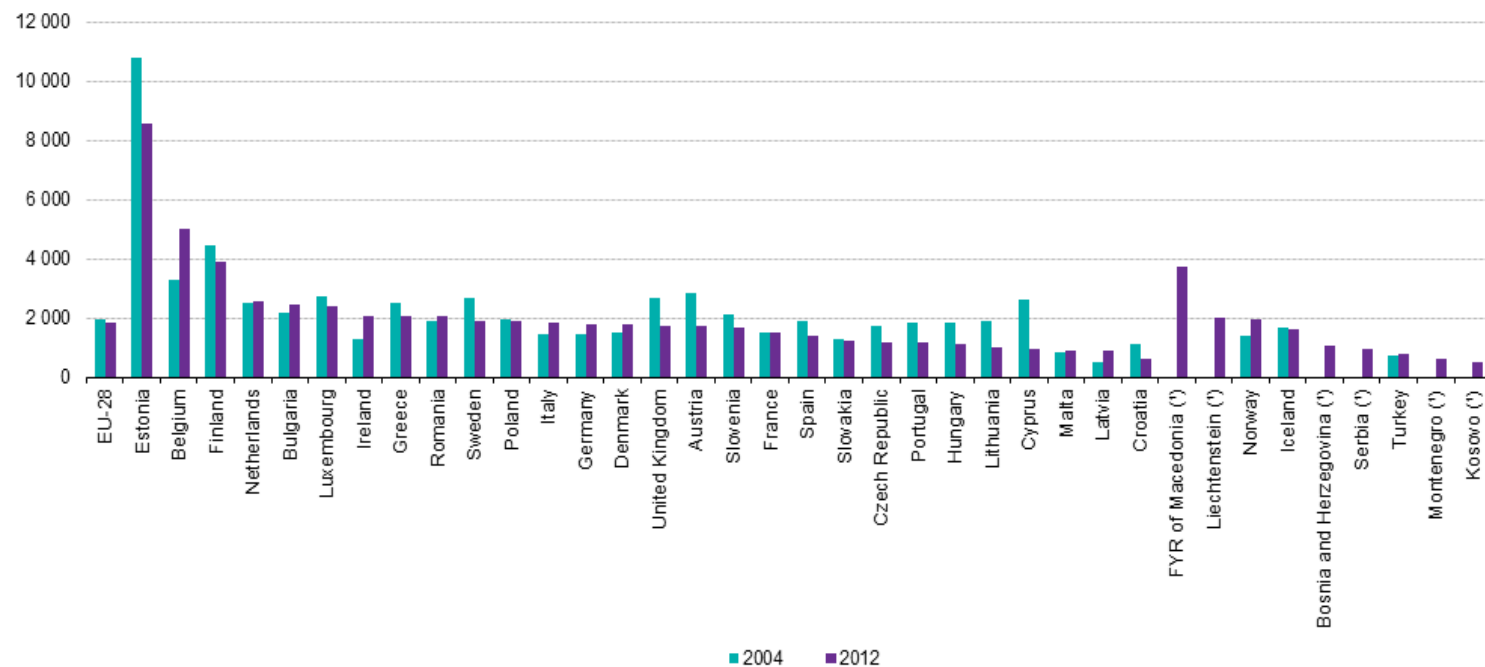
	Górnictwo i kopalnictwo	Energia	Budownictwo i rozbiórki	Inne rodzaje działalności gospodarczej	Gospodarstwa domowe
Litwa	26	29	419	1477	1177
Luksemburg	131	2	7079	426	249
Węgry	91	2872	4038	3638	2681
Malta	45	2	1041	201	155
Holandia	179	1342	81354	17758	8864
Austria	51	622	19471	6247	4020
Polska	68035	20706	15368	18809	9324
Portugalia	243	422	928	4672	4731
Rumunia	233293	9043	1325	22638	4647
Słowenia	14	1069	535	941	641
Słowacja	311	1046	806	2090	1657
Finlandia	52880	1011	16034	5635	1734
Szwecja	129481	1852	7656	6967	4193
Wielka Brytania	24044	4965	100230	71580	27506
Islandia	0	2	11	191	233
Liechtenstein	29	0	107	2	316

	Górnictwo i kopalnictwo	Energia	Budownictwo i rozbiórki	Inne rodzaje działalności gospodarczej	Gospodarstwa domowe
Norwegia	470	89	1881	3205	2438
Serbia	802	6	0	6360	0
Turcja	950587	18424	0	289	30785
Bośnia i Hercegowina	72	3171	0	0	0
Kosowo	177	151	0	268	490

Źródło: [http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households,_2012_\(thousand_tonnes\)_YB15.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households,_2012_(thousand_tonnes)_YB15.png)

Odpady mineralne stanowiły większość odpadów wytwarzanych w Unii Europejskiej (63 %). Ich udział w łącznej ilości wytworzonych odpadów był zróżnicowany w poszczególnych państwach członkowskich, co może wynikać z różnych struktur gospodarczych. Większy udział odpadów mineralnych odnotowywano w państwach członkowskich, które charakteryzują się znaczną skalą działalności górniczej i wydobywczej (Bułgaria, Finlandia, Estonia, Szwecja i Rumunia), bądź budowniczej i rozbiórkowej (Luksemburg). Te dwa rodzaje działalności to trzy tony z łącznych 3,2 ton odpadów mineralnych przypadających na mieszkańca, co stanowi około 93,5 % łącznej ilości odpadów mineralnych wytworzonych w Unii Europejskiej w 2012 r. [4].

W 2012 r. biorąc pod uwagę obszar Unii Europejskiej wytworzono 922 mln ton odpadów, z wyłączeniem głównych odpadów mineralnych, czyli 37 % łącznej ilości wytworzonych odpadów. Z przeliczenia tych wartości na liczbę ludności wynika, że w 2012 r. mieszkańcy Wspólnoty Europejskiej wytworzyli średnio po 1,8 ton odpadów (po wyłączeniu głównych odpadów mineralnych) na osobę, co ilustruje rysunek 2, podczas gdy łączna ilość odpadów, z wyłączeniem głównych odpadów mineralnych, zmniejszyła się o 3,7 % w latach 2004–2012, a ilość przypadająca na mieszkańca zmniejszyła się o 5,8 % (ponieważ w tym okresie zwiększyła się liczba ludności UE) [4].



Rysunek 2. Wytwarzanie odpadów, z wyłączeniem głównych odpadów mineralnych, lata 2004 i 2012

Źródło: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/pl

W 2012 r. w państwach członkowskich UE ilość wytworzonych odpadów (wyłączając główne odpady mineralne) nie była jednakowa, np. w Chorwacji - 620 kg, natomiast w Estonii 8,6 ton na mieszkańca (większość odpadów stanowiły niebezpieczne odpady z procesów spalania oraz niebezpieczne osady i pozostałości chemiczne z rafinacji i spalania łupków bitumicznych) [4].

W przypadku nieodpowiedzialnego gospodarowania i nie unieszkodliwiania odpadów, stanowią one zagrożenie dla zdrowia ludzkiego oraz środowiska. Z odpadów wytworzonych we Wspólnocie Europejskiej w 2012 roku około 100,7 mln ton (4,0 % łącznej ilości) zaklasyfikowano jako odpady niebezpieczne. Ilość ta odpowiadała średnio 200 kg niebezpiecznych odpadów na mieszkańca (średnio 5,0 ton wszystkich odpadów na mieszkańca) [4, 9].

W porównaniu z rokiem 2010, w roku 2012 w Unii Europejskiej wytworzono o 2,2 % więcej odpadów innych niż niebezpieczne oraz o 3,3% więcej odpadów niebezpiecznych. Ilość odpadów niebezpiecznych wzrosła o 3,2 mln ton. W 2012 r. udział odpadów niebezpiecznych w łącznej ilości wytworzonych odpadów nie przekraczał 10,0 % we wszystkich państwach członkowskich z wyjątkiem Estonii (odpady niebezpieczne stanowiły 41,6% wszystkich odpadów) oraz Irlandii, gdzie udział ten wyniósł 10,3%. Wysoki odsetek odpadów niebezpiecznych w Estonii związany był głównie z produkcją energii z łupków bitumicznych. Z państw spoza UE Serbia odnotowała najwyższy udział odpadów niebezpiecznych w łącznej ilości wytworzonych odpadów (26,3%), ponieważ charakteryzuje się intensywną działalnością w sektorze górnictwa i wydobywania. Tuż za nią uplasowały się Bośnia i Hercegowina (21,2%) oraz Norwegia (12,7%) [4].

Między 2004 a 2012 rokiem w Unii Europejskiej zanotowany został wzrost o 11,1% pod względem ilości odpadów niebezpiecznych

wytworzonych w przeliczeniu na jednego mieszkańca. Duży przyrost w niektórych państwach członkowskich (np. na Łotwie i w Danii) został do pewnego stopnia zrównoważony przez spadek w innych państwach członkowskich (np. na Cyprze, w Portugalii i Rumunii) [4, 9].

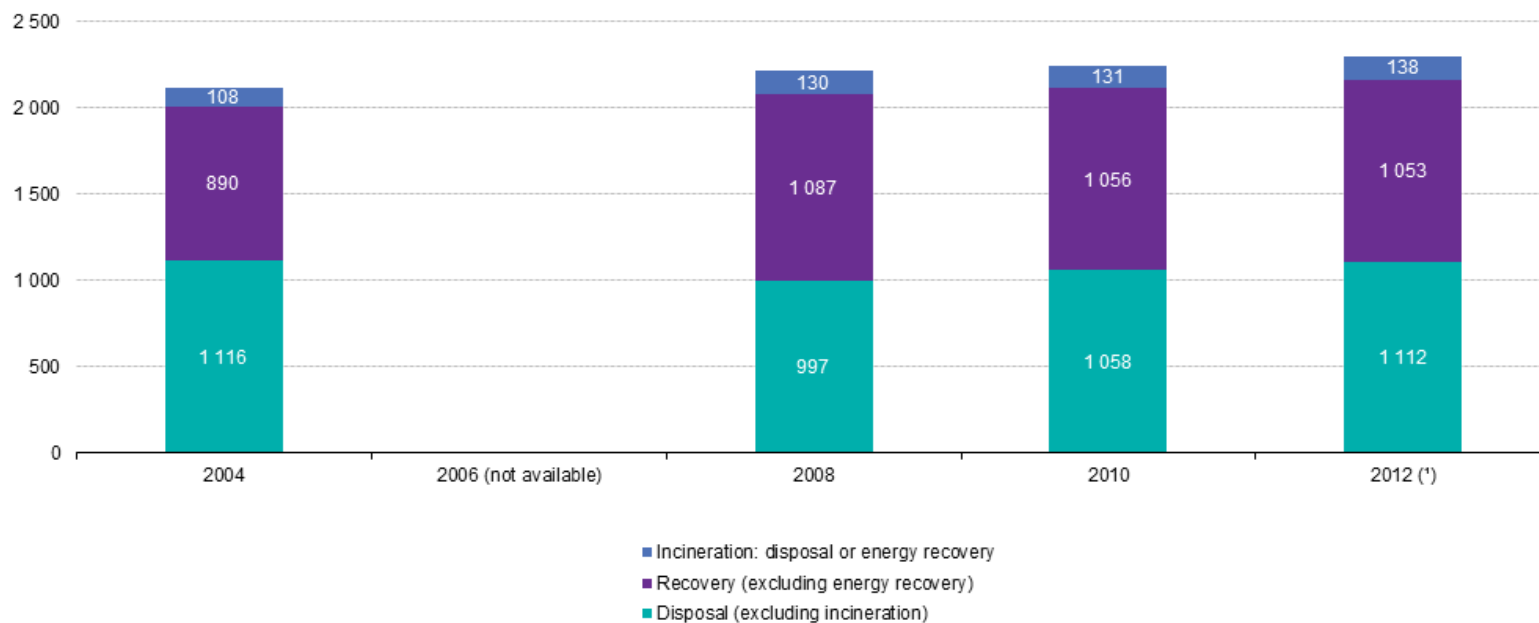
4.1. Przetwarzanie odpadów

W 2012 roku w obszarze Unii Europejskiej przetworzono 2 303 mln ton odpadów w tym odpadów importowanych do UE. Blisko połowę (48,3 %) odpadów przetworzonych w 2012 roku poddano procesom ich unieszkodliwiania innym niżeli spalanie. Dominowało składowanie odpadów w ziemi, bądź na jej powierzchni (np. składowiska odpadów), jak również przetwarzanie w glebie i ziemi oraz zrzuty odpadów do zbiorników wodnych. Odzyskowi poddano 45,7% odpadów przetworzonych w Unii Europejskiej w 2012 roku, w tym recykling stanowił 36,4%, a wypełnianie wykopów 9,3%. Wypełnianie wykopów to sposób wykorzystania odpadów na obszarach, gdzie prowadzono roboty ziemne, by zrehabilitować zbocza, ze względów bezpieczeństwa bądź na potrzeby architektury krajobrazu. Pozostałe 6,0% odpadów przetworzonych w Unii Europejskiej poddano spalaniu: w tym 4,4% z odzyskiem energii, a 1,6% bez. W poszczególnych państwach członkowskich wykorzystuje się różne metody przetwarzania odpadów. Niektóre państwa członkowskie takie jak Słowenia, Włochy, Belgia, Polska i Niemcy stosują głównie odzysk odpadów inny niż odzysk energii. Natomiast inne kraje jak Bułgaria, Rumunia, Grecja i Malta preferowały unieszkodliwianie odpadów [4, 11].

Unieszkodliwianiu odpadów poddano prawie połowę (47,8%) odpadów niebezpiecznych, które zostały przetworzone we Wspólnocie w 2012 r. Około 10,5 mln ton (czyli 13,9%) wszystkich odpadów niebezpiecznych

poddano spalaniu, bądź wykorzystano do odzysku energii, zaś 28,8 mln ton (38,3%) odzyskano [9].

Na rysunku 3 przedstawiono zmiany w dziedzinie przetwarzania odpadów według głównych kategorii przetwarzania w okresie między 2004 i 2012 r. w UE. Ilość odpadów poddanych unieszkodliwianiu w 2012 r. była niższa o 0,4% niż w 2004 r., natomiast ilość odpadów poddanych odzyskowi (nie licząc odzysku energii) wzrosła z 890 mln ton w 2004 r. do 1 053 mln ton w 2012 r., a więc o 18,3 %. W rezultacie udział odzysku odpadów w przetwarzaniu odpadów ogółem zwiększył się z 42,1% w 2004 r. do 45,7% w 2012 r. W przypadku spalania odpadów (włączając odzysk energii) między 2004 a 2012 r. odnotowano wzrost o 27,4% [4,11].

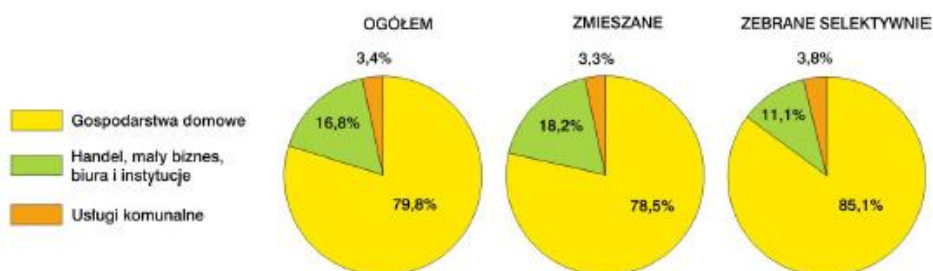


Rysunek 3. Zmiany w dziedzinie przetwarzania odpadów w UE-28, lata 2004–2012

Źródło: http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/images/e/e4/Development_of_waste_treatment_in_the_EU-28%2C_2004–12_%28million_tonnes%29_YB15.png

4.2. Gospodarka odpadami komunalnymi w Polsce

Zgodnie z raportem Głównego Urzędu Statystycznego w 2014 roku na terenie Polski zebrano 10 330,4 tys. ton odpadów komunalnych, co stanowiło wzrost o 8,3% w porównaniu do roku 2013. Na jednego Polaka przypadało średnio 268 kg zebranych odpadów komunalnych, największe ilości w województwach: śląskim (338 kg), dolnośląskim (324 kg), lubuskim (321 kg) i zachodniopomorskim (320 kg), najmniejsze natomiast w województwach: świętokrzyskim (157 kg), lubelskim (177 kg) i podkarpackim (179 kg). W 2014 r. 8 239,8 tys. ton – wzrost o 13,4% w porównaniu z rokiem poprzednim (79,8%) odpadów komunalnych zebrano z gospodarstw domowych. Drugim znaczącym źródłem był handel, mały biznes, biura i instytucje (16,8% - 1 738,2 tys. ton, spadek o 12,3%). Odpady z usług komunalnych, takich jak czyszczenie ulic, bądź utrzymanie parków czy cmentarzy, stanowiły 3,4% ogólnej masy zebranych odpadów komunalnych, czyli 352,4 tys. ton (spadek o 8,7% w stosunku do 2013 r.) [10,12].

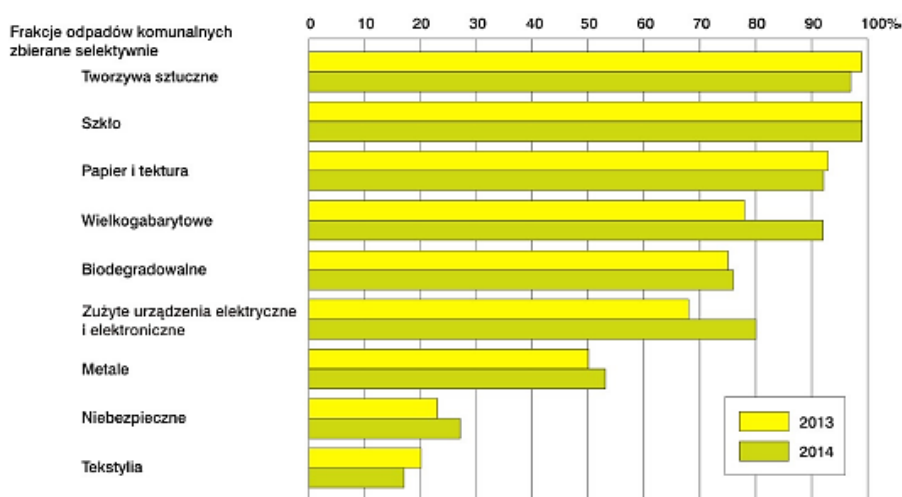


Rysunek 4. Źródła pochodzenia odpadów komunalnych zebranych w 2014 roku

Selektywna zbiórka odpadów komunalnych, podobnie jak w roku poprzednim, prowadzona była w 2 478 gminach. W roku 2014 wzrosła ilość gmin, w których odbierano takie odpady komunalne, jak odpady

wielkogabarytowe, zużyte urządzenia elektryczne i elektroniczne. Procent gmin, w których zbierane były pozostałe frakcje odpadów pozostał na prawie niezmiennym poziomie. W 2014 r. odnotowano wzrost udziału odpadów pochodzących z selektywnej zbiórki w stosunku do roku poprzedniego w ogólnej ilości zebranych odpadów komunalnych z 13,5% do 19,8%. Całkowita waga zebranych selektywnie odpadów wzrosła z ok. 1 275 tys. ton do ok. 2 049 tys. ton w 2014 r. Zgodnie z powyższym raportem na jednego mieszkańca Polski przypadało około 53 kg zebranych selektywnie odpadów komunalnych (2013 – 33 kg) [12].

W 2014 r. ilość zebranych selektywnie odpadów szklanych wyniosła 10,7 kg na jednego mieszkańca (wzrost o 30,5% w porównaniu z rokiem poprzednim). Na jednego mieszkańca Polski w 2014r. przypadało około 8,2 kg tworzyw sztucznych (43,9% więcej niż w 2013 r.) i około 6,2 kg odpadów papieru i kartonu (21,6% więcej). Znacznie wzrosła ilość odpadów biodegradowalnych – z 8,1 kg w 2013 r. do 15,2 kg w 2014 r. (o 87,7%) oraz odpadów wielkogabarytowych – z 3,5 kg do 5,5 kg (o 57,1%). Powyższe dane zostały zilustrowane na rysunku 5 [12].



Rysunek 5. Stan selektywnej zbiórki odpadów komunalnych w gminach w latach 2013- 2014

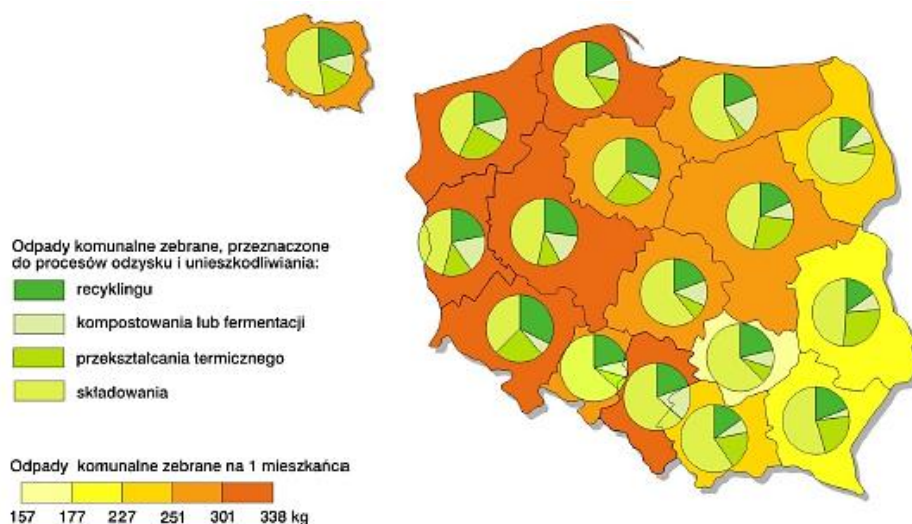
W 2014 roku największa ilość, bo 85,1% zebranych selektywnie odpadów komunalnych pochodziła z gospodarstw domowych. Głównie były to odpady biodegradowalne oraz szklane. Z jednostek handlu, małego biznesu, biur i instytucji (głównie papier i tektura) zebrano w sposób selektywny 11,1% odpadów. Natomiast sektor usług komunalnych (głównie odpady biodegradowalne) wytworzył 3,8% całości zanieczyszczeń komunalnych zebranych w sposób selektywny. W roku 2013 dane te kształtowały się odpowiednio na poziomie 80,7%, 13,4% oraz 5,9% [12].

4. Recykling odpadów komunalnych i przemysłowych

Zgodnie z danymi przedstawionymi w raporcie GUS z roku 2015 w 2014 r. zebrano 10 330,4 tys. ton odpadów komunalnych, z których tylko 4 495,6 tys. ton przeznaczono do odzysku (ok 44% ilości zebranych odpadów komunalnych). 21,1% odpadów komunalnych przeznaczono do recyklingu. Były to zarówno odpady komunalne zebrane selektywnie, jak i odpady surowcowe wysortowane ze zmieszanych odpadów komunalnych. W 2013 roku wielkości dotyczące recyklingu wyniosły 1 498,6 tys. ton (15,8%) [12].

Około 1 153,6 tys. ton odpadów komunalnych zostało skierowanych do biologicznych procesów przetwarzania (kompostowania, bądź fermentacji). Były to głównie odpady zielone z ogrodów, parków i cmentarzy, odpady z targowisk, biodegradowalne odpady kuchenne oraz odpady pochodzące z gastronomii. W porównaniu z rokiem poprzednim (2013) udział odpadów przeznaczonych do takiej obróbki w ogólnej ilości zebranych odpadów komunalnych zmniejszył się z 1,8% do poziomu 11,2%. Ok. 11,3% odpadów komunalnych przeznaczono do przekształcenia termicznego z odzyskiem energii. Do unieszkodliwienia skierowano łącznie 5 834,9 tys. ton, z czego 5 436,9 tys. ton (52,6% odpadów zebranych ogółem) przeznaczono do składowania, a 398,0 tys. ton (3,9% odpadów zebranych ogółem)

do unieszkodliwienia poprzez przekształcenie termiczne bez odzysku energii. W porównaniu z 2013 r. odnotowano spadek udziału odpadów komunalnych przeznaczonych do unieszkodliwiania składowanie. W 2013 r. odpady te stanowiły 63,1% całkowitej ilości zebranych odpadów komunalnych (5 978,7 tys. ton). Powyższe dane przedstawiono na rysunku 6, na którym zobrazowano sposoby gospodarowania odpadami w roku 2014 (uwzględniając podział polityczny Polski) [9,12].



Rysunek 6. Gospodarka zebranymi odpadami komunalnymi w 2014 roku

Z końcem 2014 roku funkcjonowały 394 składowiska przyjmujące odpady komunalne. Zajmowały one łączną powierzchnię 1 927 ha. Zamkniętych zostało 66 składowisk tego typu, o powierzchni prawie 158 ha.

Ze względu na konieczność dostosowania składowisk odpadów komunalnych do wymagań technicznych i organizacyjnych wynikających z przepisów prawa, ilość czynnych składowisk od kilkunastu lat systematycznie się zmniejsza. Odgazowywanie jest procesem wymagany przez prawo Unii Europejskiej. Biogaz powinien być ujmowany z każdego składowiska, na którym umieszczono odpady biodegradowalne, musi on być poddany obróbce i wykorzystaniu, a jeśli jego ilość jest zbyt mała dla

efektywnej produkcji energii, należy go unieszkodliwić, np. spalanie w palnikach bądź pochodniach. W 2014 r. Polska posiadała 342 składowiska wyposażone w instalacje przystosowane do odgazowywania i stanowiły one 86,8% ogółu czynnych składowisk, na których deponowane były odpady komunalne (w roku poprzednim 84,2%). Blisko połowę (ponad 42%) instalacji do odgazowywania stanowiły instalacje z gazem uchodzącym bezpośrednio do atmosfery, natomiast 4,2% takie, w których ujmowany gaz składowiskowy był unieszkodliwiany z odzyskiem energii cieplnej a 16,4% stanowiły takie, gdzie gaz składowiskowy został wykorzystany do produkcji energii elektrycznej. W 2014 r. w wyniku unieszkodliwienia poprzez spalanie ujętego wcześniej wspomnianego gazu odzyskano ok. 81 415 tys. MJ energii cieplnej jak również ok. 148 348 tys. kWh energii elektrycznej (9% mniej niż w 2013 r.) [12].

Blisko 92% powierzchni, na której składowane były odpady komunalne w Polsce w 2014 r., to powierzchnia czynnych legalnych składowisk odpadów. Pozostałą część stanowiła powierzchnia dzikich wysypisk, czyli miejsc nieprzeznaczonych do składowania odpadów komunalnych. Pod koniec 2014 r. w Polsce istniało 2 371 dzikich wysypisk, czyli o 15% mniej niż w roku poprzednim. Zlikwidowano 12 707 dzikich wysypisk, z czego 87% w miastach. W porównaniu z rokiem poprzednim ogólna liczba zlikwidowanych nielegalnych miejsc składowania odpadów komunalnych spadła o około 16,3% (w miastach był to spadek o 19,3%, natomiast na obszarach wiejskich wzrost o 10,3%). Podczas likwidacji dzikich wysypisk zebrano około 46,6 tys. ton odpadów komunalnych (mniej o 54,5% niż w 2013 r.), z czego 87,7% w miastach [12].

5.1. Postępowanie ze zgromadzonymi odpadami

Obecnie postępowanie ze zgromadzonymi odpadami prowadzone jest w odpowiedniej hierarchii. Aby odpad mógł być ponownie wykorzystany

należy poddać go specjalnej obróbce. Szczególnie ważną rolę odgrywa tu segregacja, dzięki której ponowne przetwórstwo surowców jest ułatwione. Najczęściej segregacja obejmuje 4 rodzaje odpadów nadających się do przetworzenia: papier, plastik, szkło i metal. Odpady umieszcza się w specjalnie oznakowanych pojemnikach i kontenerach o odpowiednich kolorach. Kontenery niebieskie przeznaczone są na makulaturę, pojemniki żółte na tworzywa sztuczne, aluminium zbierane jest do pojemników szarych, szkło bezbarwne umieszcza się w pojemnikach białych natomiast kolorowe w zielonych [13]. Według ustawy o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 roku, ogłoszonej 8 stycznia 2013, pojęcie recyklingu definiuje się następująco: *"[...] recykling - rozumie się przez to odzysk, w ramach, którego odpady są ponownie przetwarzane na produkty, materiały lub substancje wykorzystywane w pierwotnym celu lub innych celach; obejmuje to ponowne przetwarzanie materiału organicznego (recykling organiczny), ale nie obejmuje odzysku energii i ponownego przetwarzania na materiały, które mają być wykorzystane jako paliwa lub do celów wypełniania wyrobisk;[...]"* [14].

5.2. Etapy recyklingu

1. **Sortowanie** - czyli rozdział różnych rodzajów odpadów, najlepiej na etapie selektywnej zbiórki bezpośrednio przez producentów śmieci. Odpady selektywnie zbierane są mniej zanieczyszczone i bardziej przydatne do obróbki.
2. **Rozdrabnianie** - odpady gromadzone w specjalnych pojemnikach, które nie nadają się bezpośrednio do przetwórstwa. Rozdrabnianie tworzyw sztucznych odbywa się w młynach wyposażonych w noże tnące oraz sita separujące odpady o wymaganej wielkości.
3. **Mycie** - odpady szklane i z tworzyw sztucznych są często zanieczyszczone i wymagają mycia. W tym celu wykorzystuje się wanny myjące

zawierające detergenty, a następnie odpady poddaje się odwirowaniu i suszeniu.

4. **Wytłaczanie** - etap wytwarzania produktu końcowego, którym może być granulat lub wyrób finalny o formie użytkowej.

5.3. Metody recyklingu

Ze względu na rodzaj technologii istnieją trzy rodzaje recyklingu. Pierwszy to tzw. recykling materiałowy lub inaczej mechaniczny i jest to najpowszechniejsza forma recyklingu. Polega na ponownym przetwórstwie odpadów na kolejne przedmioty użytkowe. W tym typie recyklingu funkcjonuje tzw. system kaskadowy, polegający na tworzeniu nowych wyrobów o innym przeznaczeniu, a powstający produkt ma stawiane coraz to mniejsze wymagania w kolejnym etapie przetwórstwa. Ta metoda jest prosta technologicznie, lecz musi wykorzystywać wyłącznie tworzywa o identycznej strukturze chemicznej. Kolejną metodą recyklingu jest recykling surowcowy (chemiczny). Skupia się on na odzyskaniu surowców wykorzystanych do produkcji danej rzeczy. Surowce mogą być ponownie użyte do nowych, wysokiej klasy tworzyw. Zaletą tej metody jest to, iż przeróbka tworzyw jest możliwa bez ich segregacji, a odpady powstające podczas procesu technologicznego (lekkie i ciężkie frakcje petrochemiczne) mogą być domieszką paliw i smarów. Bardzo korzystnym rodzajem recyklingu jest recykling energetyczny (spalanie z odzyskiem energii), który polega na odzyskaniu energii, zużytej na wytworzenie produktów z wysypisk (także opakowań) [15].

6. Założenia gospodarki odpadami wynikające z prawa Polski i Unii Europejskiej

1. Deklaracja, iż wszystkie odpady będą przekształcone przed składowaniem;

2. Przygotowanie do ponownego wykorzystania i recyklingu materiałów odpadowych (papier, metal, plastik, i szkło z gospodarstw domowych) do minimum 50% wagowo do 2020 roku (Tabela 2);

Tabela 2. Poziomy recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami niektórych frakcji odpadów komunalnych

Poziomy recyklingu i przygotowania do ponownego użycia [%]					
	2012	2014	2016	2018	2020
papier, metal, tworzywo sztuczne, szkło	10	14	18	30	50
Poziom recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami [%]					
	2012	2014	2016	2018	2020
inne niż odpady niebezpieczne, budowlane i rozbiórkowe	30	38	42	50	70

Zródło: Opracowanie własne wg załącznika do rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 29 maja 2012 r. (poz. 645)

3. Przygotowanie do ponownego wykorzystania, recyklingu i innych sposobów odzyskiwania materiałów, w tym również wypełniania wyrobisk, odpadów budowlanych i rozbiórkowych do minimum 70% wagowo do roku 2020;
4. Zmniejszenie ilości składowanych odpadów biodegradowalnych do 35% w 2020 roku (Tabela 3) [12].

Tabela 3. Poziomy ograniczenia masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania w stosunku do masy tych odpadów wytworzonych w 1995 roku [%]

Poziomy redukcji składowania odpadów ulegających biodegradacji					
	2012	2014	2016	2018	2020
Redukcja składowania odpadów ulegających biodegradacji	70	50	45	40	35

Zródło: Opracowanie własne wg załącznika do rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 29 maja 2012 r. (poz. 645)

7. Podsumowanie

Wraz z rozwojem gospodarczym wzrasta również ilość produkowanych odpadów komunalnych. Raporty GUS donoszą, iż z każdym rokiem zwiększa się ilość odpadów komunalnych przypadających na jednego mieszkańca. Biorąc pod uwagę taką tendencję wprowadzono regulacje prawne dotyczące sposobów segregacji, składowania jak również unieszkodliwiania odpadów komunalnych. Z każdym rokiem wzrasta odsetek odpadów poddawanych recyklingowi, spalaniu odpadów z odzyskiem energii oraz kompostowaniu materiału biologicznego pochodzącego m.in. z ogrodów, cmentarzy bądź sprzątnięcia ulic.

Zarówno w Polsce jak i w krajach członkowskich Unii Europejskiej ilości produkowanych odpadów nie są jednakowe w każdym obszarze. Kraje lub województwa charakteryzujące się bardziej rozwiniętą gospodarką wytwarzają więcej odpadów, niż te które są słabiej rozwinięte gospodarczo. Nie mniej w każdym sektorze duży odsetek stanowią odpady z gospodarstw domowych. Zatem niezmiernie ważna jest edukacja społeczeństwa odnośnie zagrożeń związanych z niewłaściwym segregowaniem odpadów. Dzięki temu

możliwe będzie zwiększenie ilości odpadów poddawanych recyklingowi bez większego nakładu funduszy na ponowną segregację. Recykling odpadów komunalnych niesie pozytywne skutki społeczne, ekonomiczne i środowiskowe. W ciągu ostatnich kilku lat Unia Europejska dąży do zrównoważonego rozwoju w gospodarce odpadami, mającego na celu zmniejszenie wytwarzania odpadów oraz bezpieczne ich odzyskiwanie. Coraz bardziej rygorystyczne przepisy prawne mają na celu skłanianie do takiej gospodarki odpadami, aby nie zagrażała środowisku i życiu człowieka. Pogłębianie świadomości ekologicznej oraz rozwijanie nowoczesnych technologii wykorzystania odpadów komunalnych i przemysłowych pozwoli z pewnością poprawić stan środowiska.

Literatura:

1. Nowak M., Stelmach S., Landfilling as the most common method of waste management in European Union countries., *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 2014, vol. 16, is. 4, p. 23-32.
2. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, (Dz. U. 2013, poz. 21), Warszawa 8 stycznia 2013r.
3. Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady 2002/1600/WE z dnia 22 lipca 2002 r. *ustanawiająca szósty wspólnotowy program działań w zakresie środowiska naturalnego*.
4. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/pl [dostęp: 12.02.2016]
5. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, (Dz. U. 2013, poz. 21), Warszawa 8 stycznia 2013r.
6. Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady 2002/1600/WE z dnia 22 lipca 2002 r. *ustanawiająca szósty wspólnotowy program działań w zakresie środowiska naturalnego*.

7. Toruński J., Zarządzanie gospodarką odpadami komunalnymi w Polsce, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego, Siedlce 2010.
8. Ustawa z dnia 9 grudnia 2014r. o odpadach, (Dz. U. z 2014 r., poz. 1923).
9. GUS, Ochrona środowiska environment 2015, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa 2015
10. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Raport o stanie środowiska w Polsce 2008, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2010
11. The European Environment, State and Outlook 2010, assesment of global megatrends, Luxemburg 2011
12. GUS 2015, Infrastruktura komunalna, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa
13. <http://www.ekologia.pl/wiedza/zanieczyszczenia/recykling-odzysk-surowcow-wtornych,11033,5.html> [dostęp: 01.02.2016]
14. M. Kubik, Rynek zagospodarowania odpadów komunalnych w Polsce, Warszawa 2013
15. Fronczyk J., Gospodarka odpadami., 2013, http://w3k1.cem.sggw.pl/wpcontent/uploads/GO_Wykład-1.pdf

mgr inż. Magdalena Joka¹⁾, Rafał Żyłowski, Robert Pietryńczak
Karol Sobolewski, Milena Dołżyńska
Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Zakład Inżynierii Rolno-Spożywczej i Leśnej
ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok
¹⁾m.joka@pb.edu.pl

Biopaliwa ciekłe i możliwości ich zastosowania w rolnictwie

Liquid biofuels and their possible use in agriculture

Słowa klucze: *biopaliwa, biodiesel, bioetanol, rolnictwo*

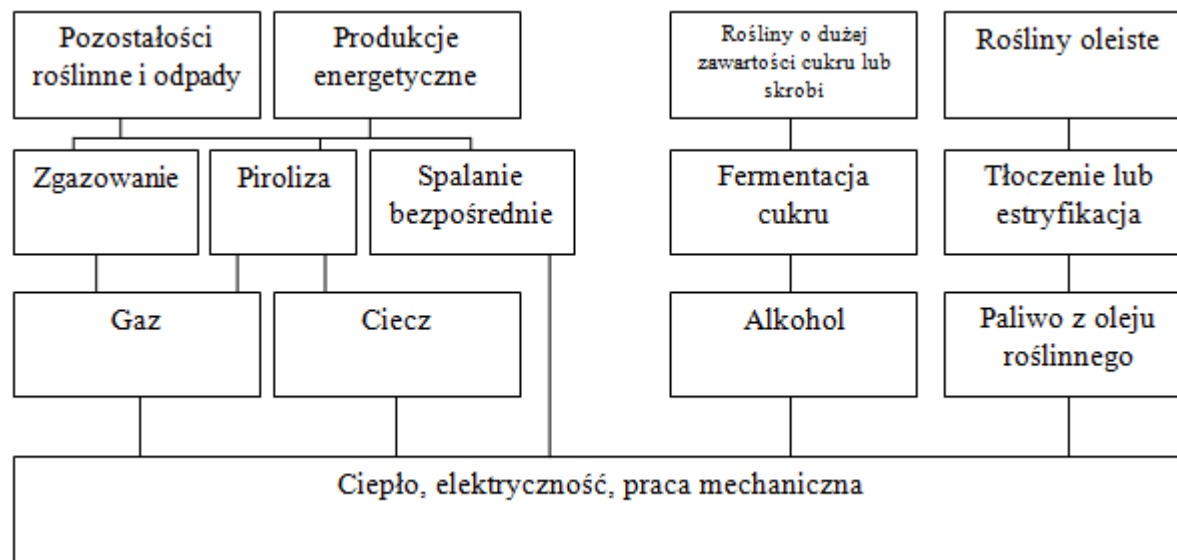
Keywords: *biofuels, biodiesel, bioethanol, agriculture*

Streszczenie: Ciągłe dążenie do maksymalizacji wykorzystania odpadów istotnie wpływa na rozwój technologii paliw odnawialnych (biopaliw) tzw. drugiej generacji, wytwarzanych z materiałów pochodzenia drzewnego, słomy i innych odpadów pochodzenia rolniczego. Takie wykorzystanie biomasy odpadowej korzystnie wpływa nie tylko na ekonomię procesów produkcyjnych (zmniejszając koszty składowania lub utylizacji), ale również pozwala na zmniejszenie emisyjności związków toksycznych do środowiska. W przypadku rolnictwa stosowanie biopaliw powoduje mniejsze zanieczyszczenie upraw rolnych m.in. metalami ciężkimi. W pracy zostały scharakteryzowane metody wytwarzania biopaliw drugiej generacji oraz ich właściwości techniczne i energetyczne determinujące możliwości ich zastosowania do napędu silników mechanicznych.

1 Wstęp

Paliwa drugiej generacji zwane potocznie biopaliwami są coraz częściej stosowanymi zamiennikami znanych i stosowanych paliw z surowców nieodnawialnych. Rozwój technologii, ochrona środowiska oraz coraz większy nacisk na zmniejszanie emisji zanieczyszczeń do atmosfery skutkują zwiększeniem zapotrzebowania na nowe źródła energii, które stanowią między innymi biopaliwa. Obecnie 95 % potrzeb energetycznych na świecie pokrywane jest przez paliwa kopalne, takie jak węgiel kamienny,

ropa naftowa i gaz ziemny, których zasoby są ograniczone (ich złoża wyczerpią się za kilkadziesiąt lat). Możliwości produkcji energii z materii roślinnej przedstawiono na rysunku 1. Paliwa kopalniane niosą za sobą szereg zagrożeń, ponieważ podczas ich spalania emitowane są do atmosfery groźne związki takie jak tlenki siarki, azotu i węgla. Dlatego technika dąży do wdrażenia paliw pozyskanych z zasobów odnawialnych np. z olei roślinnych, zwierzęcych. Stosowanie biopaliw ogranicza negatywny wpływ pozyskiwania energii na środowisko, powodując m.in. spadek emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Na daną chwilę energia z biopaliw stanowi 90%, jeżeli chodzi o odnawialne źródła energii [1].



Rysunek 1. Możliwości w produkcji energii z materiałów roślinnych

Źródło: Opracowanie własne

Biopaliwo jest to paliwo powstałe z przetworzenia biomasy, czyli materii organicznej zawartej w żywych organizmach, wyróżniamy paliwa stałe, ciekłe i gazowe. Surowcami wykorzystanymi do produkcji biopaliw drugiej generacji są surowce trwałe, określane z perspektywy dostępności danego surowca, jego wpływu na emisję gazów, zużycia terenu. Surowcami spełniającymi dane kryteria i wykorzystywanymi do produkcji biopaliw drugiej generacji są między innymi osady ze ścieków komunalnych, biomasa celulozowa (słoma, drewno) oraz pozostałości rolniczych (obornik, gnojowica, słoma) (tabela 1) [2].

Tabela 1. Źródła i zastosowanie biopaliw ciekłych

Biopaliwo	Roślina	Proces konwersji	Zastosowanie
Bioetanol	Zboża, ziemniaki, pseudozboża, topinambur	Hydroliza, fermentacja	Dodatek do benzyny
	Buraki cukrowe, trzcina cukrowa, słodkie sorgo	fermentacja	Dodatek do benzyny
	Uprawy energetyczne, słoma, miskant, rośliny trawiaste	Obróbka wstępna, hydroliza, fermentacja	Dodatek do benzyny
Biometanol	Uprawy energetyczne, miskant	Gazyfikacja, synteza metanolu	Źródło wodoru
Olej roślinny	Rzepak, słonecznik, soja	Tłoczenie	Samoistne paliwo do silników specjalnych

Biopaliwo	Roślina	Proces konwersji	Zastosowanie
Biopaliwo rzepakowe	Rzepak, słonecznik, soja	Estryfikacja	Dodatek do oleju napędowego
Bioolej	Uprawy energetyczne, miskant	Piroliza	Substytut oleju napędowego lub benzyny

Źródło: Grzybek A, Rośliny energetyczne. Technologie przygotowania biomasy dla energetyki. Technologie przetwarzania biomasy i jej wykorzystania w gospodarstwie domowym na wsi

Produkcja biopaliw ciekłych jest w Polsce dozwolona na własne potrzeby. Tyczy się to szczególnie rolników, mogą oni wyprodukować 100 l biodiesla na jeden hektar gruntów rocznie. Produkcja biodiesla opiera się na powstaniu estru metylowego lub etylowego z tłuszczu roślinnego lub zwierzęcego. Udział komponentu w paliwie oznaczany jest literą B (np. B30 oznacza 30 procent komponentu dodanego do tradycyjnego paliwa). W Polsce nie można kupić już paliwa złożonego w 100% z oleju napędowego, każde paliwo zawiera domieszki biokomponentów. Ilość dostarczanego biokomponentu w ropie na rok 2014 wyniosła 7,1%. Większość może postawić pytanie, jeżeli biodiesel jest produkowany z oleju roślinnego to dlaczego nie może on być bezpośrednio użyty? Wynika to z faktu, iż już w temperaturze 20 stopni Celsjusza lepkość kinematyczna oleju jest 18 razy wyższa jak ropy, dzieje się to z powodu występowania w oleju tzw. trójglicerydów, dużych i ciężkich cząstek lipidów. Podczas produkcji biopaliwa duża częśćka tłuszczu rozbijana jest na 4 małe cząstki, z czego 3 staną się estrami wyższych kwasów tłuszczowych (biodieslem), a jedna to frakcja histonowa, czyli produkt uboczny procesu. Proces produkcji polega na dostarczeniu do reaktora oleju roślinnego, a następnie podgrzaniu go do temperatury 30-40 stopni Celsjusza. Następnie zostaje

wprowadzona mieszanina katalityczna, która pozwoli na przeprowadzenie procesu transyfikacji, po czym otrzymujemy gotowe biopaliwo. Kolor paliwa zależy od barwy surowca użytego do jego produkcji. Olej rafinowany ma kolor jaśniejszy od nie rafinowanego, zaś paliwo powstałe z tłuszczu zwierzęcego cechuje się jasnożółtą barwą. Jeżeli biopaliwo nie odparuje do temperatury 400 stopni Celsjusza to oznacza, że w paliwie mogą znajdować się frakcje, które szczególnie przy chłodnym silniku mogą do końca nie dopalać się. Aktualne metody produkcji biopaliw drugiej generacji są wstanie wytworzyć m. in. bioetanol, metanol z biomasy, biodiesel [3,4,5].

2. Bioetanol

Nieustannie zaostrzające się przepisy dotyczące ograniczenia emisji dwutlenku węgla spowodowały konieczność stosowania wysokooktanowych komponentów tlenowych których zadaniem jest ograniczanie zawartości szkodliwego ołowiu w paliwach. 35% ilość tlenu w składzie chemicznym etanolu (tabela 2) spowodowała że jego zastosowanie jako dodatku do benzyn powoduje obniżenie emisji CO w spalinach o ok.15-30%, zwiększenie dawki tlenu jako głównego produktu potrzebnego w procesie spalania daje zwiększony efekt uzyskania pełnego spalania mieszanki paliwowej, a co za tym idzie szybszego uzyskiwania pełnej mocy silnika. Już 10% dodatek bioetanolu do mieszanki paliwowej zwiększa znacznie udział O_2 w mieszanice paliwowej przez co również powoduje zmniejszenie emisji tlenku węgla CO średnio o 20% (17-33%), NO_x o ok. 15%, SO_2 o ok. 30% i obniża ilość niespalonych węglowodorów o ok 10% [6,9,14].

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne bioetanolu

Właściwość	Wartość
Zawartość C %	52,0
Zawartość H %	13,0
Zawartość O %	34,7
Zawartość N %	0,0
Zawartość S %	0,0
Liczba oktanowa	102
Temperatura wrzenia °C	78,0
Gęstość kg·m ⁻³	0,794
Wartość energetyczna MJ·kg ⁻¹	26,68

Źródło: Igliński B., Kujawski W., Buczkowski R., Iglińska A., Ekologiczne efekty stosowania biopaliw, Ekologia i technika vol. XIII nr 4, 152-159, 2005; Warowny W., Zgazowanie biomasy Technologia, Politechnika Warszawska

Kolejną zaletą zastosowania mieszanki benzyny z bioetanolu jest podwyższenie temperatury i ciśnienia spalania w stosunku do tradycyjnej benzyny. Jednak zbyt wysoki dodatek bioetanolu (powyżej 30%) w benzynie powoduje problemy z utrzymaniem równomierności obrotów przy zachowaniu tej samej mocy i momentu obrotowego silnika [14]. Drugim pozytywnym aspektem stosowania etanolu, jako dodatku paliwowego są jego właściwości odłuszczone (detergent) przez co łatwiejsze staje się utrzymanie w czystości i dobrym stanie technicznym układów odpowiedzialnych za dostarczenie paliwa i jego wtryskiwanie do komór spalania. Obecnie według przepisów UE ilość bioetanolu nie powinna przekraczać 5% V/V (objętościowo) jednakże z łatwością może on być zastąpiony odpowiednią formułą bioetanolu. Po przetworzeniu go na eter etylowy (ETBE), w 45% kompozycji z izobutylenem, jest już stosowany jako 15% dodatek do wysokooktanowych benzyn

bezołowiowych. Paliwo z 10% dodatkiem etanolu nosi nazwę „gasohol” i jest produkowane w USA. Przekroczenie granicy 30% udziału bioetanolu wymaga zmian konstrukcyjnych w silnikach. Spalanie w/w mieszanki poniżej temperaturze 5°C powoduje niszczenie silników (etanol w takim stężeniu działa korozyjnie na jego elementy). W obecnym czasie wykorzystanie czystego bioetanolu jako paliwa do silników wysokoprężnych nie jest możliwe. Istnieje możliwość aby podać czysty bioetanol przez powietrze doprowadzane turbosprężarką do silnika co powoduje wzrost jego mocy bez zmian w poziomie spalania [6].

Główną wadą bioetanolu jest jego niższa o 24% wartość opałowa, od benzyny musimy jednak zwrócić uwagę na fakt, iż etanol jest dobrze rozpuszczalny w wodzie i biodegradowany przez co posiada on niewielką toksyczność dla środowiska i minimalizuje ryzyko wystąpienia katastrof ekologicznych [7].

Najlepiej poznanym, a co za tym idzie najstarszym procesem biotechnologicznym prowadzącym do pozyskiwania etanolu jest fermentacja alkoholowa. Głównymi substratami do produkcji bioetanolu są surowce, które zawierają skrobię lub sacharozę np; bulwy ziemniaków(skrobia), buraki cukrowe (sacharoza), a w klimacie ciepłym głównie trzcina cukrowa [8]. Pod względem ilościowym najpowszechniejszymi produktami do produkcji biopaliw II generacji są materiały zawierające tzw. kompleksy lignocelulozowe np; słoma, drewno, roślinne odpady przemysłu spożywczego. Zastosowanie produktów odpadowych zwiększa wydajność ekonomiczną procesu wytwarzania bioetanolu, jednak związane jest to z koniecznością rozwiązania problemów natury technicznej, które wynikają ze złożonej budowy kompleksu lignocelulozowego, która utrudnia dotarcie enzymów

celulolitycznych do wnętrza surowca w tym celu stosuje się zabiegi mające na celu usunięcie ligniny oraz hydrolizy hemicelulozy [11,12] poprzez hydrolizę, fermentację, oraz oczyszczanie produktu [13]. Ułatwienie tego procesu dokonywane jest przez mielenie, wysokociśnieniowe parowanie połączone z gwałtownym rozprężaniem oraz zastosowaniem promieniowania o wysokiej energii. Granicę doskonalenia procesu produkcji bioetanolu metodami mikrobiologicznymi (fermentacyjnymi) wyznacza zjawisko zatrutowania się bakterii produktami własnego metabolizmu. Po przekroczeniu granicy 10-15% zawartości alkoholu proces ten ustaje [6].

Podczas produkcji bioetanolu z jednej tony biomasy jesteśmy w stanie otrzymać ok.700 kg bioetanolu, pomimo tak dobrego wyniku i zmniejszenia kosztu produkcji etanolu w ostatnich dziesięciu latach to koszt produkcji jest relatywnie wysoki. Głównym czynnikiem odpowiadającym za wysokość kosztu produkcji jest cena surowca (60-70% łącznych kosztów wyprodukowania), dlatego za najbardziej rokującą formą wytwarzania tego paliwa jest metoda enzymatyczna z materiałów lignoceluzowych (słoma, drewno z lasów przemysłowych itp.) [6]. Główną barierą uniemożliwiającą wdrożenie na szeroką skalę procesu pozyskiwania bioetanolu w/w metodą jest brak opłacalnej metody produkcji tego paliwa, przeszkodę stanowi wysoki koszt wytworzenia optymalnych warunków bytowych dla mikroorganizmów wytwarzających wydajne enzymy. Nieustanne prace nad udoskonaleniem procesu pozyskiwania etanolu doprowadziły do wdrożenia metody odwróconej osmozy z zastosowaniem separacji wykorzystującej syntetyczne membrany ze specjalnie usieciowanych polimerów, dzięki temu uzyskano znaczny postęp w rozdzielaniu faz poszczególnych składników

fermentacyjnych. Skrócenie procesu scukrzenia mokrego przemiału zbóż z użyciem separacji membranowej pozwala na obniżenie kosztów o ok. 10-15% [6,13].

Nowe nadzieje w pozyskiwaniu bioetanolu związane są ze zrębka drewna i roślin energetycznych dzięki metodzie szybkiej pirolizy (ukierunkowanej na wytwarzanie produktów ciekłych) [10]. Obecnie metoda ta jest testowana w Kanadzie. Pomimo dość wysokiego kosztu wytworzenia bioetanolu przemysł ten jest nadal rozwijany i ulepszany, co jest to wynikiem stosowania ulg podatkowych ze strony państwa i wsparcia finansowego UE, dzięki takiemu zaangażowaniu zauważalna jest znaczna dynamika w produkcji tego alkoholu.

3. Biometanol

Metanol, inaczej alkohol metylowy (wytwarzany z biomasy nazywany jest biometanolem) o wzorze sumarycznym CH_3OH , dawniej otrzymywany był w procesie suchej destylacji (pirolizy) drewna, przeprowadzanej w temperaturze ok. 500°C . Aktualnie metanol uzyskuje się poprzez utlenianie gazu ziemnego (proces jest wysoce energochłonny i zwiększa emisję dwutlenku węgla) lub w reakcji Fischera – Tropscha (synteza z tlenku węgla i wodoru w obecności katalizatorów). Innym sposobem uzyskiwania tego paliwa jest sztuczna fotosynteza lub reakcja dwutlenku węgla z wodą [15].

Metanol może być stosowany jako paliwo silnikowe w czystej postaci lub jako biokomponent (MTBE- eter metylo-tert-butyłowy). W porównaniu do benzyny biopaliwo charakteryzuje się przede wszystkim niższą temperaturą spalania (tabela 3). Ponadto, lotność metanolu ogranicza możliwość wystąpienia pożarów lub wybuchów, które

w wypadku zaistnienia, ze względu na niższą palność od benzyny, można ugasić wodą. Liczba oktanowa biometanolu (107) jest wyższa od benzyny (98), przez co paliwo może być dobrą alternatywą do stosowania w silnikach o wysokiej kompresji. Zakres palności (granica wybuchowości) metanolu jest bardzo szeroki w porównaniu do benzyny (6-36,5% metanolu, 1-7,6% benzyna) dlatego też, wolniej osiąga on dolną granicę (do zapłonu potrzebuje większej energii), jednak zapłon utrzymywany jest w dużym zakresie stężenia składnika [16].

Tabela 3. Właściwości fizykochemiczne biometanolu

Właściwość	Wartość
Zawartość O %	49,9
Liczba oktanowa	107
Temperatura wrzenia °C	65,0
Gęstość kg·m ⁻³	0,796
Wartość energetyczna MJ·kg ⁻¹	19,95

Źródło: Igliński B., Kujawski W., Buczkowski R., Iglińska A., Ekologiczne efekty stosowania biopaliw, Ekologia i technika vol. XIII nr 4, 152-159, 2005;

Obecnie przeprowadzane badania wskazują na wysoką szkodliwość metanolu stosowanego, jako paliwo lub jako komponent paliwa w układach spalinowych z zapłonem iskrowym. Alkohol metylowy ma tendencję do tworzenia związków silnie toksycznych i kancerogennych przez co jego dodatek do paliw jest ograniczony.

Metanol znajduje zastosowanie jako paliwo w ogniach paliwowych typu DMFC (Direct Methanol Fuel Cell), gdzie zostaje zredukowany do wodoru. Sprawność w/w ogniw paliwowych jest dwukrotnie wyższa w porównaniu do silników spalinowych i osiąga wartości do 85% [6].

Paliwo to nie jest jednak stosowane na szeroką skalę ze względu na swoją toksyczność oraz wysokie koszty produkcji.

4. Olej roślinny

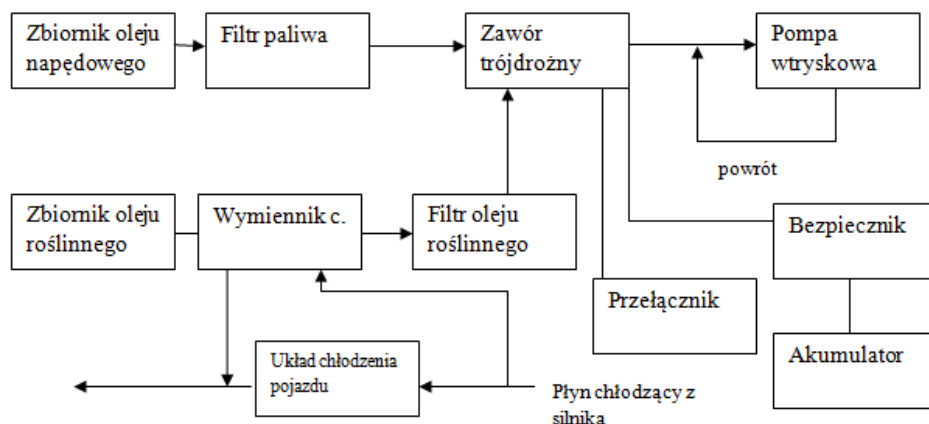
Surowcem wykorzystywanym do produkcji paliw mogą być oleje z różnych roślin. W strefie klimatu umiarkowanego największy plon tłuszczu z jednostki powierzchni daje rzepak ($750\text{--}1200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Olej rzepakowy stosowany jest w technice do od wielu lat (środki smarowe, linoleum, powłoki ochronne, farby drukarskie itd., ale również jako biopaliwo). Paliwa ciekłe wytworzone z rzepaku są ekologicznie bezpieczne, dużo łatwiej biodegradowalne niż konwencjonalne, wytwarzają znacznie mniej dymu, tlenku węgla i siarki, wolnych rodników węglowodorowych, jak również są wolne od metali ciężkich [17]. Właściwości paliwowe oleju rzepakowego zostały przedstawione w tabeli 4.

Tabela 4. Właściwości fizykochemiczne oleju rzepakowego

Właściwość	Wartość
Zawartość C %	78,0
Zawartość H %	12,0
Zawartość O %	10,0
Zawartość S %	0,0
Liczba cetanowa	38
Temperatura zapłonu °C	300
Gęstość $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	0,915
Wartość energetyczna $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	35

Źródło: Dzieniszewski G., Wybrane problemy zasilania silnika Diesla zużyтым olejem roślinnym Inżynieria Rolnicza 9(97)/2007 49; Jakóbiec J., Bocheńska A., Ambroziak A., Modyfikacja właściwości fizykochemicznych i użytkowych paliwa rzepakowego Inżynieria Rolnicza 4(129)/2011

Zastosowanie oleju roślinnego w silniku spalinowym może się odbywać poprzez rozruch na oleju napędowym, a następnie po osiągnięciu temperatury 80°C płynu chłodniczego następuje przełączenie na zasilanie silnika olejem roślinnym. Olej roślinny jest ogrzewany płynem chłodniczym do temperatury około 70°C . Ogrzewanie odbywa się w wymienniku ciepła. Przed wyłączeniem silnika należy przełączyć układ na zasilanie olejem napędowym i uwzględnić konieczność „wypalenia” pozostałości oleju w pompie wtryskowej. Koncepcję układu dwupaliwowego prezentuje schemat przedstawiony na rysunku 2 [20].



Rysunek 2. Koncepcja układu dwupaliwowego

Źródło: [20]

Zasilanie silnika estrami oleju rzepakowego nie wymaga dokonywania żadnych zmian konstrukcyjnych w układzie paliwowym. Istotą tej koncepcji jest fizykochemiczne zoptymalizowanie paliwa pod kątem wymagań seryjnej aparatury wtryskowej [18]. Wynika to przede wszystkim z dużo większej lepkości oleju rzepakowego ($39,6 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) niż oleju napędowego ($2\text{-}4,5 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) co uniemożliwia rozruch silnika w temperaturach niższych niż 5°C . Tak duża lepkość wpływa

na zwiększenie średnicy kropeł, zasięgu strugi wtryskiwanego paliwa oraz powoduje osiadanie paliwa na ściankach cylindra. Niekorzystne warunki spalania wpływają na nasilenie zadymienia spalin, a także na przedostawanie się niespalonego oleju rzepakowego do oleju w układzie smarowania [19].

5. Biodiesel

Biodiesel stanowi najpopularniejszy typ biopaliwa wykorzystywanego w krajach europejskich. Wytwarzany jest z olejów roślinnych (mieszanina glicerydów olejowych) w prostym i niedrogim procesie estryfikacji. W dużej mierze właściwości biopaliwa zależą od zastosowanego do jego wytworzenia surowca. W Europie do produkcji biodiesla używa się głównie rzepaku, w USA stosowana jest soja. Olej palmowy i sojowy mogą nigdy nie spełnić norm europejskich ze względu na wysoką temperaturę topnienia oleju palmowego (olej krzepnie w wyższych temperaturach i nie może być używany w niskich) oraz skłonność do oksydacji oleju sojowego. Stosowane są również zużyte oleje roślinne lub tłuszcze zwierzęce.

Wyróżnia się główne rodzaje biodiesla: biodiesel stanowiący estry metylowe oleju rzepakowego (RME), estry metylowe (FAME) i etylowe (FAEE) wyższych kwasów tłuszczowych innych roślin oleistych otrzymywane w wyniku procesów tłoczenia na zimno, ekstrakcji i transestryfikacji, a także biodiesel stanowiący estry metylowe i etylowe otrzymywany w wyniku transestryfikacji posmażalniczych odpadów olejowych [21,22].

Paliwo wytwarzane z rzepaku w swoimi właściwościami jest wysoce zbliżone do mineralnego diesla (tabela 5). W odniesieniu

do etanolu, produkcja biodiesla wymaga stosunkowo niewiele energii, ze względu na pominięcie produkcji metanolu.

Tabela 5. Właściwości fizykochemiczne biodiesla w porównaniu do diesla mineralnego

Właściwość	Biodiesel (FAME)	Diesel mineralny
Zawartość C %	76,2	86,8
Zawartość H %	12,6	13,2
Zawartość O %	11,2	0,0
Liczba cetanowa	45-55	40-45
Temperatura zapłonu °C	330-360	300-330
Gęstość $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	0,88	0,85
Wartość energetyczna $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	39,0	43,0

Źródło: Hoekmana S. K.,*, Brocha A., Robbins C., Cenicerros E., Natarajan M. Review of biodiesel composition, properties, and specifications Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 143–169

Wyższa zawartość tlenu (ok. 11%) i niższa węgla (ok. 76%) w biodieslu odróżnia te paliwo od klasycznego diesla oraz wpływa na niższą o 10% pojemność energetyczną. Jednak paliwo alternatywne charakteryzuje się wyższą liczbą centanową, co świadczy o jego większej tendencji do zwiększania mocy wyjściowej silnika, zmniejszenia zadymienia spalin, poprawy własności rozruchu na zimno oraz zmniejszenia hałasu spalania. Zazwyczaj gęstość biodiesla jest nieco wyższa niż tradycyjnego oleju napędowego, przez co może powodować problemy z układem wtrysku paliwa tj. zmniejszenie ciśnienia wtrysku, zwiększenie kropel paliwa. W celu obniżenia gęstości stosowane są dodatki paliwowe o niskiej gęstości, mieszające się z biodieslem. Problemem w użytkowaniu biopaliwa jest także jego wyższa niż paliwa konwencjonalnego lepkość (biodiesel $4\text{--}5 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$, diesel $2\text{--}3 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$).

Jak podaje Suh wzrost lepkości obniża liczbę Reynolda dla procesów rozpylania (straty na rozpylaniu paliwa) oraz powoduje formowanie się gruboziarnistego rozpylenia [23].

6. Biopaliwa ciekłe w rolnictwie

Cena paliw ciekłych wytwarzanych z biomasy jest nadal wyższa niż tych stosowanych konwencjonalnie, na co największy wpływ ma cena przetwarzanego surowca (55-70% kosztów wytwarzania). Koszty są czynnikiem decydującym o obniżeniu konkurencyjności biopaliw w stosunku do ropopochodnych. Zakładając sytuację, że koszty oleju napędowego i benzyny miałyby zanotować wzrost o ok. 80%, dopiero wtedy efektywność ekonomiczna tego rodzaju OZE wzrośnie do poziomu powszechnie stosowanego [6,24].

Istotnym problemem wynikającym ze stosowania biopaliw może być konkurencja surowców w stosunku do ich wykorzystywania na cele spożywcze. Generuje to potrzebę zwiększenia produkcji rolnej lub wprowadzanie technologii przetworzenia w pierwszej kolejności produktów odpadowych przetwórstwa spożywczego na biopaliwa. Mimo to obserwowany jest ciągły wzrost ilości przetwarzanej biomasy na cele energetyczne, powodem tego jest przede wszystkim widmo wyczerpania się zasobów surowców energetycznych i co za tym idzie udoskonalenie technologii OZE.

Spśród znanych technologii bezpośredniego wykorzystywania biopaliw płynnych wyróżniającą się są silnik spalinowe tzw. wielopaliwowe FFV (flexible fuel vehicles), które mogą być zasilane przez różne rodzaje paliw i mieszanek paliwowych. Różnica konstrukcyjna w/w silników polega głównie na zastosowaniu tłoków wykonanych

ze stopów o podwyższonej odporności na wysokie temperatury, zmodyfikowanie układu zasilania i wtrysku paliwa. Ponadto, dla ułatwienia rozruchu silniki te wyposażone są w elektroniczne systemy sterowania układów zasilających, które umożliwiają dostosowanie warunków pracy do rodzaju stosowanego paliwa i temperatury otoczenia. Technologię FFV zostały wprowadzone np. w silnikach wysokoprężnych Forda, przez co mogą być zasilane zarówno olejem rzepakowych, sojowym i paliwem mineralnym. W rolnictwie elastyczność wyboru paliwa może znacząco wpłynąć na koszty produkcji rolnej tj. dobór realizowany jest głównie na podstawie czynników ekonomicznych i dostępności paliwa, a także umożliwia wykorzystanie biopaliwa własnej produkcji.

Istotnym aspektem przemawiającym za stosowaniem biopaliw ciekłych w rolnictwie jest ich wysoka biodegradowalność. Substituowanie paliw i smarów mineralnych produktami pochodzenia naturalnego (np. wytworzone z oleju rzepakowego) skutkuje biodegradacją (biologicznym rozkładem) w 87-98% wycieków w czasie jedynie 3 tygodni. W jednakowym czasie rozkładowi ulegnie jedynie 15-25% produktów ropopochodnych i 10-15% syntetyków [6].

Emisja gazów cieplarnianych, a w szczególności CO_2 , jak podaje Wójcicki [24] przeliczając na jednostkę uzyskanej energii, jest niższa dla biopaliw tylko w niewielkim stopniu. Podawane często w literaturze pojęcie tzw. „zerowej emisji CO_2 ” wynika z rozumienia procesów spalania biopaliw jako jedyne źródła ditlenku węgla w trakcie ich przetwórstwa, oraz utożsamienie tego z ilością pobieraną przez roślinę w procesach fotosyntezy. Kolejnym problemem powstającym podczas eksploatacji biopaliw jest wysoka emisja tlenków azotu NO_x , która niesie za sobą konieczność stosowania katalizatorów. Szczególnie trudne jest

to w silnikach wysokoprężnych, gdzie stawiane są wysokie wymagania paliwom jeśli chodzi o zawartość siarki (która ma silne właściwości korozyjne). Stosowane katalizatory platynowo-rodowe powodują zmniejszenie ilości szkodliwych tlenków, jednak wpływają na wzrost ilości sadzy w spalinach. Z większym sukcesem stosowane są katalizatory ceramiczne, jednak cechują się dużo mniejszą wytrzymałością mechaniczną. Konieczność oczyszczania spalin wynika w rolnictwie nie tylko z ogólnych wymagań dotyczących emisji, ale również z możliwości zanieczyszczenia upraw rolnych obniżając ich jakość, a w przypadku wysokich wymagań co do czystości chemicznej produktu, wpływa na konieczność zastosowania dodatkowych technologii oczyszczania podwyższając koszt produkcji rolno-spożywczej [6,23].

Tabela 6. Prognoza zużycia OZE w rolnictwie

Rodzaj paliwa lub energii	Zużycie energii w PJ w roku			Struktura % zużycia w roku		
	2005	2020	2030	2005	2020	2030
Paliwa stałe	141	81	50	46	31	22
Paliwa ciekłe	132	124	120	43	48	52
Paliwa gazowe	6	14	20	2	6	9
Wykorzystanie OZE w rolnictwie	52	78	85	-	-	-
Udział % OZE	17	30	37	-	-	-

Źródło: Studia prognostyczne IBMER, 2006 r.

Jak wynika z tabeli 6 prognoza udziału paliw ciekłych i gazowych, jako źródła energii w rolnictwie sukcesywnie ma wzrastać w miarę upływu lat. Spada za to ilość wykorzystywanych paliw stałych, powodem tego jest

niska sprawność konwersji biomasy w procesach bezpośredniego spalania, znacznie korzystniejsze ekonomicznie jest przetwarzanie surowców w procesach pirolizy (np. pirolizy błyskawicznej celem wytwarzania biooleju) lub zgazowania (gaz syntezowy). Zastąpienie paliw ropopochodnych krajową produkcją biokomponentów wpłynie na poprawę bezpieczeństwa energetycznego Polski. Na rozwój sektora biopaliw ciekłych oddziałuje poza kosztami, dopłatami, dotacjami, również świadomość posiadaczy pojazdów spalinowych, którzy ze względu na obawę przed kosztownymi naprawami instalacji paliwowych, unikają stosowania biopaliw i/lub biokomponentów.

7. Wnioski

1. Stosowanie biopaliw płynnych zarówno w rolnictwie jak i w motoryzacji w znacznym stopniu ogranicza emisję związków siarki do atmosfery. Ograniczenie emisji ditlenku węgla pozostaje niewiele niższe niż w przypadku paliw konwencjonalnych.
2. Stosowanie biopaliw płynnych do napędu pojazdów mechanicznych niesie za sobą konieczność zmian konstrukcyjnych silników, a w szczególności elementów wtrysku paliwa, a w przypadku biodiesla niekiedy wymagane jest zainstalowanie dodatkowych chłodziw. Spowodowane jest to znacznie wyższą lepkością biopaliw. Ponadto, wysoka zawartość tlenu, oprócz obniżenia pojemności energetycznej paliwa, wpływa na niestabilność punktów wrzenia paliwa – jest ono zasobne w związki chemiczne o odmiennej strukturze.
3. Paliwa wyprodukowane z biomasy niekiedy mają tendencję do rozpuszczania przewodów i uszczelek wykonanych z kauczuku,

należy wziąć to pod uwagę przy zmianie paliwa zasilającego pojazd i zastąpić te elementy innymi wykonanymi z materiałów odpornych.

4. W obecnej sytuacji ekonomicznej i społecznej, rozpowszechnienie stosowania biopaliw płynnych przez rolników możliwe jest poprzez wprowadzenie dodatków za ograniczenie emisji szkodliwych związków w spalinach oraz wsparcie merytoryczne w produkcji biodiesla na potrzeby własne. Należałoby wprowadzić cykl szkoleń, konferencji mających na celu zwiększenie świadomości rolników na temat korzyści i konsekwencji płynących ze stosowania biopaliw.
5. Źródła biomasy są często rozproszone, co niesie za sobą konieczność opracowania nowych systemów logistycznych umożliwiających jej energetyczne wykorzystanie.

Praca została wykonana w ramach działalności Koła Naukowego ROLKA
– *Rolnicze Koło Akademickie*.



Literatura:

1. Biernat K., Kulczycki A., *Prognoza rozwoju biopaliw w Polsce, krajowa konferencja „Rynek biopaliw w Polsce- szanse i zagrożenia”* Warszawa, 26.04.2006.

2. Maniecka M., *Biopaliwa- alternatywą dla rosnących cen paliw na stacjach?*
3. Film produkcji biodiesla -Małopolskiego Centrum Odnawialnych Źródeł energii „Bioenergia” pt: „ *Produkcja biopaliw ciekłych*” Kraków 2014.
4. Bieranowski J. *Biodiesel – ekologiczne źródło energii odnawialnej. Praktyczne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Plan energetyczny województwa podlaskiego* Białystok 2006.
5. Biernat K., Rogulska M. *Paliwa drugiej generacji* Krajowa Konferencja Biopaliw i Biomponentów Gdańsk 2006.
6. Andrzej Roszkowski *Perspektywy wykorzystania biomasy jako źródła paliw silnikowych* .
7. Sun Y., Cheng J., *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review*. *Bioresource Technology*, 83, 1-11 2002.
8. Bohlmann G. M., *Process economic considerations for production of etanol from biomass feedstock* *Industrial Biotechnology*, 2, 14-20 2006.
9. Siqueira P. F., Karp S. G., Carvalho J. C., Sturm W., Rodríguez-León J. A., Tholozan J., Singhania R. R., Pandey A., Soccol C. R., *Production of bio-ethanol from soybean molasses by Saccharomyces cerevisiae at laboratory, pilot and industrial scales*, *Bioresource Technology*, 99, 8156-8163 2008.
10. Joka M., Puchlik M., Wasilewski P., *Analiza porównawcza pirolizy biomasy i węgla, Monografia Inżynieria Środowiska Młodym Okiem, Tom Ekoenergetyka* str. 35-56 2004.
11. Kristensen J. B., Borjesson J., Bruun M. H., Tjerneld F., Jørgensen H., *Use of surface active additives in enzymatic hydrolysis of wheat straw lignocellulose* *Enzyme and Microbial Technology*, 40, 888-895 2007.

12. Zaldivar J., Nielsen J., Olsson L., *Fuel ethanol production from lignocellulose: a challenge for metabolic engineering and process integration*, Applying Microbiological Biotechnology, 56, 17-34 2001.
13. Tan K. T., Lee K. T., Mohamed A. R., *Role of energy in renewable energy accomplishment: the case of second-generation bioethanol* Energy Policy, 36, 3360-3365 2008.
14. Zastępowski M., Kaszakowiak J., Borowski S., Bochat A., Świeca A., Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy „*Wpływ zastosowania paliwa z dodatkiem alkoholu na efektywność pracy silników spalinowych*”.
15. Dreszer K., Więclaw-Solny L. *Produkcja paliw silnikowych z węgla poprzez zgazowanie i syntezę Fishera – Tropscha*, Polityka Energetyczna Tom 10, 2007.
16. Shamsula N.S., Kamarudina S.K., Rahmanb N.A., Kofli N.T. *An overview on the production of bio-methanol as potential renewable energy* Renewable and Sustainable Energy Reviews 33 (2014) 578–588.
17. Budzyński W., Stanisław Bielski S. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego cz. 1 biokomponenty paliw płynnych (artykuł przeglądowy) Acta Sci. Pol., Agricultura 3(2) 2004, 5-14.
18. Dzieniszewski G., „*Wybrane problemy stosowania biopaliw do zasilania silników z zapłonem samoczynnym*”, Inżynieria Rolnicza 10(108)/2008.
19. Dzieniszewski G., *Wybrane problemy zasilania silnika diesla użytym olejem roślinnym* Inżynieria Rolnicza 9(97)/2007 49.

20. Uzdowski M., „*Problematyka wykorzystania paliw alternatywnych do zasilania silników trakcyjnych*”, MOTROL, 2008, 10, 143–146.
21. Szymczyk E., *Stan badań i perspektywy wdrożeń technologii do produkcji bioetanolu paliwowego z surowców lignocelulozowych*. AGH Kraków.
22. Grzybek A, *Rośliny energetyczne. Technologie przygotowania biomasy dla energetyki. Technologie przetwarzania biomasy i jej wykorzystania w gospodarstwie domowym na wsi*.
23. Suh H. K., Lee Ch. S. *A review on atomization and exhaust emissions of a biodiesel-fueled compression ignition engine* Renewable and Sustainable Energy Reviews 58 (2016) 1601–1620.
24. Wójcicki Z. *Energia odnawialna, biopaliwa i ekologia* Problemy Inżynierii Rolniczej nr 2/2007.

mgr inż. Anna Bernatowicz¹⁾, dr hab. inż. Marta Kosior – Kazberuk
Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Konstrukcji Budowlanych
ul. Wiejska 45A, 15–351 Białystok
¹⁾krajewskaanna0@gmail.com

Wpływ popiołu lotnego ze spalania węgla kamiennego na mrozoodporność betonu

*The influence of the fly ash from coal combustion on the frost
resistance of concrete*

Słowa kluczowe: *popiół lotny, beton, mrozoodporność, powierzchniowe łuszczenie, trwałość*

Keywords: *fly ash, concrete, frost resistance, surface scaling, durability*

Streszczenie: Polska aktywnie wspiera ideę zrównoważonego rozwoju, która zakłada minimalizację składowania produktów ubocznych, powstałych w procesie wytwarzania energii, poprzez ponowne wykorzystanie ich w gospodarce. Przykładem może być popiół lotny ze spalania węgla kamiennego, wykorzystywany m. in. przy produkcji materiałów budowlanych, w drogownictwie oraz w przemyśle górniczym. Stosowany może być, między innymi, jako dodatek do mieszanki betonowej redukujący ilość cementu. Przy projektowaniu betonu z dodatkami należy pamiętać o takim doborze składników, który nie powoduje pogorszenia parametrów technicznych ani obniżenia trwałości wyrobu.

Analizowano wpływ popiołu lotnego ze spalania węgla kamiennego na mrozoodporność betonu wykonanego przy zastosowaniu trzech rodzajów cementów o zróżnicowanych właściwościach: dwóch portlandzkich CEM I i jednego hutniczego CEM III. Kruszywo stanowił piasek rzeczny i grys bazaltowy. Popiół lotny, o spełniających normowe wymagania właściwościach, pozyskano z miejskiej elektrociepłowni. Popiół traktowano, jako dodatek aktywny zastępując nim część cementu w stosunku wagowym popiół/cement równym 10, 20 oraz 30%. Badanie mrozoodporności przeprowadzono wg normy PKN-CEN-TS 12390-9:2007 metodą „slab test”. Analizowano również wpływ popiołu na inne cechy stwardniałego betonu.

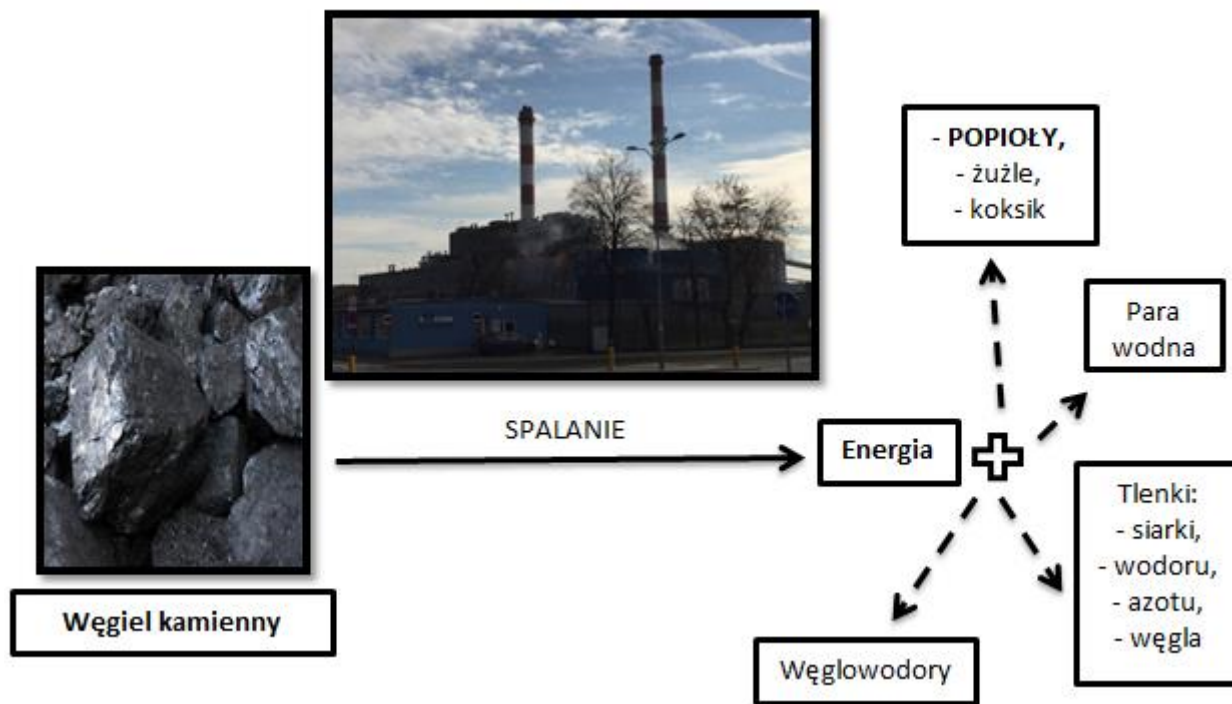
Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że popiół lotny wprowadzony do betonu zawierającego cement portlandzki nie pogarsza znacząco odporności na powierzchniowe łuszczenie. Natomiast w przypadku cementu hutniczego mrozoodporność betonu jest niewystarczająca.

1. Wstęp

1.1. Zagospodarowanie produktów ubocznych spalania

Jednym z założeń respektowanej i popieranej, zarówno w Polsce jak i na całym świecie, idei zrównoważonego rozwoju jest minimalizacja składowania produktów ubocznych powstałych w procesie wytwarzania energii poprzez ponowne wykorzystanie ich w gospodarce [20]. W Polsce przy produkcji energii największy udział ma węgiel kamienny ze wskaźnikiem wynoszącym w 2014 r. 61,0% [5]. W procesie jego spalania, oprócz energii, powstają także produkty uboczne (UPS) w postaci związków lotnych, takich jak: węglowodory, tlenki: siarki, wodoru, azotu, węgla, para wodna oraz cząstki stałe, do których zaliczamy popioły, żużle, koksik oraz gips, w przypadku elektrowni wyposażonych w system odsiarczania spalin [13]. Zależności te zostały przedstawione na rys. 1.1.

W niniejszym artykule najwięcej uwagi poświęcono popiołowi lotnemu, który znajduje szerokie zastosowanie w różnych sektorach gospodarki. Wykorzystywany jest on przy produkcji materiałów budowlanych, m.in. klinkieru cementowego, cementu, wyrobów betonowych, betonów komórkowych, ceramiki, kruszyw lekkich, także w konstrukcjach dróg jako wypełniacz do asfaltu, stabilizator skarp oraz w górnictwie do wypełniania wyrobisk powstałych po wydobyciu surowca [2,21].



Rysunek 1. Produkty spalania węgla kamiennego

Źródło: Opracowanie własne

1.2. Ograniczenie zużycia cementu

Ograniczenie zużycia cementu w produkcji betonu konstrukcyjnego jest istotne zarówno ze względów technologicznych, jak i ekonomicznych. Zapobiega wystąpieniu zbyt dużego skurczu oraz zmniejsza koszt wytworzenia mieszanki betonowej [6]. Ze względu na liczne korzyści, idea ta jest szeroko rozpowszechniona i stała się przedmiotem licznych badań naukowych, artykułów i monografii. Ilość cementu w produkcji betonu redukowana jest poprzez stosowanie odpowiednich dodatków do betonu, które stanowią wypełnienie struktury mieszanki betonowej oraz zapewniają odpowiednie właściwości trwałość stwardniałego betonu. Norma PN-EN 206-2014-04 [25] wyróżnia dwa typy dodatków nieorganicznych. Do grupy I (typ I) należą dodatki prawie obojętne (kruszywa, barwniki), zaś do grupy II aktywne dodatki o właściwościach pucolanowych lub utajonych właściwościach hydraulicznych (typ II). Redukcja ilości cementu w mieszance betonowej jest możliwa dzięki zastąpieniu jego części dodatkami typu II. Właściwości pucolanowe wykazują, między innymi, popioły lotne oraz pyły krzemionkowe, wobec których szczegółowe wymagania regulują odrębne normy. Projektując beton z dodatkami należy pamiętać o konieczności zachowania minimalnej, wymaganej przez PN-EN 206-2014-04 [25] ilości cementu w mieszance oraz o charakterystyce reakcji pucolanowej, a w konsekwencji wolnym przyroście wytrzymałości betonu [1].

1.3. Zastosowanie produktów ubocznych jako składnika betonu

Produkty uboczne stosowane jako składniki betonu nie mogą pogarszać jego właściwości. Za naczelne parametry uważa się wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie oraz właściwości decydujące o trwałości konstrukcji. W przypadku dodatków pucolanowych wytrzymałość początkowo przyrasta wolniej niż w betonach zwykłych, ale w końcowym efekcie zwykle jest większa w porównaniu do betonu bez dodatku [14]. O trwałości konstrukcji decyduje, w dużej mierze, jej szczelność (brak mikropęknięć, rys) oraz chemo- i mrozoodporność. Przy projektowaniu mieszanki betonowej należy wziąć pod uwagę czynniki zewnętrzne, w jakich będzie eksploatowana konstrukcja, przeanalizować agresywność środowiska oraz różnice temperatur, aby zastosowane domieszki sprostały niniejszym wymaganiom [6]. Ponadto Giergiczny i in. [4] zwracają szczególną uwagę na konieczność każdorazowej weryfikacji ubocznych produktów spalania, stosowanych, jako dodatki do betonu, do konkretnych zastosowań [4].

1.3.1. Mrozoodporność, jako cecha decydująca o trwałości konstrukcji z betonu

Mrozoodporność w przypadku konstrukcji narażonych na działanie niskich temperatur oraz wilgoci jest cechą znacząco oddziałującą na trwałość. Jest ona również istotna ze względu na wysokie koszty napraw konstrukcji spowodowanych niszczącym oddziaływaniem środowiska. Wielokrotne cykle nawilżania, zamrażania i rozmrażania betonu mogą powodować zmiany w jego strukturze w postaci: pęknięć powierzchniowych, odprysków, złuszczenia cienkiej, wierzchniej

warstwy, głębokich pęknięć liniowych, całkowitego lub częściowego odspojenia fragmentu konstrukcji.

Mrozoodporność betonu jest determinowana przez szereg czynników. Można podzielić je na zewnętrzne i wewnętrzne. Do pierwszej grupy zaliczamy ogół faktorów klimatycznych (wilgotność, obecność soli, zmienność temperatury powietrza) oraz cechy geometryczne konstrukcji betonowej i jej lokalizację (ekspozycja na słońce, rodzaj podłoża). Spośród czynników wewnętrznych naczelnym wpływ ma budowa (porowatość), skład betonu (wskaźnik w/c, obecność dodatków) oraz właściwości wody zarobowej [16].

Mrozoodporność betonu ze względu na charakter uszkodzeń może być rozpatrywana, jako oporność na wewnętrzne pękanie oraz powierzchniowe łuszczenie. Pierwszy typ zniszczenia charakteryzują powstające w strukturze betonu mikrozarzysowania, w których koncentrują się naprężenia. Miejsca te mają osłabioną wytrzymałość i przyczyniają się do zniszczenia konstrukcji w przypadku przyłożenia obciążenia krytycznego. Powierzchniowe łuszczenie cechuje pogorszenie walorów estetycznych wyrobu oraz zwiększenie podatności betonu na wnikanie wilgoci oraz innych związków chemicznych z otoczenia [10].

1.4. Przedmiot badań

Celem pracy było określenie wpływu popiołu lotnego ze spalania węgla kamiennego na mrozoodporność betonu. Oceniano wpływ popiołu na powierzchniowe łuszczenie betonu. Przeprowadzono badanie mrozoodporności metodą „slab test”. Stosowana metoda jest najbardziej surową oraz najlepiej odzwierciedlającą środowisko pracy betonowego elementu w miejscu jego wbudowania [11]. Inne metody badania

mrozoodporności zostały opisane m. in. w pracach Lelusz [7], Kalisty i Małaszkiwicz [8] oraz Józwiak – Niedźwieckiej [12]. Dodatkowo, przeprowadzono badania cech związanych z mikrostrukturą betonu, takich jak: podciąganie kapilarne roztworu NaCl, gęstość właściwa i objętościowa oraz wilgotność sorpcyjna. Badania przeprowadzono w Laboratorium Katedry Konstrukcji Budowlanych na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej.

2. Metodyka badań

2.1. Materiały i przygotowanie próbek

2.1.1. Cement

Aby uzyskać pełniejszą analizę podatności betonu na powierzchniowe łuszczenie, do wykonania próbek wybrano cementy pochodzące z różnych cementowni oraz o różnych klasach wytrzymałości. Ich skład oraz podstawowe właściwości zestawiono w tabeli 2.1.

Tabela 1. Rodzaje i właściwości cementów użytych do badań

Rodzaj cementu	cement portlandzki CEM I 42,5 R	cement portlandzki CEM I 32,5R	cement hutniczy CEM III/A 32,5 NA
Oznaczenie podczas badania	C1	C2	C3
Cementownia	Rudniki	Chełm	Rudniki
Powierzchnia właściwa (Blaine'a) [cm^2/g]	Średnia	Średnia	Średnia
Wodoządnosc [%]	25,10	26,80	30,20
Czas wiązania: początek/koniec [min]	171/217	175/217	207/263
Wytrzymałość na ściskanie: po 2/28 dniach [MPa]	23,10/48,80	26,80/50,50	28,80/49,40
Zawartość SO_3 [%]	2,91	2,88	1,61
Zmiany objętości (Le Chatelier'a) [mm]	0,80	0,70	0,20
Straty prażenia [%]	1,03	1,26	2,15
Części nierozpuszczalne [%]	0,61	1,70	3,89
Zawartość MgO [%]	0,90	-	-
Zawartość CaO [%]	-	64,02	50,56
Zawartość Na_2O_{eq} [%]	-	-	0,82

Źródło: Dane producentów

2.1.2. Kruszywo

Stos okruszowy skomponowano z następujących kruszyw:

- a) piasku rzeczno-fluwialnego (Bobrowa) o średnicy ziaren do 2 mm,
- b) bazaltowego kruszywa łamanego drobnego o średnicy ziaren 2 – 4 mm,
- c) bazaltowego kruszywa łamanego grubego o średnicy ziaren 4 – 8 mm.

Poszczególne frakcje stanowiły odpowiednio 40%, 25% i 35% stosu okruszowego.

2.1.3. Popiół lotny

Według normy PN-EN 450-1+A1:2009 Część 1: Definicja, specyfikacje i kryteria zgodności [26] pod pojęciem popiół lotny rozumie się: „drobno uziarniony pył, składający się głównie z kulistych, zeszklwionych ziaren, otrzymywanych przez spalanie pyłu węglowego przy udziale lub bez udziału materiałów współspalanych, wykazujący właściwości pucolanowe, zawierający przede wszystkim SiO_2 i Al_2O_3 ” [3]. Wymagania dotyczące popiołu lotnego jako dodatku do betonu określa szereg norm. Są to:

- PN-EN 206-1:2014-04 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność [25];
- PN-EN 450-1:2012 Popiół lotny do betonu. Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności [26];
- PN-EN 450-2:2006 Popiół lotny do betonu. Część 2. Ocena zgodności [27];
- PN-EN 197-1:2012 Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku [24], [17].

Zawarte są w nich wytyczne regulujące skład mieszanki betonowej z dodatkami oraz parametry popiołu lotnego, który może być stosowany w Polsce.

Stosowany popiół lotny pochodził ze spalania węgla kamiennego w kotle konwencjonalnym elektrociepłowni miejskiej. Wyniki stężeń naturalnych izotopów promieniotwórczych w popiele lotnym ze zbiornika retencyjnego zestawiono w tabeli 2.2.

Tabela 2. Wyniki pomiaru stężeń naturalnych izotopów promieniotwórczych w popiele lotnym ze zbiornika retencyjnego Elektrociepłowni Białystok

Pomiary	Wyniki
Stężenie potasu [Bq/kg]	594,88±78,98
Stężenie radu [Bq/kg]	125,11±20,36
Stężenie toru [Bq/kg]	71,74±9,49
Wskaźnik aktywności f1 [Bq/kg]	0,80±0,08
Wskaźnik aktywności f2 [Bq/kg]	125,11±20,36
Konsystencja próby [mm]	0-2

Źródło: Dane producentów

Zastosowany do badań popiół lotny spełniał wymagania normy PN-EN 450-1:2012 [25] co do ograniczenia zawartości izotopów promieniotwórczych, strat prażenia poniżej 5% oraz gęstości, zgodnej z deklaracją producenta $\rho = 2,23 \text{ g/cm}^3$. Ilość popiołu lotnego jako dodatku do betonu w stosunku do cementu nie może przekraczać 33% zgodnie z PN-EN 206-1:2014-04 [24].

W przypadku stosowania popiołu lotnego do betonu określana jest także jego aktywność pucolanowa. Wskaźnik aktywności pucolanowej określa stosunek wytrzymałości na ściskanie zaprawy cementowej normowej do porównawczej. Przez zaprawę normową rozumiano zaprawę

wykonaną z cementu normowego w ilości 75% ogólnej masy oraz 25% popiołu [19]. Oceniano aktywność pucolanową przy wykorzystaniu zarówno cementów portlandzkich C1 i C2, jak i hutniczego C3. Wyniki badania aktywności pucolanowej poszczególnych cementów, na podstawie wytrzymałości na ściskanie, przedstawiono w tabeli 2.3.

Tabela 3. Aktywność pucolanowa popiołu lotnego na podstawie wytrzymałości na ściskanie zapraw zawierających różne cementy

Wskaźnik aktywności pucolanowej	Wymagany	Cementu C1	Cementu C2	Cementu C3
po 28 dniach	>75%	95%	82%	83%
po 90 dniach	>80%	105%	104%	90%

Źródło: Opracowanie własne

Badany popiół osiągnął wymaganą normą PN-EN 206-1:2014-04 [24] wartość wskaźnika aktywności pucolanowej zarówno po 28 jak i po 90 dniach.

2.1.4. Przygotowanie próbek

Zastosowano trzy rodzaje cementów: CEM I 42,5R Rudniki (C1), CEM I 32,5R Chełm (C2) oraz CEM III 32,5NA Rudniki (C3) zgodnie z pkt. 2.2.1. niniejszego artykułu. Zachowano stałą ilość wody oraz stałą wartość wskaźnika woda/spoiwo (w/s) równą 0,5. Badano próbki betonów różniące się zawartością popiołu lotnego w stosunku do cementu, która wynosiła: 0,0; 0,1; 0,2; 0,3. Receptury betonów użytych do badań zestawiono w tabeli 2.4. Ponieważ celem badań była ocena wpływu popiołu lotnego na powierzchniowe łuszczenie nie stosowano domieszki napowietrzającej do betonu

Tabela 4. Receptury betonów użytych do badań

Nr pr.	Oznaczenie cementu	p/c	cement [kg/m ³]	popiół lotny [kg/m ³]	woda [kg/m ³]	kruszywo [kg/m ³]		
						piasek	2÷4	4÷8
1÷3	CEM I 42,5R Rudniki	0,0	350,00	0,00	175,00	795,00	497,00	695,00
4÷6	CEM I 42,5R Rudniki	0,1	337,00	33,70		783,00	489,00	685,00
7÷9	CEM I 42,5R Rudniki	0,2	324,00	64,80		772,00	483,00	675,00
10÷12	CEM I 42,5R Rudniki	0,3	313,00	93,90		762,00	477,00	667,00
13÷15	CEM I 32,5R Rudniki	0,0	350,00	0,00		795,00	497,00	695,00
16÷18	CEM I 32,5R Rudniki	0,1	337,00	33,70		780,00	488,00	682,00
19÷21	CEM I 32,5R Rudniki	0,2	324,00	64,80		767,00	479,00	671,00
22÷24	CEM I 32,5R Rudniki	0,3	313,00	93,90		754,00	472,00	660,00
25÷27	CEM III 32,5NA Chełm	0,0	350,00	0,00		795,00	497,00	695,00
28÷30	CEM III 32,5NA Chełm	0,1	337,00	33,70		780,00	488,00	682,00
31÷33	CEM III 32,5NA Chełm	0,2	324,00	64,80		767,00	479,00	671,00
34÷36	CEM III 32,5NA Chełm	0,3	313,00	93,90		754,00	472,00	660,00

Źródło: Opracowanie własne

Proces przygotowania próbek rozpoczęto od odważenia potrzebnych ilości składników. Następnie, mieszano je przez ok. 1 minutę w betoniarce przeciwbieżnej. Kolejno dodano wodę i mieszano jeszcze przez 5 minut. Przygotowaną w ten sposób mieszankę układano w 3 warstwach w formach stalowych o wym. 10 x 10 x 10 cm. Każda z ułożonych warstw została poddana procesowi vibracji na stoliku wibracyjnym trwającemu 1,5 minuty w celu zagęszczenia betonu. Powierzchnię próbek zacierano, a następnie przykryto je folią zapobiegającą parowaniu. Po upływie 24 godzin nastąpiło rozformowanie, a próbki umieszczono w wodzie wodociągowej i przechowywano w ten sposób do czasu właściwego badania.

2.2. Metody badań

2.2.1. Badanie konsystencji mieszanki betonowej

Badanie konsystencji mieszanki betonowej przeprowadzono metodą Vebe według wytycznych zawartych w normie PN-EN 206-1:2014-04 [25]. W serii przebadano 12 próbek. Metoda Vebe polega na pomiarze czasu potrzebnego do rozplynięcia się mieszanki do określonego stopnia w wyniku drgań w aparacie Vebe. Na podstawie pomiaru czasu vibracji określa się klasę konsystencji. Opisane zależności zestawiono w tabeli 2.5.

Tabela 5. Klasy konsystencji według metody Vebe

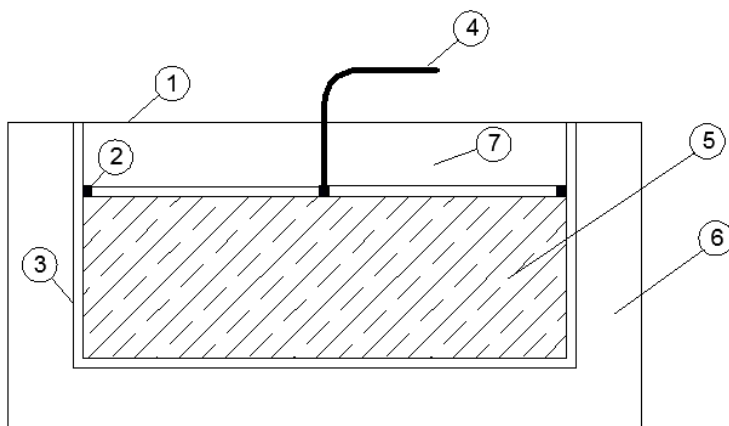
PN-EN 206-1	
Klasa	Czas zagęszczania w metodzie Vebe [s]
V0	≥ 31
V1	$30 \div 21$

PN-EN 206-1	
Klasa	Czas zagęszczania w metodzie Vebe [s]
V2	20÷11
V3	10÷6
V4	5÷3

Źródło: Norma PN-EN 206-1:2014-04 [25]

2.2.2. Badanie mrozoodporności

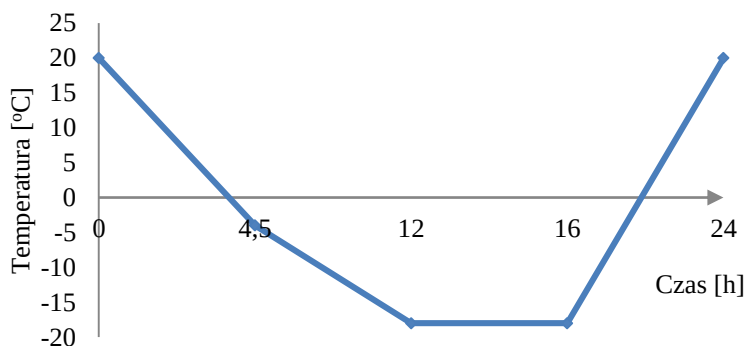
Badanie mrozoodporności przeprowadzono zmodyfikowaną metodą „slab test”, która wg obowiązującej normy PKN-CEN/TS 12390-9:2007 [23] służy do określenia odporności betonu na powierzchniowe łuszczenie. Wzorowana jest na szwedzkiej metodzie Boras określonej w normie SS 13 72 44 [28] i polega na pomiarze masy materiału złuszczonego z powierzchni próbki poddanej zamrażaniu. Określenie masy przeprowadza się po 7, 14, 28, 42 oraz 56 cyklach zamrażania i rozmrażania. Jako ciecz zamrażaną stosuje się 3% roztwór NaCl. Przygotowanie próbek rozpoczyna się po 21-dniowym okresie dojrzewania betonu. Z sześciennych próbek wycina się prostopadłe do wylewanej powierzchni bloki o grubości $5(\pm 0,2)$ cm, które następnie umieszcza się w komorze klimatycznej. Po 4 dniach wydajemy próbki, oklejamy folią gumową i uszczelniamy silikonem wszystkie powierzchnie próbki za wyjątkiem wystawionej na działanie mrozu powierzchni badanej. Następnie próbki ponownie umieszcza się w komorze klimatycznej i zalewa wodą destylowaną. W 31 dniu dojrzewania wykonuje się izolację termiczną próbki, zalewa 3% roztworem NaCl i umieszcza w komorze zamrażalniczej [23]. Próbką przygotowaną do badania mrozoodporności metodą „slab test” została przedstawiona na rysunku 2.1.



Rysunek 2. Próbkę do badania mrozoodporności metodą „slab test”: 1 – płyta styropianowa lub pianka poliuretanowa, 2 – silikon, 3 – folia gumowa, 4 – sonda temperaturowa, 5 – próbka betonu, 6 – izolacja termiczna, 7 – zamrażana ciecz (NaCl)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie PKN-CEN/TS 12390-9:2007 [23]

Pojedynczy cykl trwa dobę. Pomiar temperatury, podczas całego badania, prowadzony jest za pomocą termopar. Przebieg dobowych zmian temperatury podczas jednego cyklu przedstawiono na rysunku 3. [7].



Rysunek 3. Dobowe zmiany temperatury podczas jednego cyklu zamrażania i rozmrażania w metodzie „slab test”

Źródło: Opracowanie własne

Co 7 cykli zbiera się materiał złuszczonej z poszczególnych próbek, suszy w temperaturze $110 \pm 10^{\circ}\text{C}$ i waży z dokładnością do 0,1 g. Masę

złuszczonego materiału podaje się w odniesieniu do powierzchni próbki poddawanej zamrażaniu w kg/m^2 [23]. Każda seria liczyła 3 próbki.

Interpretacji uzyskanych rezultatów dokonuje się po 28 oraz 56 cyklach zamrażania i rozmrażania na podstawie niżej opisanej skali, biorąc pod uwagę masę złuszczeń po 28 (m_{28}) oraz 56 (m_{56}) cyklach. Zgodnie z nią mrozoodporność określamy jako:

- bardzo dobrą, gdy $m_{56} < 0,10 \text{ kg/m}^2$,
- dobrą, gdy $m_{56} < 0,20 \text{ kg/m}^2$ lub $m_{56} < 0,50 \text{ kg/m}^2$ i $m_{56}/m_{28} < 2$,
- dostateczną, gdy $m_{56} < 1,00 \text{ kg/m}^2$ i $m_{56}/m_{28} < 2$,
- niedostateczną, gdy $m_{56} > 1,00 \text{ kg/m}^2$ i $m_{56}/m_{28} > 2$ [9].

2.3. Badanie gęstości właściwej i objętościowej

Zgodnie z normą PN-EN 12390-7:2009 oznaczenie gęstości objętościowej przeprowadzono na wysuszonych w temperaturze $105 \pm 5^\circ\text{C}$ do stałej masy regularnych sześciennych próbkach o wymiarach $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$. Objętość próbek obliczono na podstawie ich wymiarów z dokładnością do 0,1 mm. Wartości otrzymanych gęstości podaje się w kg/dm^3 [18,22].

Pod pojęciem gęstości właściwej rozumie się stosunek masy próbki do objętości bez porów wyrażony w kg/dm^3 . Oznaczenie gęstości właściwej wykonano przy użyciu piknometru. Przed wykonaniem badania wyskalowano i zważono pusty piknometr. Następnie, wsypano do niego rozdrobnioną, wysuszoną i przesianą przez sito próbkę oraz ponownie zważono piknometr z próbką. Kolejno zalano piknometr wodą, usunięto pęcherze powietrza i zważono. Na podstawie otrzymanych wyników wagowych oraz znanej objętości cieczy i piknometru obliczono gęstości właściwe betonów [22]. Każda seria liczyła 12 próbek.

2.4. Badanie wilgotności sorpcyjnej i podciągania kapilarnego

Sorpcyjność jest ważną cechą fizyczną betonu, ponieważ wpływa na trwałość konstrukcji z niego wykonanej. Pod pojęciem tym rozumie się wielkość kapilarnego wnikanie wody w strukturę betonu. Badanie wilgotności sorpcyjnej wykonano metodą masową i objętościową. Metoda masowa polega na badaniu przyrostu masy próbki betonowej zanurzonej na głębokość $2\div 3$ mm w wodzie w określonych odstępach czasu. Przed rozpoczęciem badania próbki należy wysuszyć do stałej masy i zaizolować ich boczne powierzchnie, aby uniemożliwić odparowywanie wody. Przepływ wody w metodzie masowej odbywa się jednokierunkowo. W badaniu wilgotności sorpcyjnej metodą masową analizowano wyniki uzyskane dla 3 próbek z każdej serii. W metodzie objętościowej pomiarowi podlega ilość wody wchłonięta przez strefę wpływu o powierzchni nie mniejszej niż 50 cm^2 . Charakter przepływu jest wielokierunkowy, a przy interpretacji wyników powinno uwzględnić się gęstość cieczy [15].

3. Analiza wyników badań

3.1. Konsystencja mieszanki betonowej

Wyniki badania konsystencji mieszanki betonowej metodą Vebe zestawiono w tabeli 3.1.

Tabela 6. Wyniki badania konsystencji mieszanki betonowej

Cement	Zawartość popiołu [%]	Czas zagęszczania [s]	Klasa wg metody Vebe
CEM I 42,5R Rudniki (C1)	0	17	V2
	10	18	V2
	20	18	V2
	30	16	V2
CEM I 32,5R Chełm (C2)	0	18	V2
	10	19	V2
	20	20	V2
	30	16	V2
CEM III 32,5NA Rudniki (C3)	0	18	V2
	10	18	V2
	20	23	V1
	30	22	V1

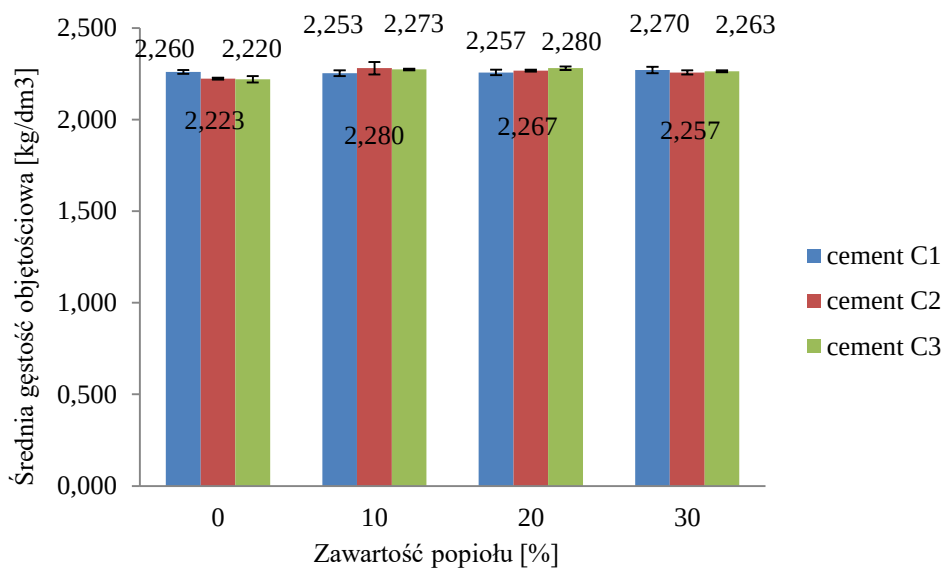
Źródło: Opracowanie własne

W większości, mieszanki betonowe charakteryzowały się konsystencją V2 według skali Vebe. Jedynie w przypadku mieszanki z 20 i 30% dodatkiem popiołu lotnego w stosunku do cementu hutniczego uzyskano konsystencję klasy V1. Dodatek popiołu nie wpływa więc znacząco na konsystencję świeżej mieszanki przy $w/s = 0,50$.

3.2. Właściwości fizyczne stwardniałego betonu

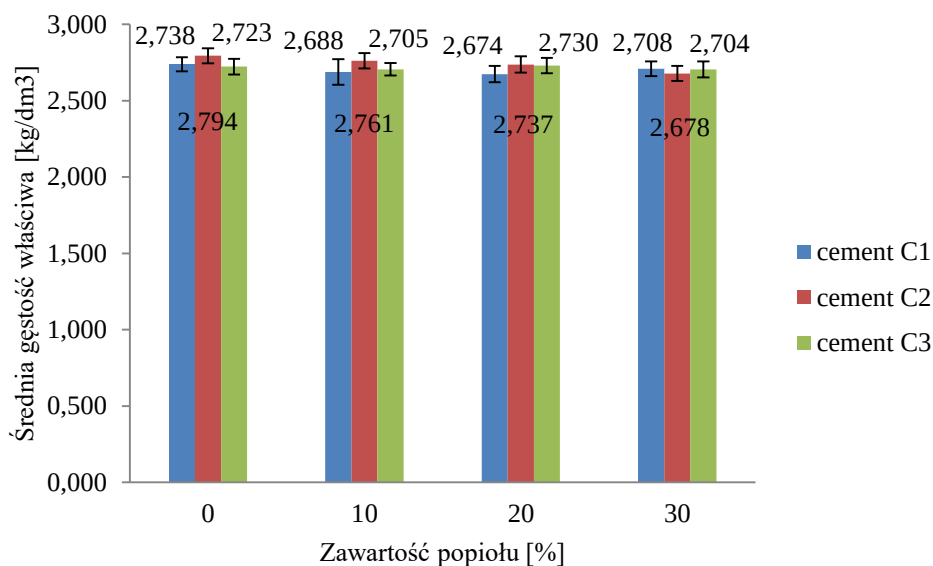
Analizowano wpływ popiołu lotnego na gęstość właściwą i objętościową, podciąganie kapilarne 3% roztworu NaCl oraz wilgotność sorpcyjną masową i objętościową. Wyniki badań poszczególnych właściwości przedstawiono na rys. 3.1. – 3.5. W przypadku badania

gęstości zarówno właściwej, jak i objętościowej nie stwierdzono znaczącego wpływu dodatku popiołu na wartości tych cech.



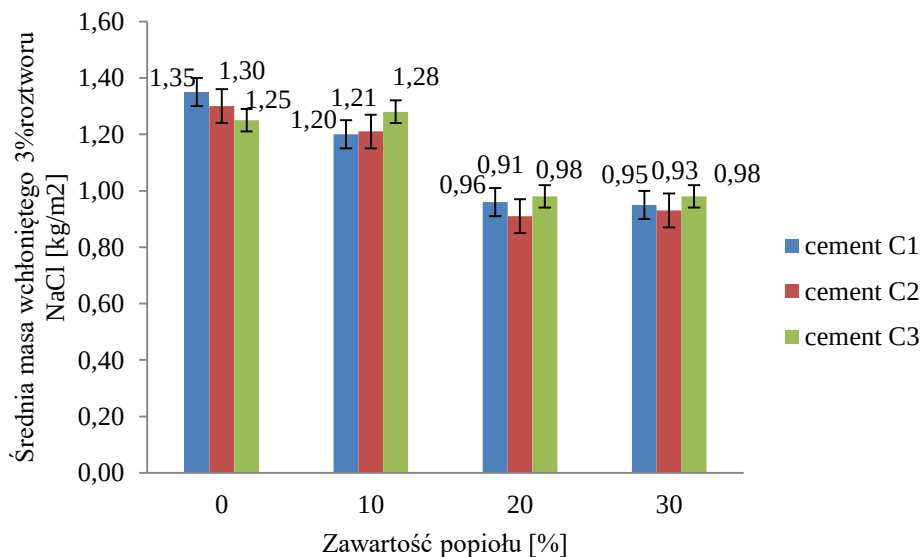
Rysunek 4. Średnie wartości gęstości objętościowej

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 5. Średnie wartości gęstości właściwej

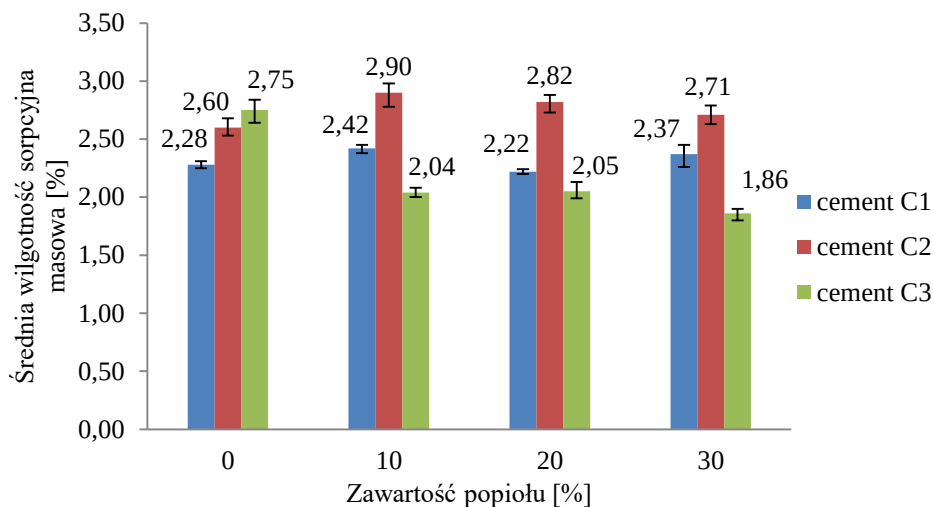
Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 6. Średnie wartości podciągania kapilarnego 3% roztworu NaCl

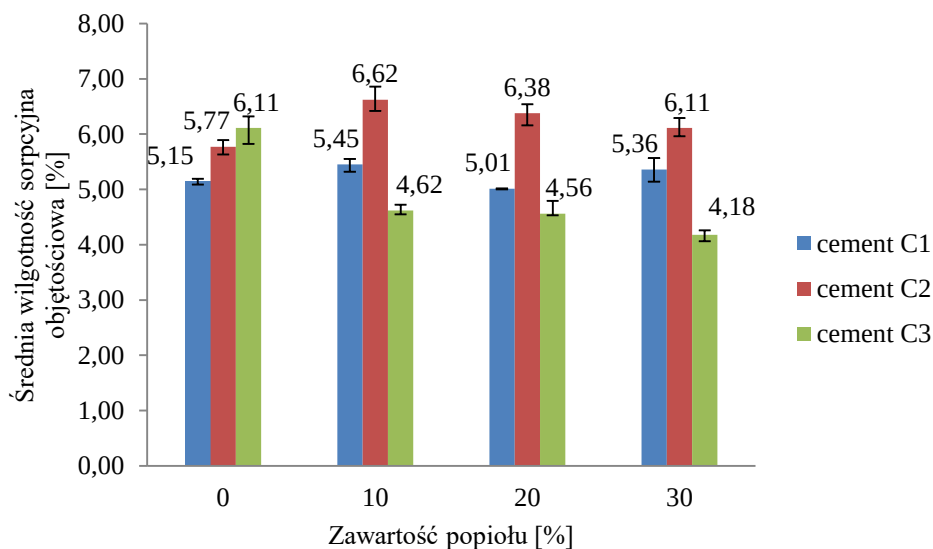
Źródło: Opracowanie własne

Wraz ze wzrostem zawartości popiołu zmniejszała się zdolność betonu na kapilarne podciąganie roztworu soli odladzającej, niezależnie od rodzaju zastosowanego cementu.



Rysunek 7. Średnie wartości wilgotności sorpcyjnej masowej

Źródło: Opracowanie własne



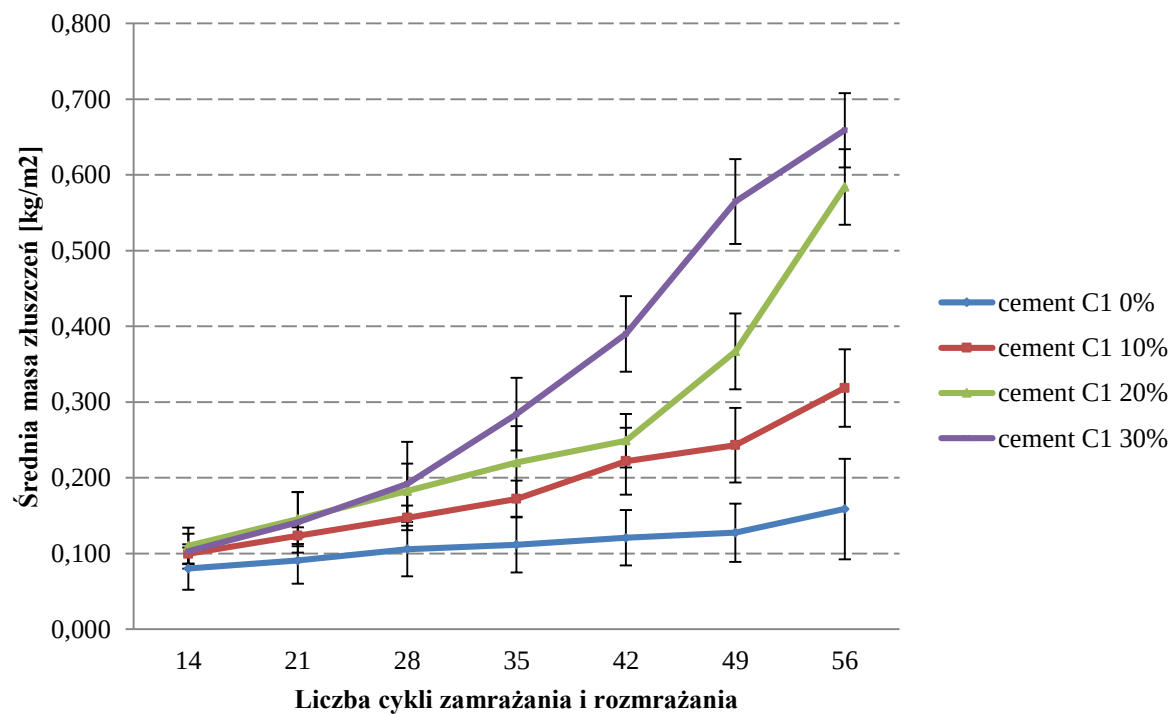
Rysunek 8. Średnie wartości wilgotności sorpcyjnej objętościowej

Źródło: Opracowanie własne

Właściwości betonu takie jak wilgotność sorpcyjna oraz podciąganie kapilarne określają szczelność materiału, która wpływa na jego trwałość. Dodatek popiołu lotnego oddziałuje również na poziom wilgotności betonu. Związane jest to ze współpracą ziaren cementu z cząsteczkami popiołu, która zapewnia lepsze ich ułożenie w strukturze betonu. W przypadku betonów z cementem portlandzkim C1 dodatek popiołu lotnego nie wpływał znacząco na wilgotność sorpcyjną, natomiast w przypadku betonów z cementem C2 dodatek powodował nieznaczny wzrost wilgotności. Natomiast, beton z cementu hutniczego C3 z dodatkiem popiołu charakteryzował się zmniejszoną wartością wilgotności sorpcyjnej.

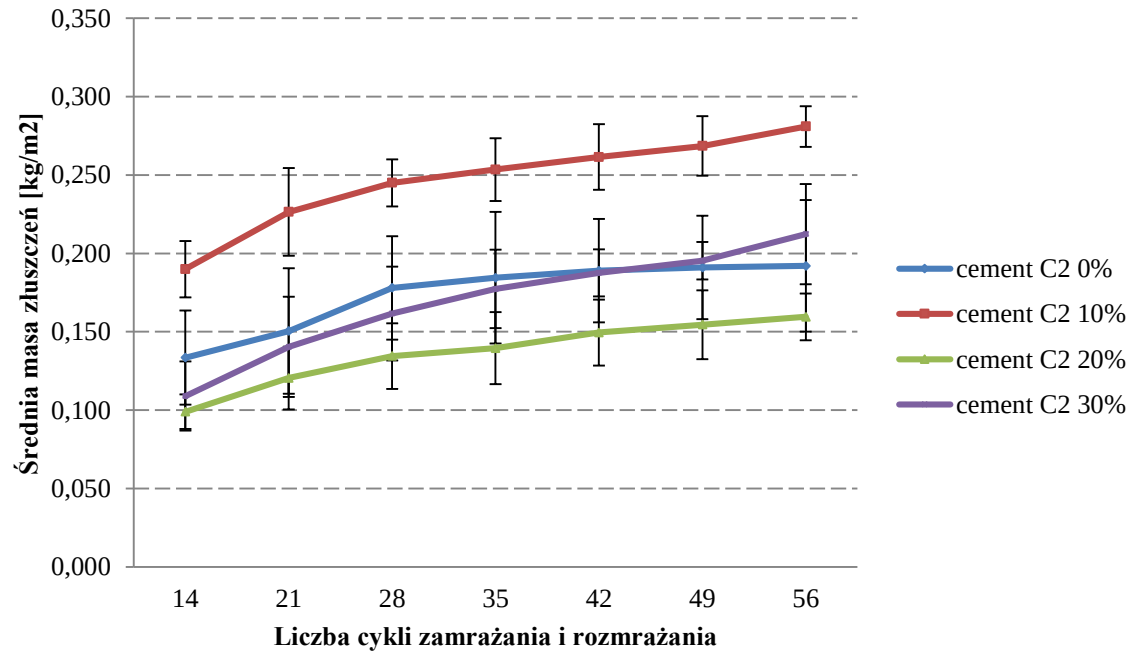
3.3. Odporność na powierzchniowe łuszczenie

Wyniki badania odporności na powierzchniowe łuszczenie w zależności od liczby cykli zamrażania i rozmrażania oraz zawartości popiołu lotnego dla betonów z poszczególnymi cementami przedstawiono na rys. 3.6. – 3.8.



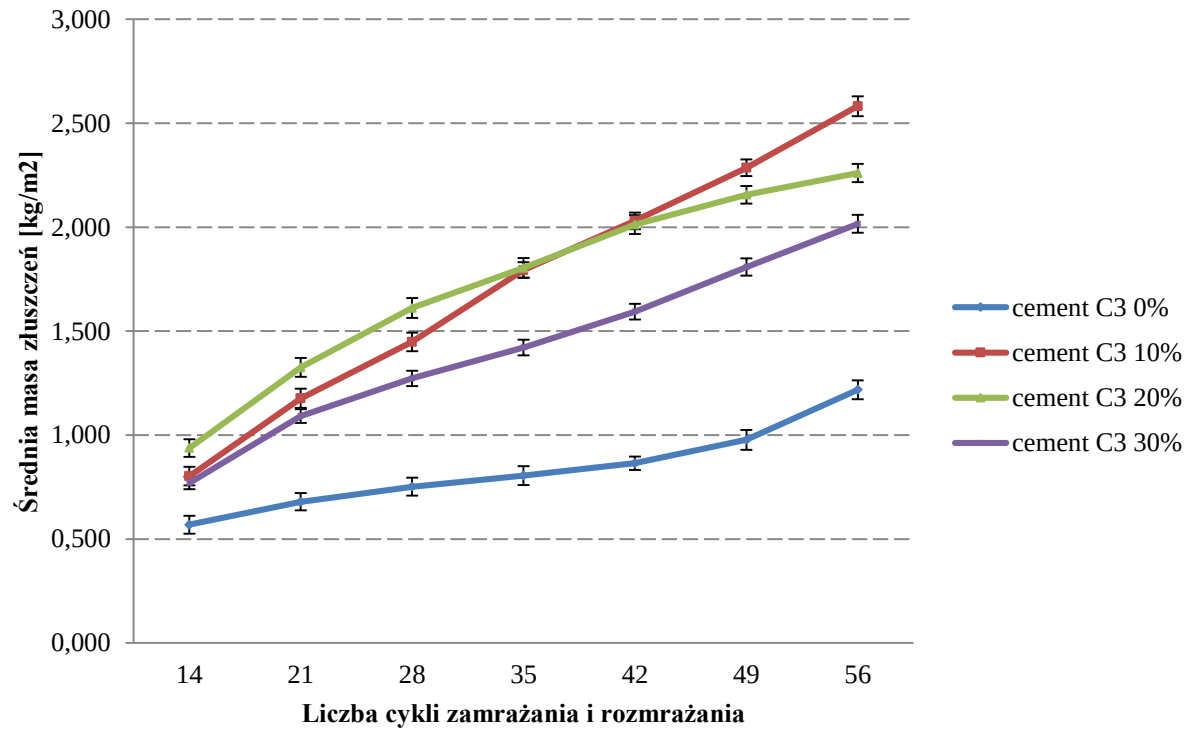
Rysunek 9. Średnia masa złuszczeń po n cyklach zamrażania i rozmrażania dla betonu z cementem C1 w zależności od zawartości popiołu lotnego

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 10. Średnia masa złuszczeń po n cyklach zamrażania i rozmrażania dla betonu z cementem C2 w zależności od zawartości popiołu lotnego

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 11. Średnia masa złuszczeń po n cyklach zamrażania i rozmrażania dla betonu z cementem C3 w zależności od zawartości popiołu lotnego

Źródło: Opracowanie własne

Wybrane wyniki badań zestawiono w tabeli 3.2. w celu dokonania interpretacji rezultatów.

Tabela 7. Interpretacja wyników badań odporności na powierzchniowe łuszczenie

Cement	Zawartość popiołu	Masa złuszczeń [kg/m ²]			Ocena mrozoodporności
		po 28 dniach	po 56 dniach	m ₅₆ /m ₂₈	
cement C1	0%	0,106	0,159	1,50	dobra
	10%	0,147	0,319	2,17	dostateczna
	20%	0,183	0,584	3,19	dostateczna
	30%	0,192	0,659	3,43	dostateczna
cement C2	0%	0,178	0,192	1,08	dobra
	10%	0,245	0,281	1,15	dobra
	20%	0,118	0,143	1,21	dobra
	30%	0,162	0,212	1,31	dobra
cement C3	0%	0,752	1,218	1,62	niedostateczna
	10%	1,448	2,582	1,78	niedostateczna
	20%	1,612	2,261	1,40	niedostateczna
	30%	1,273	2,017	1,58	niedostateczna

Źródło: Opracowanie własne

Nienapowietrzone betony z cementów portlandzkich z dodatkiem popiołu lotnego nie przekraczającym 30% ogólnej masy spoiwa cechuje mrozoodporność dobra lub dostateczna. W przypadku cementu C1 wraz ze wzrostem zawartości popiołu malała odporność na powierzchniowe łuszczenie wykonanego z niego betonu. Natomiast, beton wykonany przy wykorzystaniu cementu C2 wykazywał spadek mrozoodporności przy 10% dodatku popiołu, zaś zwiększenie odporności na powierzchniowe łuszczenie przy dodatku 20 i 30% popiołu. Dodatek popiołu lotnego spowodował znaczący spadek mrozoodporności betonu z cementem

hutniczym, która została sklasyfikowana jako niedostateczna, niezależnie od zawartości dodatku mineralnego. Aby ją poprawić, należałoby wprowadzić do betonu domieszkę napowietrzającą [10].

4. Wnioski

1. Na podstawie badań własnych stwierdzono, że zarówno dodatek popiołu lotnego jak i rodzaj cementu znacząco wpływają na odporność betonu na działanie mrozu. Dodatek popiołu lotnego pogarszał odporność na powierzchniowe łuszczenie betonów, w których spoiwo stanowił cement hutniczy CEM III 32,5NA Rudniki oraz CEM I 42,5R Rudniki. Natomiast, w przypadku betonu z cementem portlandzkim CEM I 32,5 Chełm wprowadzenie popiołu sprzyjało zwiększeniu mrozoodporności. Betony wykonane z cementów portlandzkich cechowała mrozoodporność dobra lub dostateczna. W przypadku betonów z cementem hutniczym wykazano niedostateczną mrozoodporność, niezależnie od zawartości dodatku.
2. Dodatek popiołu lotnego nie ma istotnego wpływu na wartości cech fizycznych betonu takich jak: gęstość właściwa i objętościowa. Jednakże, obecność popiołu może powodować zmiany wilgotności sorpcyjnej.
3. Zastępowanie części cementu popiołem lotnym w betonie korzystnie wpływa na podciąganie kapilarne środków odladzających - zmniejszając jego wartość i tym samym zwiększając trwałość konstrukcji betonowej.

Literatura:

1. Czarnecki L., praca zbiorowa, *Beton według normy PN-EN 206-1-komentarz*, Polski Cement Sp. z.o.o., Kraków 2004.
2. Galos K., Uljasz – Boheńczyk A.: *Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 2005, Tom I, Zeszyt 1.
3. Giergiczny Z.: *Popiół lotny do betonu – proponowane zmiany w nowelizowanej normie PN-EN 450-1*, Budownictwo, Technologie, Architektura, 2010, nr 2, str. 64-66.
4. Giergiczny Z., Synowiec K., Batog M.: *Stosowanie dodatków typu II w składzie betonu wg normy PN-EN 206:2014*, Materiały budowlane, 2015, Nr 10, str. 110 – 111.
5. Gospodarka paliwowo energetyczna w latach 2013 i 2014, GUS, 2015.
6. Jasiczak J., Mikołajczyk P.: *Technologia betonu modyfikowanego domieszkami i dodatkami*, Przegląd tendencji krajowych i zagranicznych, Poznań 1997.
7. Józwiak – Niedźwiedzka D.: *Metody badania mrozoodporności betonu*, II Sympozjum Naukowo – Techniczne. Trwałość betonu, Kraków, 2008.
8. Kalisty M., Małaszkiwicz D.: *Metody badania mrozoodporności betonów. Ocena mrozoodporności betonu z cementem hutniczym*, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 2010, Vol. 1, no. 4, str. 293 – 300.
9. Kosior – Kazberuk M., Gawlicki M.: *Trwałość betonów zawierających popioły lotne ze spalania biomasy drzewnej i węgla kamiennego*, Materiały Ceramiczne/Ceramic Materials, 2010, Tom: 62, Nr: 2, str. 156 – 160.

10. Kosior – Kazberuk M.: *Ocena degradacji betonu konstrukcyjnego poddanego procesom niszczenia mrozowego*, Białystok, 2013.
11. Kosior – Kazberuk M.: *Ocena mrozoodporności betonu zgodnie z wymogami nowej normy europejskiej*, Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo, 2003, Z. 23, str. 103 – 118.
12. Lelusz M.: *Analiza metod określania mrozoodporności betonu*, Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo, 2002, Z. 22, str. 141 – 155.
13. Lorenc U.: *Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczania*, 2005, Mat. Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Sympozja i Konferencje nr 64, wyd. Instytut GSMiE PAN, Kraków, str. 97-112.
14. Massazza F.: *Properties and applications of natural pozzolanas*, Structure and Performance of Cements, London and New York, 2001, Chapter 13.
15. Pietrzak K., Kubissa W., Kubissa J., Banach M.: *O metodach pomiaru sorpcyjności betonu*, Inżynieria i Środowisko, 2012, R. 68, nr 11, str. 596 – 598.
16. Rusin Z.: *Technologia betonów mrozoodpornych*, Polski Cement, Kraków, 2008.
17. Rutkowska G., Małuszyńska I., Rosa M.: *Badania właściwości betonu wyprodukowanego z dodatkiem popiołu lotnego*, Inżynieria Ekologiczna, 2014, nr 36, str. 53-64.
18. Szymański E., *Materiały Budowlane*, tom II, oficyna Wydawnicza WSEiZ, Warszawa, 2012.

19. Tkaczewska E.: *Metody badań aktywności pucolanowej dodatków mineralnych*, Materiały Ceramiczne/Ceramic Materials, 2011, Tom: 63, Nr: 3, str. 536 – 541.
20. Uchwała Rady Ministrów z dn. 10 listopada 2009r. nr 202/2009 w sprawie polityki energetycznej Polski do 2030 roku (nr 202/2009).
21. Uliasz – Boheńczyk A., Mazurkiewicz M., Mokrzycki E.: *Fly ash from energy production – a waste, byproduct and raw material*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management, 2015, Volume 31, Issue 4, str. 139 – 150.
22. Wrońska Z. Gantner E., Wędrychowski W., Nicewicz S.: *Materiały budowlane z technologią betonu. Ćwiczenia laboratoryjne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000.
23. PKN-CEN/TS 12390-9:2007 Testing hardened concrete - Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling.
24. PN-EN 197-1:2012 Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
25. PN-EN 206-1:2014-04 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
26. PN-EN 450-1:2012 Popiół lotny do betonu. Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności.
27. PN-EN 450-2:2006 Popiół lotny do betonu. Część 2. Ocena zgodności.
28. Swedish Standard SS 13 72 44 Concrete testing. Hardened concrete. Frost resistance.

inż. Maciej Chomik¹⁾³⁾, inż. Sylwia Bartnikowska¹⁾,
dr inż. Damian Janczak¹⁾, inż. Jakub Frankowski¹⁾²⁾

¹⁾Instytut Inżynierii Biosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań

²⁾Pracownia Roślin Energetycznych
Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich
ul. Wojska Polskiego 71b, 60-630 Poznań

³⁾m.chomik93@gmail.com

Zagospodarowanie biomasy odpadowej z upraw krzewów owocowych

The development of waste biomass from crops of bush fruits

Słowa klucze: *biomasa odpadowa, biopaliwo stałe, wartość opałowa, krzewy owocowe*

Keywords: *waste biomass, solid biofuel, heating value, bush fruits*

Streszczenie: Polska jest jednym z czołowych producentów owoców w Europie, a zarazem od wielu lat największym producentem czarnych porzeczek i malin na świecie. Średnioroczna produkcja wszystkich owoców jagodowych wynosi około 500 tys. ton. Dodatkowo z roku na rok zwiększa się powierzchnia uprawy krzewów owocowych i stanowi już ponad 30% obszaru objętego uprawami sadowniczymi. Uzyskanie znacznych plonów wysokiej, jakości wymaga jednak przeprowadzenia na plantacjach szeregu zabiegów pielęgnacyjnych w określonym czasie. Zalicza się do nich między innymi coroczne usuwanie zbędnych, chorych i uszkodzonych pędów. Wykonuje się je najczęściej w okresie zimowym, podczas spoczynku roślin. W artykule przedstawiono wyniki badań prezentujących przydatność zdrewniałej biomasy odpadowej z plantacji malin (*Rubus idaeus* L.), porzeczek (*Ribes* L.) białych, czerwonych i czarnych, agrestu (*Ribes uva-crispa* L.), aronii (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott), borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum* L.), często nazywanej borówką amerykańską oraz kolcowoju chińskiego (*Lycium chinense* Mill.) czyli tzw. jagody goji, do wykorzystania w celach energetycznych. Doświadczalnie określono ich ciepło spalania, wartość opałową, a także zawartość suchej masy i suchej masy organicznej. Na podstawie otrzymanych rezultatów stwierdzono, iż biomasa odpadowa z upraw krzewów owocowych może stanowić

wartościowy kosubstrat do produkcji biopaliw stałych lub być bezpośrednio wykorzystana w formie zrębków. Jej energetyczne zagospodarowanie umożliwi plantatorom efektywne wykorzystanie potencjału wytwarzanych w gospodarstwie bioodpadów.

1. Wstęp

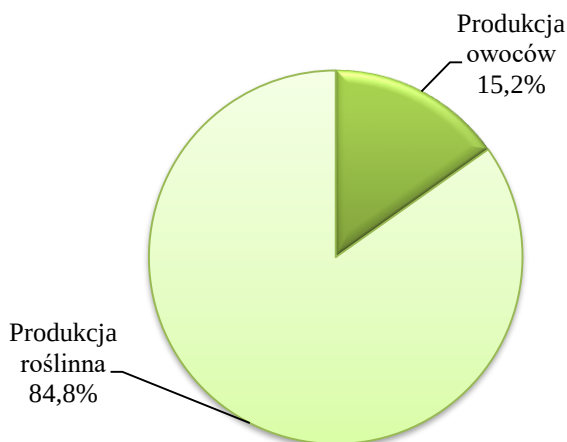
W związku z wchodzącym zaostreniem prawa obejmującego ochronę środowiska, a także wzrostem cen wywozu i składowania odpadów poszukuje się alternatywnych rozwiązań dążących do ich zagospodarowania. Dla dużych zakładów oraz gospodarstw produkujących znaczną ilość resztek powstałych z zabiegów pielęgnacyjnych roślin owocowych pozwoliłoby to na uniknięcie kar oraz obniżenie dodatkowych kosztów związanych z zagospodarowaniem biomasy odpadowej.

1.1. Polski rynek owoców

Uprawa owoców od lat jest ważnym działem rolnictwa w Polsce. Wejście kraju do Unii Europejskiej pozwoliło sadownikom na większą ekspansję handlową swoich produktów. Najwięcej eksportujemy jabłek. Kolejne miejsca zajmują odpowiednio: gruszki, maliny, truskawki, wiśnie i czereśnie [1].

Odpowiednio zagospodarowane pieniądze ze środków unijnych, głównie na rozwój zaplecza produkcyjnego i przechowywanie, przyczyniło się do znacznej konkurencyjności polskich owoców w Europie.

Produkcja owoców jest istotną gałęzią polskiej produkcji rolniczej. Jako kraj, jesteśmy w czołówce największych producentów warzyw i owoców w Unii Europejskiej, znajdujemy się za Włochami, Hiszpanią i Francją, a przed Grecją i Niemcami. Rysunek 1 obrazuje udział owoców w porównaniu do produkcji roślinnej.



Rysunek 1. Udział owoców w wartości towarowej produkcji roślinnej

Źródło: [2]

W 2014 roku owoce i warzywa uprawiano na powierzchni ok. 570 000 ha. Ogólne zbiory owoców z drzew wynosiły ponad 3 mln ton i były o około 3% wyższe niż w roku 2013 [1]. Tabela 1 zawiera zestawienie zbiorów owoców w 2014 roku.

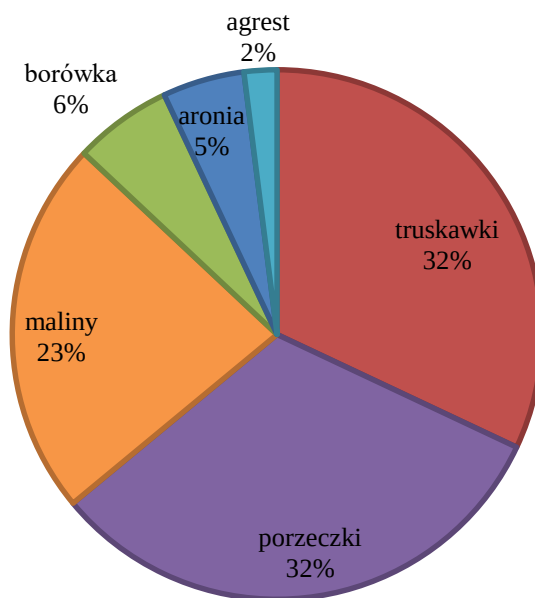
Tabela 1. Zbiór owoców w 2014 roku

Wyszczególnienie	Zbiory			
	Owoce z drzew		Owoce z krzewów owocowych	
	[dt]	2013 = 100	[dt]	2013 = 100
Ogółem	36 200 000	102,8	5 700 000	93,7
W gospodarstwach indywidualnych	35 800 000	102,7	5 600 000	93,4

Źródło: [1]

Polska posiada znaczny potencjał w produkcji owoców jagodowych. Obecnie ich uprawą zajmuje się około 200 tys. gospodarstw, głównie o małej powierzchni do kilku hektarów. Jest to rynek urozmaicony, gdzie największy areał upraw zajmują truskawki i porzeczki (rys.2).

Rysunek 2. Struktura upraw owoców jagodowych w Polsce



Źródło: [2]

Polska od kilku lat jest jednym z czołowych producentów owoców porzeczki czarnej i maliny, dodatkowo eksportujemy znaczną ilość truskawek i borówki wysokiej. Średnioroczna produkcja wszystkich owoców jagodowych wynosi ponad 500 tys. ton, a powierzchnia plantacji około 125 tys. hektarów stanowiących 30% upraw sadowniczych.

Tabela 2. Powierzchnia, plony i zbiory owoców z krzewów owocowych w Polsce

Wyszczególnienie	Powierzchnia	Plony	Zbiory
	[ha]	[dt/ha]	[dt]
Truskawki	52 673	38,4	2 025 105
Maliny	28 272	44,5	1 258 593
Porzeczki	45 932	35,8	1 625 620
Agrest	2 373	52,5	124 476
Pozostałe	17 000	38,5	653 843

Źródło: [1]

Jednym z ważniejszych zabiegów przeprowadzanych na roślinach jest ich pielęgnacja w okresie spoczynku, przypadająca na luty oraz marzec. Systematyczne cięcie krzewów i drzew owocowych pobudza je do lepszego owocowania. Dzięki podcięciu gałązek i pędów, do wnętrza korony dociera więcej światła, co powoduje lepsze owocowanie krzewu. Obcinanie gałęzi powoduje powstawanie dużej ilości zrębków, które trzeba zagospodarować. W artykule przedstawiono wyniki badań prezentujących przydatność zdrewniałej biomasy odpadowej z krzewów owocowych do wykorzystania w celach energetycznych.

2. Cel i zakres badań

Celem niniejszych badań było przeanalizowanie najważniejszych parametrów fizyko-chemicznych, zbadanie ciepła spalania oraz obliczenie wartości opałowej zrębków krzewów owocowych powstających na plantacjach. Materiał przebadano pod kątem jego ponownego wykorzystania, jako potencjalny substrat oraz kosubstrat do produkcji biopaliwa stałego. Analiza potencjału energetycznego zdrewniałej biomasy odpadowej pozwoliła na określenie możliwości obniżenia kosztów związanych z jej zagospodarowaniem.

3. Charakterystyka badanych krzewów owocowych

3.1. Malina

Polska jest ważnym producentem owoców jagodowych, do których zalicza się również maliny. Malina (*Rubus idaeus* L.), jest głównym i najstarszym gatunkiem sadowniczym. Pod względem produkcji owoców jagodowych, jako kraj zajmujemy jedno z czołowych miejsc na świecie. Wysoką pozycję w produkcji malin osiągnęliśmy dzięki wprowadzeniu do uprawy nowych odmian, dostosowanych do warunków klimatyczno-glebowych panujących w Polsce. Takimi krzewami są głównie gatunki jesienne; powtarzające owocowanie oraz dające stabilne plony. W 2013 roku, wyniosły one około 575 tys. ton i były o 3,2% wyższe niż w roku poprzednim. Łączna produkcja malin wynosiła 120 tys. ton. Były one uprawiane na powierzchni 28 tys. ha, a średnia wielkość plantacji waha się pomiędzy 0,4 a 10 ha [3].

Pomimo tak wielkich plonów, uprawa malin w Polsce obarczona jest dużym ryzykiem. Wynika to głównie ze zmienności cen skupu

owoców, jak również wzrostu nakładów niezbędnych przy produkcji owoców [15]. Znaczący jest tutaj udział kosztów zbioru ręcznego owoców, który według Hołownickiego [5], stanowi nakład około 85% robocizny. Zaobserwowano również wzrost kosztów pracy przy ręcznym zbiorze owoców w porównaniu do lat poprzednich. Dodatkowo proces zbioru malin charakteryzuje się niskim stopniem zmechanizowania prac wynoszącym około 10% [11].

Malina to krzew owocowy, który jest trudny w uprawie. Obecnie na świecie uprawia się około tysiąc jego odmian. Roślinę dzielimy na dwie grupy, owocujące podczas lata, na pędach dwuletnich oraz takie, które owocują podczas jesieni, na pędach jednorocznych [3]. Maliny najlepiej owocują na glebach żyznych, dostatecznie wilgotnych, zasobnych w próchnicę. Roślina ta wykazuje dużą wrażliwość na czynniki atmosferyczne, chorobotwórcze oraz glebowe. Posiada płytki system korzeniowy, który sprawia, że jest bardzo podatna na suszę; przez co nawet krótkotrwały okres bez opadów atmosferycznych, wpływa niekorzystnie na wzrost i owocowanie krzewów. Najlepszym miejscem do uprawy malin są łagodne zbocza oraz tereny równinne.

3.2. Porzeczka

W Polsce uprawa czarnej porzeczki cieszy się popularnością wśród plantatorów. Z roku na rok powierzchnia uprawy oraz produkcja tych owoców wzrasta, co sprawia, że nasz kraj jest potentatem w jej produkcji, nie tylko w Europie, ale również na całym świecie.

Polska zajmuje drugie miejsce, tuż za Rosją, w ilości produkowanych porzeczek. Zbiory w naszym kraju stanowią 30% zbiorów światowych i 70% zbiorów w Unii Europejskiej. Aktualnie produkuje

się około 190-200 tys. ton porzeczek na obszarze 47 tys. ha. Około 77% porzeczek na rynku stanowi odmiana czarna, druga w kolejności jest odmiana czerwona – około 20% [2]. Na opłacalność produkcji owoców z czarnej porzeczki wpływa przede wszystkim cena skupu i wysokość plonu. Wpływ mają również nakłady pieniężne przeznaczone na prowadzenie plantacji.

Porzeczka (*Ribes*) występuje na obszarach o klimacie umiarkowanym, głównie w Europie, górach Atlas w Afryce, w Azji (oprócz jej części tropikalnej), Ameryce Północnej, gdzie znajduje się około 150 różnych gatunków, popularnie nazywanych, jako porzeczki i agresty. Część odmian rośnie na terenach słabo zbadanych i trudno dostępnych, dlatego wciąż są opisywane nowe gatunki [12].

3.3. Kolcowój chiński

Kolcowój chiński, potocznie nazywany jest jagodą goji. To roślina z rodziny psiankowatych, do których należą również pomidory, ziemniaki, oraz papryka. Jest to płożący się krzew, dorastający do około trzech metrów. Ojczyzną tej rośliny są Chiny, gdzie posiada największe zainteresowanie, głównie dzięki walorom dekoracyjnym.

Kolcowój może rosnąć na mniej żyznych glebach, posiada znikome wymagania glebowe, stosuje się go do podniesienia poziomu materii organicznej w glebie [7]. Roślinę należy sadzić w miejscach słonecznych, na glebach żyznych, przewiewnych oraz bogatych w związki azotowe. W mniej oświetlonych miejscach, na ubogiej glebie krzew również wyrośnie, jednak będzie on owocował słabiej [6]. Dobrze znosi okres suszy jak i niskie temperatury.

Kolcowój chiński uprawia się głównie dla owoców, czyli jagód goji. Są one stosowane w medycynie naturalnej krajów azjatyckich, w chorobach serca, wątroby, płuc oraz reumatyzmie. Długotrwałe stosowanie owoców goji wpływa pozytywnie na system odpornościowy oraz poprawia stan kości i stawów, a także wzroku oraz opóźnia proces starzenia człowieka [8]. Jagody goji to bardzo dobre źródło białka, ponadto zawiera tłuszcze i węglowodany. Za najcenniejszy składnik uważa się bioaktywny związek LBP (*Lycium Barbarum polysaccharides*). Badania przeprowadzone na tych owocach wskazują, że powyższy związek wpływa na działania stymulujące układ odpornościowy, a przede wszystkim ma on właściwości przeciwnowotworowe [6].

3.4. Aronia

Polska jest największym producentem aronii na świecie. Posiadamy aż 90% udziału w światowych zbiorach tych owoców. W ostatnich latach znacznie wzrosła ich produkcja, z 38 tys. ton do 58 tys. ton, a plantacje obejmują około 8 tys. ha [2]. Ich popularność związana jest z rosnącym zapotrzebowaniem i popytem na przetwory z tych owoców – głównie soki. Posiadają one bardzo dużą ilość zawartością witamin oraz składników mineralnych.

Aronia pochodzi z Ameryki Północnej, jest krzewem, który szybko rośnie i osiąga wysokość od 2 do 3 m. W Polsce uprawia się głównie odmiany przemysłowe, krzaczaste, o dużych owocach. Ich zaletą jest brak specjalnych wymagań glebowych. Posiadają one wysoką tolerancję na choroby oraz przymrozki. Kwitną po okresie wiosennych przymrozków. W zakresie ochrony przed szkodnikami, nie wymagają żadnej ochrony, ponieważ nie posiadają naturalnych szkodników, a co za tym idzie, owoce

nie zawierają pestycydów. W Polsce aronia uprawiana jest na dużych plantacjach, gdzie zbierana jest kombajnami [4].

3.5. Agrest

Polska jest trzecim największym producentem agrestu na świecie, zaraz po Niemczech i Rosji. Nasz udział w światowej produkcji tego owocu wynosi 10%. Rynek produkcyjny jest stabilny i wynosi około 20 tys. ton, a powierzchnia jaką zajmują plantacje wynosi 3 tys. ha [2]. Agrest cechuje się wysoką wartością produkcyjną, wysokimi i regularnymi plonami, a także odpornością na groźne choroby i szkodniki. Jest to roślina niezawodna w plonowaniu, która jest łatwa w uprawie. Dobrze rośnie na glebach żyznych, posiadających odpowiednią wilgotność, o lekko kwaśnym odczynie.

3.6. Borówka wysoka

Borówka jest rośliną pochodzącą z Ameryki Północnej, występuje głównie na półkuli północnej. Do rodziny (*Vaccinium* L.) należy około 450 różnych gatunków. Najpopularniejszym z nich jest borówka wysoka, potocznie zwana amerykańską.

Owoce borówki wysokiej są bogate w składniki mineralne, jak i związki bioorganiczne. Posiadają dużą wartość smakową, dietetyczną oraz przetwórczą. Rosnący popyt na owoce, zarówno w formie bezpośredniej, jak i przetworzonej, powoduje coraz większe zainteresowanie jej uprawą wśród rolników [14]. Owoce są cenione nie tylko za smak, ale również za wysokie wartości odżywcze i zdrowotne.

Borówka wymaga gleb o wysokiej zawartości masy organicznej, o odczynie kwaśnym, łatwo przepuszczalnej, które są dobrze zaopatrzone

w wodę. W okresie wegetacji krzewy borówki podatne są na brak wody. [13]. Warunki klimatyczne Polski są idealne do założenia plantacji borówki (poza rejonami północno-wschodnimi). Uprawia się je głównie w okolicach Białegostoku. Krzewy wymagają dużego nasłonecznienia, dlatego nie należy zakładać plantacji w kotlinach i zagłębieniach terenu. Najlepszym obszarem są rejon płaskie lub lekkie wzniesienia. Borówka bardzo dobrze znosi ujemne temperatury, zniszczone przez mrozy rośliny szybko regenerują się.

Polska jest największym producentem owoców borówki wysokiej w Unii Europejskiej. Posiadamy aż 23% udziałów w zbiorach. W skali światowej nasz kraj zajmuje trzecie miejsce, większą ilość tych owoców produkują tylko Stany Zjednoczone i Kanada. W latach 2004-2013 areał, na którym uprawia się borówkę wzrósł w Polsce z 1 tys. ha do 7 tys. ha. Analogicznie, wzrósł również zbiór tych owoców z 4 tys. ton do 13 tys. ton [2].

4. Teren i metodyka badań

Badaniom poddawana była biomasa odpadowa z plantacji malin (*Rubus idaeus* L.), porzeczek (*Ribes* L.) białych, czerwonych i czarnych, agrestu (*Ribes uva-crispa* L.), aronii (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott), borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum* L.) oraz Kolcowój chiński (*Lycium chinense* Mill.) czyli tzw. jagody goji. Na samym początku zrębki zostały dokładnie rozdrobnione i wysuszone, co przedstawiono na rysunku 3 i 4.



Rysunek 3. Zrębki krzewów owocowych

Źródło: Opracowanie własne

W celu określenia przydatności krzewów owocowych, jako źródło ciepła oznaczono podstawowe parametry- suchą masę metodą wagową, zgodnie z normą PN-75/C-04616.01 oraz zawartość suchej masy organicznej według normy PN-Z-15011-3. Badania zostały przeprowadzone w Laboratorium Ekotechnologii Instytutu Inżynierii Biosystemów na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu.



Rysunek 4. Zrębki krzewów owocowych

Źródło: Opracowanie własne

Do obliczenia zawartości suchej masy w zrębkach posłużono się wzorem:

$$s. m. [\%] = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

gdzie:

m_0 - świeża masa substratu [g],

m_1 - masa naczynka [g],

m_2 - masa wysuszonego substratu + masa naczynka [g].

Pierwszym krokiem obliczenia zawartości suchej masy jest umieszczenie pustych naczyń wagowych w suszarni nagrzanej do 105°C. Po upływie 30 minut naczynka wyjęto i przeniesiono do eksykatora w celu ostudzenia do temperatury laboratoryjnej a następnie je zważono. Kolejnym etapem było pobranie reprezentatywnych próbek

z każdego rodzaju rozdrobnionego substratu. Naczynko z badanym materiałem umieszczono ponownie w suszarce w temperaturze 105°C na okres 24 godzin. Dla każdego rodzaju zrębek wykonano trzy powtórzenia, a zawartość suchej masy wyliczono w arkuszu kalkulacyjnym Microsoft Excel korzystając ze wzoru (1).

Próbki do oznaczenia suchej masy organicznej przygotowane zostały w taki sam sposób jak przy obliczaniu suchej masy. Następnie naczynka z materiałem umieszczono w spalarce w temperaturze 550°C na czas trzech godzin. Obliczenia dokonano zgodnie wzorem (2):

$$s. m. o. [\%] = \frac{m_c - (m_b - m_a)}{m_c} \times 100\% \quad (2)$$

gdzie:

m_a - masa naczynka [g],

m_b - masa substratu po spaleniu + masa naczynka [g],

m_c - masa wysuszonego substratu [g].

Następnym krokiem podczas badania przydatności zrębków krzewów owocowych, jako biomasę stałą było zmierzenie ciepła spalania metodą kalorymetryczną zgodnie z normą PN-81/G-04513 oraz obliczono wartość opałową substratu. Pierwszym krokiem było rozdrobnienie materiału i przygotowania pastylek badanych zrębków o masie około 1 grama. Do pomiaru posłużono się kalorymetrem KL-12Mn, badania przeprowadzono w Instytucie Chemicznej Obróbki Drewna. Urządzenie składa się z kalorymetru właściwego (naczynie wypełnione wodą wraz z bombą kalorymetryczną) oraz z płaszcza o stałej temperaturze. W wyniku zachodzących reakcji chemicznych temperatura w układzie zmienia się. Badane próbki drewna zostały spalane całkowicie pod ciśnieniem 3 barów w bombie kalorymetrycznej, która była zanurzona w wodzie o pojemności 2,7 dm³ w naczyniu kalorymetrycznym oraz

na wyznaczeniu przyrostu temperatury wody. Pojemność cieplna kalorymetru wynosiła 13 122 J/g.

Pomiar był stale monitorowany i dla każdego rodzaju drzewa owocowego wykonano minimum trzy powtórzenia, a następnie obliczono średnia arytmetyczną dla każdej próbki. Wynik został wyrażony w kJ/kg. Przy obliczaniu Ciepła spalania Q_s w stanie analitycznym skorzystano ze wzoru (3):

$$Q_s^a \left[\frac{J}{g} \right] = \frac{C \times (D_t - k) - c}{m} \quad (3)$$

gdzie:

C - pojemność cieplna kalorymetru [J/g],

D_t - ogólny przyrost temperatury okresu głównego [K],

K - poprawka na wymianę ciepła kalorymetru z otoczeniem [K],

c - poprawka na ciepło wydzielane podczas spalania drutu [J].

m - masa próbki paliwa stałego [g].

Następnie obliczono wartość opałową Q_w w stanie analitycznym, korzystając z następującego równania:

$$Q_w^a \left[\frac{J}{g} \right] = Q_s^a - 24,42 \times (W^a + 8,94 \times H_a) \quad (4)$$

gdzie:

Q_s - ciepło spalania badanej próbki paliwa w stanie analitycznym [J/g],

W^a - zawartość wilgoci w badanej próbce [%],

H_a - zawartość wodoru w badanej próbce [%].

5. Wyniki badań i dyskusja

W tabeli 3 zestawiono wartości wagowe świeżych zrębków oraz wagę samych naczyń, w których znajdowała się biomasa.

Tabela 3. Waga próbek oraz naczynek

Rodzaj krzewu owocowego	Masa świeżej biomasy [g]			Masa naczynek [g]		
	Próbka			Próbka		
	I	II	III	I	II	III
Porzeczki	19,15	20,45	19,4	4,8	4,8	5,15
Aronia	19,35	21,2	19,55	4,95	4,8	4,8
Maliny	19,3	19,2	21,3	4,85	4,8	4,8
Kolcowój chiński tzw. jagoda goji	20,85	20,3	21	5,1	5,2	5,25
Agrest	19,3	20,1	19,45	4,8	4,85	4,8
Borówka wysoka	19,2	19,3	19,6	4,95	5,1	4,8

Źródło: Opracowanie własne

Masa naczynek, jak i pobranych reprezentatywnych prób nie różniła się znacząco pomiędzy powtórzeniami. Po zważeniu zrębków przystąpiono do badania suchej masy oraz suchej masy organicznej. Wyniki przedstawiono w tabeli 4:

Tabela 4. Zawartość suchej masy i suchej masy organicznej

Rodzaj krzewu owocowego	Sucha masa [%ś.m.]				Sucha masa organiczna [%s.m.]			
	Próba			Średnia	Próba			Średnia
	I	II	III		I	II	III	
Porzeczki	52,1	50	49,95	50,6	97,96	98,8	99,1	98,65
Aronia	59,8	61,3	55,6	59	98,6	99	99,4	99
Maliny	70,1	58,1	62,96	63,75	98,04	98,43	98,73	98,4
Kolcowój chiński	53,7	59,2	60	57,6	96,87	96,69	96,97	96,84
Agrest	48,7	46,2	48,84	47,94	94,37	94,7	95,1	94,72
Borówka wysoka	47,65	46,63	45,9	46,74	94,3	92,2	89,5	92,01

Źródło: Opracowanie własne

Masa substratu, która pozostała po usunięciu z niej wody i substancji lotnych, czyli sucha masa, była zróżnicowana. Najmniejsze wartości, około 50%, uzyskano z krzewów porzeczki, agrestu i borówki wysokiej. Większą zawartość, około 60% suchej masy, uzyskano ze zrębków z jagód goji oraz aronii. Najwyższą wartość, powyżej 60%, charakteryzowały się zrębki malin (tab.4).



Rysunek 5. Popiół po krzewach owocowych

Źródło: Opracowanie własne

Zawartość suchej masy organicznej, czyli ilości materii organicznej, która została spalona do postaci CO_2 oraz H_2O pod wpływem temperatury 550°C , kształtowała się na bardzo wysokim poziomie i wynosiła ponad 95% dla jagody goji i porzeczki. Wyższe wartości osiągały maliny, porzeczki oraz aronia, które posiadają aż 99% suchej masy organicznej. Analogicznie, co do zawartości suchej masy, zawartość

związków organicznych była najmniejsza dla borówki wysokiej oraz agrestu i wyniosła poniżej 95% (tab.4).

Wartość energetyczna to najważniejszy parametr termofizyczny opisujący biomasę. Określa ona potencjał substratu do produkcji biopaliw stałych. Wartość opałowa to ilość ciepła wydzielanego podczas całkowitego spalania paliwa w atmosferze tlenu i pomiar przyrostu temperatury wody w naczyniu kolorymetrycznym, przy założeniu, że końcowymi produktami takiej przemiany są tlen, dwutlenek węgla, azot, dwutlenek siarki, woda w stanie gazowym oraz popiół [10].

Tabela 5. Wartość opałowa badanych krzewów owocowych

Nazwa substratu	Wartość opałowa [kJ·kg ⁻¹]
Kolcowój chiński (jagoda goji)	15 230
Maliny	16 940
Porzeczki	17 980
Agrest	17 800
Aronia	18 490
Borówka wysoka (amerykańska)	16 570

Źródło: Opracowanie własne

Wartość opałowa dla malin jak i porzeczek to średnia z mieszanek różnych odmian. Dla porzeczek jest to jeden wynik dla roślin dających czerwone, białe i czarne owoce. Pędy aronii i porzeczki posiadają najwyższą wartość opałową spośród badanych krzewów owocowych. Jest to spowodowane tym, że do prób wykorzystano grube, kilkuletnie pędy, które były dobrze zdrewniałe. Pobranie takich próbek wynika z faktu, iż w uprawie tego typu krzewów z roślin wycina się co roku przede wszystkim najstarsze pędy, nawet 5 letnie, gdyż z wiekiem owocują one coraz słabiej.

Dla porównania przedstawiono tabele z wartościami opałowymi najważniejszych nośników energii aktualnie wykorzystywanych do produkcji energii:

Tabela 6. Wartości opałowe poszczególnych nośników energii

Rodzaj paliwa	Wartość opałowa [kJ·kg⁻¹]
Węgiel kamienny	21 300
Węgiel brunatny	8 650
Brykiety z węgla kamiennego i brunatnego	21 720
Drewno opałowe	15 600
Odpady komunalne - niebiogeniczne	10 000
Gaz ziemny	48 000
Biogaz	50 400
Pellet	17 500

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9]

Krzewy owocowe posiadają wyższą wartość opałową niż często stosowane drewno opałowe (tab. 5 i 6). Zrębki aronii i porzeczki posiadają wartość zbliżoną do węgla kamiennego oraz brykietów z węgla kamiennego i brunatnego. Dodatkowo wartości energetyczne biomasy z drzew owocowych charakteryzują się wyższą wartością niż słonecznik bulwiasty i rdestowiec ostrokończysty, które posiadają wartość odpowiednio 15 540 kJ/kg i 15 890 kJ/kg. Rośliny te również były badane w Pracowni Ekotechnologii Instytutu Inżynierii Biosystemów na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu.

Dzięki wysokiej wartości opałowej przebadanych substratów, oraz porównaniu do aktualnie używanych paliw, można stwierdzić, iż są one wartościowymi substratami do konwersji zawartej w nich energii.

6. Wnioski

1. Pędy usuwane podczas pielęgnacji krzewów owocowych to materiał mogący zostać wtórnie zagospodarowany na cele energetyczne.
2. Zdrewniała biomasa odpadowa z krzewów owocowych może służyć, jako kosubstrat do produkcji biopaliw stałych lub też być bezpośrednio wykorzystana w formie zrębków.
3. Najwyższą wartość opałową uzyskano ze zrębków aronii i porzeczek. Wynosiła ona odpowiednio $18\,490\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $17\,980\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ pozostałe badane rośliny posiadały zbliżoną, niższą wartość opałową.
4. Wtórne zagospodarowanie biomasy z krzewów owocowych pozwala na wykorzystanie ich potencjału energetycznego. Ich użycie, a nie składowanie, ma pozytywny wpływ na ochronę środowiska.

Literatura:

1. Agencja Restrukturyzacji Rolnictwa, *Biuletyn Informacyjny: Rynek owoców i warzyw*, 2015, Nr 3, Warszawa
2. Agencja Restrukturyzacji Rolnictwa, *Rynek owoców w Polsce*, 2014, [dostęp 22.02.106r.].
3. Baranowska A. i Zarzecka K., *Oplacalność uprawy malin*, zeszyt naukowy Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, nr 104, 2014.
4. Białek M., Rutkowska J., Hallmann E., *Aronia czarnoowocowa (Aronia Melanocarpa) jako potencjalny składnik żywności funkcjonalnej*, ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość., Zeszyt 6, 2012.
5. Hołownicki R., *Miejsce agroinżynierii w rozwoju produkcji Ogrodniczej w Polsce*, Inżyniera Rolnicza (11), Kraków, 2006.

6. <http://budujesz.info/arttykul/kolcowoj-krzew-goji-uprawa-i-jagody,542.html> [dostęp: 23.02.2016r.].
7. <http://permakultura.net/2014/08/17/jagoda-goji-kolcowoj-pospolity-i-kolcowoj-chinski/> [dostęp: 23.02.2016r.].
8. http://www.poradnikzdrowie.pl/zdrowie/medycyna-niekonwencjonalna/jagody-goji-dzialanie-i-wlasciwosci-odzywcze_37004.html [dostęp 23.02.2016r.].
9. https://www.mos.gov.pl/g2/big/2009_04/b46054626c838344c3c67a0349ad7268.pdf [dostęp: 24.02.2016r.].
10. Korlicki T., *Oznaczanie ciepła spalania węgla za pomocą kalorymetru. Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego*, Łódź, 2007.
11. Kowalczyk Z., *Poziom i struktura nakładów pracy w wybranych gospodarstwach sadowniczych*, Inżynieria Rolnicza (11), Kraków, 2006.
12. Kulpiński K., *Edwarda Janczewskiego kolekcja porzeczek w Ogrodzie Botanicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie*, rocznik polskiego towarzystwa dendrologicznego vol. 57, Kraków, 2009.
13. Rusnak J., *Uprawa borówki amerykańskiej*, Małopolski Ośrodek Doradztwa Rolniczego, Karnowice, 2012.
14. Smolarz K. *Wzrost i plonowanie kilku odmian borówki wysokiej. Uprawa borówki i Żurawiny*, Skierniewice, 1999.
15. Zmarlicki K., *Zmienność cen skupu owoców jagodowych w Polsce barierą dla ekonomicznie efektywnej produkcji*, Mat. Konf. AR, Lublin, 199.

mgr inż. Katarzyna Kalemba¹⁾, prof. dr hab. inż. Krzysztof Barbusiński
Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Instytut Inżynierii Wody i Ścieków
ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice
¹⁾katarzyna.kalemba@polsl.pl

Współfermentacja jako metoda intensyfikacji produkcji biogazu

Co-digestion as a method of intensification the production of biogas

Słowa kluczowe: *współfermentacja, kosubstrat, biogaz*

Keywords: *co-digestion, co-substrate, biogas*

Streszczenie: Celem badań było określenie wpływu współfermentacji na efektywność produkcji biogazu. W tym celu poddano fermentacji osady pochodzące z komunalnej oczyszczalni ścieków z odpadem po produkcji biopaliw z olejów roślinnych. Współfermentację prowadzono w warunkach mezofilowych przez 28 dób w warunkach statycznych. Reaktory połączone były z zestawem do odbioru biogazu. Odczytu biogazu dokonywano codziennie. W celu określenia zawartości metanu w biogazie dwa razy w tygodniu dokonywano pomiaru składu biogazu. Kolejne próby zawierały 2, 3, 5, 10% odpadu. Próbie odniesienia stanowił osad bez dodatku kosubstratu. W wyniku badań zauważono, że proces współfermentacji intensyfikuje produkcję biogazu. Największą produkcję biogazu odnotowane w próbie z 10% udziałem odpadu. W stosunku do próby odniesienia ilość biogazu wzrosła o 16,7%. W tej samej próbie odnotowano również najwyższą jednostkową produkcję biogazu. W wyniku pomiarów składu biogazu zanotowano wzrost udziału metanu w biogazie w mieszaninach z odpadem. W celu sprawdzenia stabilności procesu oznaczono lotne kwasy tłuszczowe oraz zasadowość w każdej z prób. Stwierdzono, że dodatek kosubstratu nie wpłynął na stabilność procesu fermentacji.

1. Wstęp

Ilość wytwarzanych osadów ściekowych zależy od równoważnej liczby mieszkańców (RLM) obsługiwanych przez oczyszczalnię ścieków oraz zastosowanej technologii przeróbki osadów. Prognozy Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) zakładają, że do 2018 r. masa wyprodukowanych komunalnych osadów ściekowych może osiągnąć 726 tys. Mg s.m. [1]. Nieustanny wzrost ilości osadów ściekowych związany jest z modernizacją oczyszczalni ścieków w celu przystosowania ich do wysokosprawnych technologii nastawionych na usuwanie związków biogenych. Drugim istotnym czynnikiem wpływającym na wzrosty produkowanych osadów jest rozbudowa sieci kanalizacyjnej, co związane jest ze zwiększonym dopływem ścieków do oczyszczalni ścieków [2]. Szczególna uwaga powinna, zatem zostać zwrócona na przeróbkę oraz unieszkodliwianie osadów ściekowych [3].

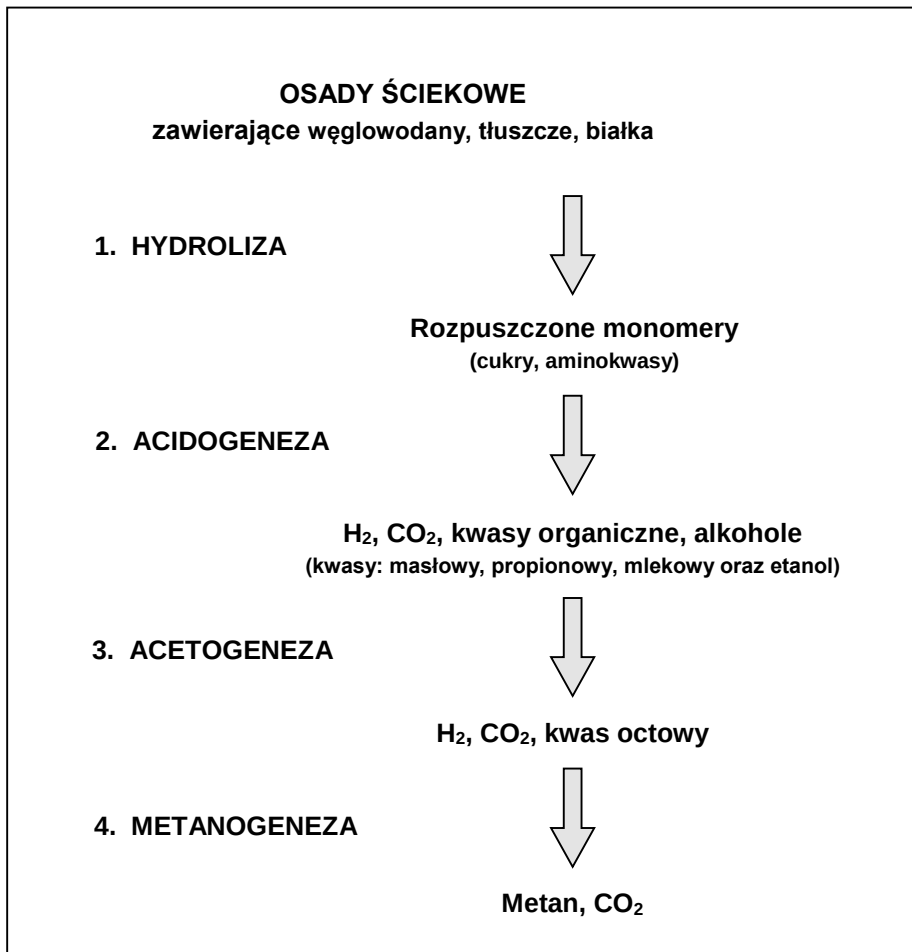
Większość osadów ściekowych posiada podobną charakterystykę: ma duże zdolności do zagniwania, posiada wysoki stopień uwodnienia, co wpływa na ich znaczną objętość oraz odznacza się dużą lepkością. Osady zawierają również bakterie chorobotwórcze, pasożyty oraz wirusy. Ze względu na zawartość łatwo rozkładalnych substancji organicznych osady ściekowe wydzielają przykre zapachy. W związku z tym osady należy poddać odpowiednim procesom unieszkodliwiania. W tym celu stosuje się stabilizację osadów (co zmniejsza podatność na zagniwanie), odwadnianie i ewentualnie suszenie w celu zmniejszenia objętości i masy oraz higienizację dla zabicia organizmów chorobotwórczych [4].

Stabilizacja osadów obejmuje procesy biologiczne (fermentacja metanowa, stabilizacja tlenowa, kompostowanie), chemiczne (wapnowanie) oraz termiczne (mokre spalanie, piroliza, spalanie).

Do stabilizacji osadów najczęściej stosuje się fermentację metanową oraz stabilizację tlenową. Dla dużych oraz średnich oczyszczalni bardziej ekonomiczna jest fermentacja osadów, natomiast w małych oczyszczalniach stosuje się stabilizację tlenową. Ze względu na produkcję biogazu towarzyszącą fermentacji metanowej ten rodzaj stabilizacji osadów jest bardziej interesujący z ekonomicznego oraz ekologicznego punktu widzenia [5].

Fermentacja metanowa polega na biochemicznym rozkładzie złożonych wielkocząsteczkowych związków organicznych [6]. Proces zachodzi w warunkach beztlenowych z udziałem różnych grup bakterii. W pierwszym etapie dochodzi do hydrolizy organicznych, wysokocząsteczkowych substancji do związków prostszych przy udziale enzymów bakterii hydrolitycznych. Na tym etapie białka ulegają hydrolizie do aminokwasów, tłuszcze do gliceryny i kwasów tłuszczowych a polisacharydy do cukrów prostych. W fazie kwasogennej bakterie octanowe rozkładają substancje zhydrolizowane do kwasów organicznych, alkoholi, aldehydów, H_2 oraz CO_2 . W fazie tej wyraźnie obniża się odczyn. Ze względu na warunki środowiskowe panujące podczas stabilizacji beztlenowej dzieli się ją na dwie fazy: kwaśną oraz metanową. W zakres fazy kwaśnej wchodzi hydroliza oraz faza acidogenna, natomiast do fazy metanowej zalicza się fazę octanogenną oraz metanową. W fazie octanogennej kwasy organiczne, alkohole i aldehydy są przemieniane w kwas octowy. Bakterie octanowe przetwarzają produkty fazy kwaśnej w substancje, które mogą być wykorzystane przez bakterie metanowe. Podczas rozkładu kwasów organicznych i alkoholi powstaje H_2 . Ponieważ bakterie octanowe mogą żyć tylko przy niewielkiej jego ilości wymagają symbiozy z bakteriami metanowymi, które go zużywają. W ostatniej fazie

bakterie metanowe przekształcają kwas octowy, wodór i dwutlenek węgla w metan. Na tym etapie zmniejsza się ilość substancji organicznych. Uproszczony schemat procesu fermentacji przedstawiono na rysunku 1 [7].



Rysunek 1. Schemat beztlenowego rozkładu związków organicznych

Źródło: [7]

Podstawową korzyścią wynikającą z fermentacji metanowej, oprócz stabilizacji osadu, jest powstawanie gazu fermentacyjnego (biogazu), który stanowi źródło energii odnawialnej. Biogaz powstający w wyniku fermentacji osadów jest wykorzystywany do pokrywania zapotrzebowania oczyszczalni ścieków na energię elektryczną oraz ciepło

[8]. Do wad procesu fermentacji zalicza się niewielką szybkość degradacji związków organicznych zawartych w osadzie. Rozwiązaniem prowadzącym do zwiększenia podatności osadów na biodegradację w warunkach anaerobowych oraz intensyfikacji produkcji biogazu jest poddanie osadów dezintegracji. Inne sposoby intensyfikacji generowania biogazu to kofermentacja oraz modyfikacja w budowie komór fermentacyjnych [9].

1.1. Metody intensyfikacji produkcji biogazu

Jedną z metod intensyfikacji produkcji biogazu jest wspólna fermentacja osadów ściekowych z jednym lub kilkoma substratami organicznymi [10]. Wybór kosubstratu zależy od dostępności na lokalnym rynku, składu oraz konieczności unieszkodliwiania odpadu. Ze względu na wydajność produkcji biogazu oraz stabilność procesu niezwykle istotny jest rodzaj kosubstratu. Należy również zwrócić uwagę na stężenie związków organicznych podatnych na biodegradację zawartych w odpadzie. Korzystna jest wyższa wartość potencjału biogazowego w stosunku do osadów ściekowych. Istotny jest również brak patogenów

oraz substancji toksycznych w odpadzie [11]. Potencjał biogazowy wybranych odpadów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Potencjał biogazowy wybranych odpadów [zmodyfikowana]

Grupy odpadów	Produkcja biogazu, m³/t s.m.o.
Biodegradowalne odpady z rolnictwa (02 01)	100-990
Odpady z rzeźni, ubojni i zakładów rybnych (02 02)	300-1200
Odpady z zakładów produkcji olejów i tłuszczów zwierzęcych oraz roślinnych (02 02, 02 03)	600-1600
Odpady z zakładów produkcji żelatyny (02 02)	700-900
Odpady z zakładów produkujących mączkę ziemniaczaną i kukurydzianą (02 03)	600-900
Odpady z drożdżowni, browarów, wytwórni win i gorzelni (02 03, 02 07)	300-850
Odpady z przemysłu mleczarskiego (02 05)	400-900
Odpady z przemysłu papierniczego (03 03)	200-800
Odpady farmaceutyczne (07 05)	660-1300
Odpady z oczyszczalni ścieków (19 02, 19 03, 19 08)	250-350
Odpady komunalne (20 01, 20 02, 20 03)	400-600

Źródło: [10]

Innym sposobem intensyfikacji produkcji biogazu jest modyfikacja warunków prowadzenia procesu. Zmiana taka może obejmować korektę temperatury z warunków mezofilowych na termofitowe. Pozwala to na higienizację osadu oraz poprawę stopnia degradacji materii organicznej przy krótszym czasie zatrzymania osadu w komorze fermentacji. Stosowane są również układy dwustopniowe, które w porównaniu

do jednostopniowych zapewniają lepszą kontrolę procesu fermentacji. Układy dwustopniowe najczęściej są konfiguracją fermentacji termofilowej z mezofilową [12].

Na poprawę wydajności fermentacji metanowej wpływa również dezintegracja zagęszczonych osadów kierowanych do komór fermentacyjnych. Podczas dezintegracji następuje zniszczenie struktury kłaczków osadu oraz rozerwanie błon komórkowych w wyniku, czego dochodzi do lizy komórek mikroorganizmów. W ten sposób organiczne składniki, które wchodzą w skład komórek stają się łatwiej dostępne dla mikroorganizmów heterotroficznych. Dezintegracja skraca czas fazy hydrolitycznej, a tym samym wpływa korzystnie na ilość wyprodukowanego biogazu w fazie metanogennej [13]. Dezintegracja osadów może być realizowana z wykorzystaniem różnych technik różniących się zastosowaniem czynnika dezintegrującego osad (Tab. 2).

Tabela 2. Metody dezintegracji osadów zagęszczonych [zmodyfikowana]

Sposób dezintegracji	Opis metody
Metoda chemiczna: - hydroliza kwaśna i zasadowa - ozonowanie - reakcja Fentona	Metoda opiera się na reakcji czynnika dezintegrującego ze składnikami błon komórkowych mikroorganizmów.
Metoda mechaniczna: - ultradźwięki - promieniowanie Gamma - mieszanie w młynach kulowych - impulsy elektryczne	Metoda polega na fizycznym oddziaływaniu na osady, w wyniku którego dochodzi do mechanicznego uszkodzenia błon komórkowych.

Sposób dezintegracji	Opis metody
- wirówki dezintegracyjne - homogenizacja ciśnieniowa	
Metoda termiczna: - konwencjonalne ogrzewanie - mikrofale	Metoda polega na obróbce cieplnej osadów w wyniku której dochodzi do rozerwania wiązań chemicznych błon komórkowych.
Metoda biologiczna: - enzymy - autoliza - grzyby, bakterie	Metoda polega na rozkładzie substancji organicznych zawartych w osadzie pod wpływem enzymów które mogą być dodawane z zewnątrz lub produkowane przez mikroorganizmy.

Źródło: [14]

1.3. Produkt uboczny produkcji biopaliw z olejów roślinnych

W wyniku procesu transestryfikacji acylogliceroli alkoholem metylowym w obecności katalizatora otrzymywane są estry metylowych kwasów tłuszczowych (FAME) popularnie nazywane biodieslem (Rys. 2) [15].



Rysunek 2. Schemat procesu transestryfikacji olejów roślinnych [zmodyfikowany]

Źródło: [15]

Teoretycznie produktami tej reakcji są FAME oraz glicerol. W rzeczywistości proces jest trójstopniowy i końcowe produkty można podzielić na dwie fazy ciekłe: górną zawierającą FAME oraz dolną –

glicerynową, która jest mieszaniną wolnego glicerolu, mydeł, alkoholu metylowego, metanolu, resztek katalizatora oraz nieprzereagowanych monoacylogliceroli oraz diacylogliceroli. Ze względu na duże wartości BZT faza glicerynowa może stwarzać zagrożenie dla środowiska [16].

Jednym ze sposobów wykorzystania fazy glicerynowej jest wprowadzenie jej do komór fermentacyjnych jako kosubstratu. Umożliwia to nie tylko utylizację odpadowego produktu ubocznego, ale również intensyfikuje produkcję biogazu [17-22].

2. Teren i metodyka badań

2.1. Substraty

Do badań użyto osadów ściekowych z komunalnej oczyszczalni ścieków działającej w oparciu o technologię osadu czynnego znajdującej się na terenie województwa śląskiego. Substraty pobrane do badań stanowiły osady: nadmierny zagęszczony mechanicznie oraz fermentacyjny pobrany z komory WKF. Celem badań było określenie wpływu procesu współfermentacji na ilość oraz skład produkowanego biogazu.

Kosubstratem użytym do badań był produkt uboczny po produkcji biopaliw z olejów roślinnych. Odpad w swoim składzie zawierał ok. 2,0-6,5% gliceryny (glicerol), 1-5% metanolu, wodę z płukania oleju, resztki katalizatora - siarczany, kwasy tłuszczowe oraz śladowe ilości mydeł. Odpad pochodził z rafinerii znajdującej się w południowej Polsce. Kosubstrat nie wymagał wstępnego przygotowania do procesu fermentacji.

Do kolejnych prób zawierających mieszaninę osadów dodawano 8, 12, 20 i 40 g odpadu (Tab. 3), co stanowiło 2, 3, 5 oraz 10% udział

kosubstratu w mieszaninie. Waga każdej z prób wynosiła 400 g. Próbę odniesienia stanowiła mieszanina osadów bez dodatku kosubstartu.

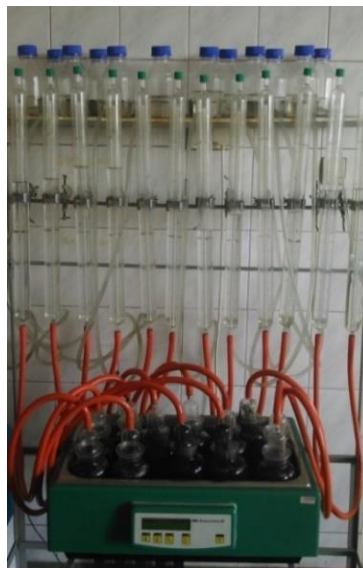
Tabela 3. Skład ilościowy mieszanin poddanych współfermentacji

Numer próbki	Ilość osadu nadmiernego, g	Ilość osadu z komór fermentacyjnych, g	Ilość odpadu, g	Udział odpadu/osadu ściekowego, %
0	350	50	0	0/100
1	342		8	2/98
2	338		12	3/97
3	330		20	5/95
4	318		40	10/90

Źródło: Badania własne

2.2. Metodyka badań

Badania wykonano w Laboratorium Badań Przeróbki Osadów w Instytucie Inżynierii Wody i Ścieków Politechniki Śląskiej. Współfermentację prowadzono przez 28 dób w warunkach statycznych z wykorzystaniem instalacji do fermentacji osadów. Instalacja składała się z 10 szklanych kolb (reaktorów) szczelnie połączonych z kolumnami do odbioru biogazu (Rys. 3). Każdy z reaktorów miał pojemność 500 cm³. Współfermentację prowadzono w warunkach mezofilowych (37°C). W celu zapewnienia stałej temperatury reaktory umieszczono w łaźni wodnej. Kolby nie zostały wyposażone w mieszadła, dlatego ich zawartość mieszano 2 razy w ciągu doby poprzez wyciągnięcie pojedynczej kolby z łaźni wodnej oraz zamieszanie zawartości ruchem okrężnym bez odłączania zestawu do odbioru biogazu. Codziennie dokonywano odczytu objętości wyprodukowanego biogazu oraz dwa razy w tygodniu pomiaru składu wyprodukowanego biogazu.



Rysunek 3. Instalacja do fermentacji osadów

Źródło: Źródło własne

Oznaczenia suchej masy organicznej dokonano zgodnie z normą PN-EN 12880:2004. Próby osadu po oznaczeniu suchej masy ogólnej spalano w piecu muflowym w temperaturze 550°C. Następnie próby umieszczano w eksykatorze, a po wystudzeniu ważono. Suchą masę mineralną obliczano ze wzoru:

$$\text{s. m. m.} = \frac{m_3 - m}{m_2 - m} * 100 [\%] \quad (1)$$

gdzie:

m – masa pustej parownicy kwarcowej, g

m_2 – masa parownicy kwarcowej z osadem po wysuszeniu, g

m_3 – masa parownicy kwarcowej z osadem po wyprażeniu, g

Suchą masę organiczną obliczano ze wzoru:

$$\text{s.m.o.} = 100 - \text{s.m.m.} [\%] \quad (2)$$

Lotne kwasy tłuszczowe (LKT) w cieczy nadosadowej oznaczano przy użyciu testów kuwetowych firmy Hach-Lange zgodnie z instrukcją załączoną przez firmę.

Zasadowość cieczy nadosadowej oznaczano zgodnie z normą PN-91/C-04540/05. Próbę miareczkowano roztworem kwasu solnego do pH 4,5 mierzonego za pomocą pehametru, a następnie zasadowość obliczano ze wzoru:

$$Z_{og} = \frac{f * k * V_2 * 1000}{V} \quad (3)$$

gdzie:

f – współczynnik przeliczeniowy molowości roztworu kwasu solnego na roztwór o stężeniu ściśle molowym,

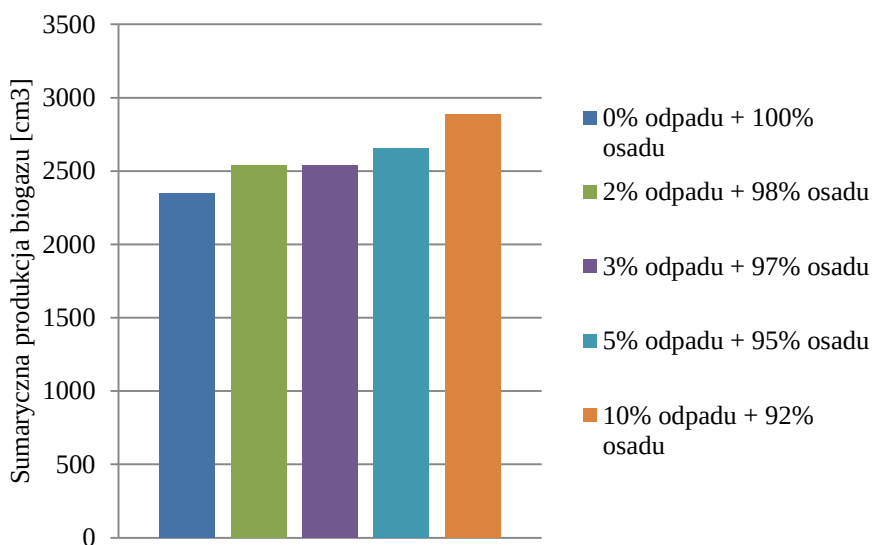
k – miano roztworu kwasu solnego,

V_2 – objętość roztworu kwasu solnego użytego do miareczkowania próbki, cm^3 ,

V – objętość próbki użytej do oznaczania, cm^3 .

2. Wyniki badań i dyskusja

Dodatek kosubstratu zwiększał ilość wyprodukowanego biogazu (Rys. 4). Największy przyrost ilości biogazu, od 2435 cm^3 w próbie odniesienia do $2887,5 \text{ cm}^3$ odnotowano w mieszaninie z 10% udziałem odpadu, co stanowiło przyrost ilości biogazu o 16,7%. W celu dodatkowej oceny wpływu dodatku substratu na ilość wyprodukowanego biogazu określono jednostkową produkcję biogazu w każdej z prób. W tym celu wykonano oznaczenie suchej masy organicznej osadu przed procesem współfermentacji (Tab. 4). Podobnie jak w przypadku sumarycznej produkcji biogazu najkorzystniejszą jednostkową produkcję odnotowano w mieszaninie z 10% udziałem odpadu. Jednostkowa produkcja biogazu w tej próbie wynosiła $99,9 \text{ cm}^3/\text{g s.m.o.}$ i w porównaniu z próbą kontrolną wzrosła o 20%.



Rysunek 4. Sumaryczna produkcja biogazu

Źródło: Badania własne

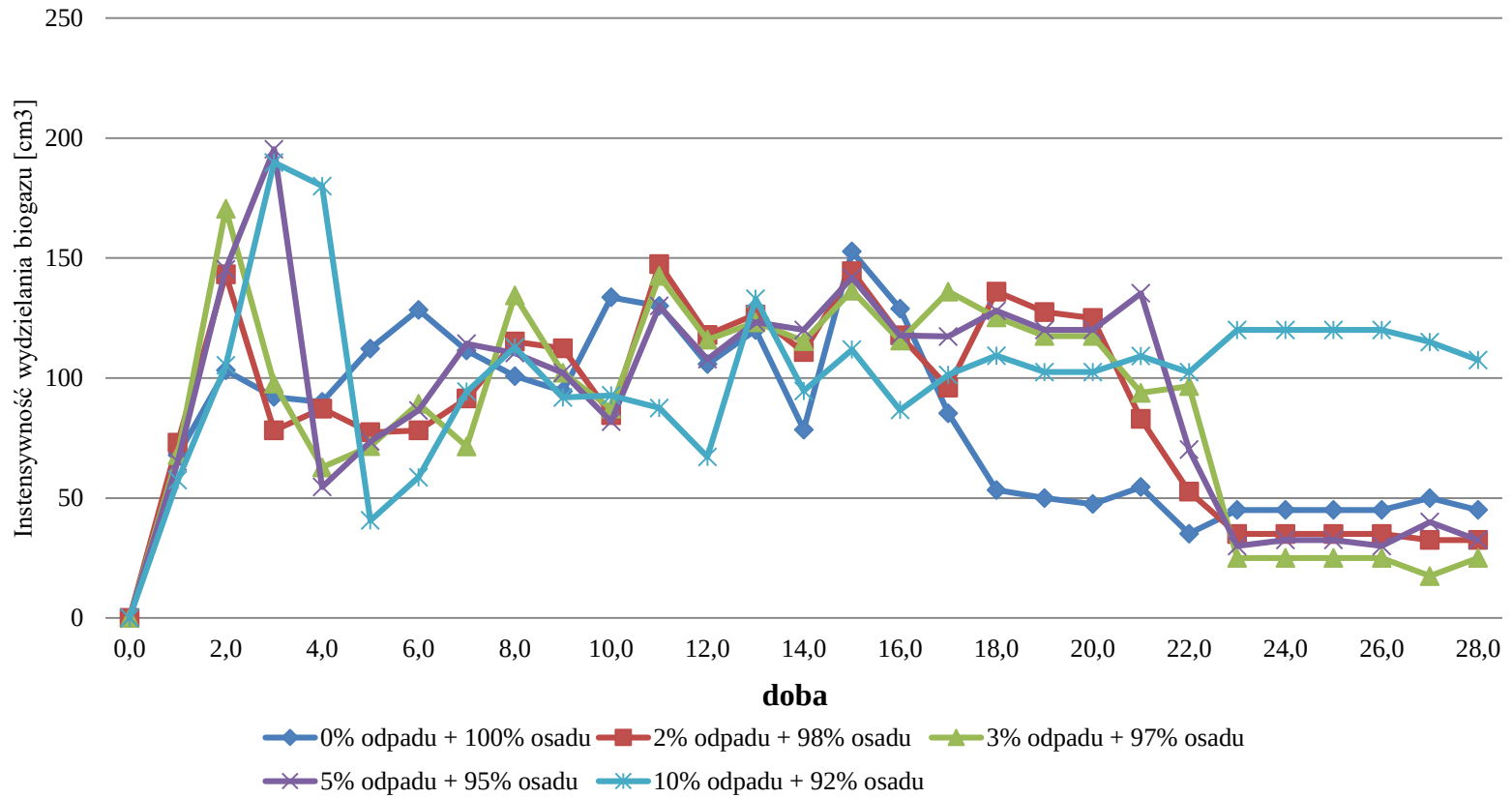
Tabela 4. Jednostkowa produkcja biogazu

Zawartość odpadu w mieszaninie, %	Wskaźnik		
	Sucha masa organiczna		Jednostkowa produkcja biogazu, cm ³ /g s.m.o.
	g/dm ³	%	
0	30,39	71,20	80,13
2	30,61	70,45	82,90
3	30,72	71,92	85,29
5	28,84	70,81	94,92
10	28,90	71,30	99,91

Źródło: Badania własne

Analizując intensywność produkowanego biogazu (Rys. 5) zaobserwowano, że w pierwszych czterech dobach nastąpił największy przyrost produkcji biogazu. Wynikało to z intensywnego rozkładu związków organicznych, które były zawarte w fermentowanych mieszaninach. Zauważono również, że w początkowym okresie badań,

w próbach z dodatkiem kosubstratu, intensywność wydzielanego biogazu była dużo większa niż w próbie odniesienia. W 15 dobie intensywność produkcji biogazu w próbie z osadem obniżyła się o ponad połowę. W próbach z dodatkiem kosubstratu obniżenie to było zauważalne w 20-22 dobie. Wyjątkiem była próba z 10% udziałem odpadu gdzie intensywność wydzielanego biogazu utrzymywała się na stałym poziomie do 28 doby fermentacji.



Rysunek 5. Intensywność wydzielania biogazu

Źródło: Badania własne

Dodatek kosubstratu miał również wpływ na zawartość metanu w biogazie. Ze względu na wprowadzenie do procesu fermentacji substratu bogatego w substancje łatwo biodegradowalne, wzrósł udział CH_4 w biogazie (Tab. 5). W próbie kontrolnej zawartość metanu w biogazie wynosiła 62-65%, a w próbach z dodatkiem kosubstratu 67-72%.

Tabela 5. Udział metanu w biogazie

Zawartość odpadu w mieszaninie, %	Udział CH_4 w biogazie, %
0	62-65%
2	69-71%
3	69-72%
5	70-72%
10	67-72%

Źródło: Badania własne

Otrzymane wyniki potwierdziły doniesienia literaturowe nawiązujące do intensyfikacji produkcji biogazu poprzez wprowadzenie kosubstratu w postaci produktów ubocznych po produkcji biodiesla do procesu fermentacji osadów [16-18].

Tabela 6. Charakterystyka osadów przed i po procesie współfermentacji

Zawartość odpadu w mieszaniu, %	Zasadowość, mg CaCO₃/dm³		LKT, mgCH₃COOH/dm³		LKT/Z	
	przed procesem	po procesie	przed procesem	po procesie	przed procesem	po procesie
0	424,0	305,0	18,0	50,0	0,04	0,16
2	458,0	387,5	21,0	62,0	0,05	0,16
3	470,5	320,0	25,0	66,0	0,05	0,21
5	480,5	400,0	20,0	75,0	0,04	0,19
10	550,0	360,0	29,0	91,0	0,05	0,25

Źródło: Badania własne

Wzbogacenie układu fermentacyjnego o kosubstrat może mieć negatywny wpływ na stabilność procesu fermentacji. Aby to sprawdzić oznaczano wskaźnik zasadowości (Z), lotne kwasy tłuszczowe (LKT) oraz wyznaczano iloraz LKT/Z (Tab. 6). Stosunek LKT/Z według doniesień literaturowych powinien kształtować się w zakresie od 0,2 do 0,6 [23], inni badacze uważają, że graniczna wartość to 0,5 [11] oraz 0,4 [24]. Najniższa wartość ilorazu uważana za brak równowagi pomiędzy bakteriami acidogennymi a metanowymi to 0,3 [25]. Stosunek LKT/Z w próbie odniesienia przed procesem fermentacji wynosił 0,04, natomiast w próbach z dodatkiem kosubstratu od 0,04 do 0,05. Po fermentacji w mieszaninach z kosubstratem stosunek LKT/Z kształtował się w zakresie 0,16–0,25. Oznacza to, że proces współfermentacji przebiegał stabilnie, a dodatek kosubstratu nie wpływał negatywnie na proces. W trakcie prowadzenia badań iloraz LKT/Z nie zbliżył się do wartości granicznej, powyżej której proces fermentacji może zostać zahamowany.

3. Wnioski

1. Frakcja glicerynowa powstała w wyniku produkcji biopaliw może być wykorzystana, jako kosubstrat w procesie współfermentacji z osadem nadmiernym.
2. Największy przyrost ilości biogazu (16,7%) w stosunku do próby kontrolnej z samym osadem otrzymano w próbie z 10% udziałem kosubstratu. W tej samej próbie jednostkowa produkcja biogazu była największa.
3. W wyniku wprowadzenia do komór fermentacyjnych substratu bogatego w substancje łatwo biodegradowalne zwiększył się udział metanu w biogazie. W próbie kontrolnej udział CH_4 w biogazie wynosił

62-65%, natomiast w próbach z dodatkiem kosubstratu ilość metanu wynosiła 67-72%.

4. Badania wykazały, że dodatek kosubstratu nie miał negatywnego wpływu na stabilność procesu fermentacji.

Literatura:

1. Uchwała Rady Ministrów, z dnia 24.12.2010 r., w sprawie „Krajowego Planu Gospodarki Odpadami 2014”, Monitor Polski 2010, Nr 101, poz. 1183.
2. Bień J., Neczaj E., Worwąg M. Grosser A., Nowak D., Milczarek M., Janik M: *Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, nr 4, 2011, str. 375-384.
3. Dymaczewski Z.: *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków*. PZiTS, Poznań, 2011.
4. Barbusiński K., Pieczykołan B.: *Fermentacja osadów ściekowych. Podstawy procesu i przykłady wykorzystania biogazu w oczyszczalniach ścieków województwa śląskiego*. Europejskie Forum Odpowiedzialności Ekologicznej, Katowice, 2014.
5. Iskra K., Miodoński S.: *Dezintegracja osadu nadmiernego – dobra praktyka czy konieczność?*, [w]: Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska, pod red. Traczewskiej T.M., Kaźmierczaka B., tom 4, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2014, str. 326-336.
6. Podedworna J., Umiejewska K.: *Technologia osadów ściekowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2008, str. 114-115.

7. Worldwide experience in solving industrial wastewater problems. Brochure GWE. (www.globalwaterengineering.com).
8. Zawieja I., Wolny L.: *Wpływ stopnia dezintegracji osadów ściekowych poddanych alkalicznej modyfikacji na wartość jednostkowej produkcji biogazu*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, nr 3, 2014, str. 503-512.
9. Zawieja I., Bień J., Worwąg M.: *Pozyskiwanie lotnych kwasów tłuszczowych w procesie stabilizacji beztlenowej osadów pochodzących z przemysłu spożywczego*, Proceedings of ECOpole, nr 4, 2010, str. 529-534.
10. Esposito G., Frunzo L., Giordano A., Liotta F., Panico A., Pirozzi F.: *Anaerobic co-digestion of organic wastes*, Reviews Environmental Science and Biotechnology, nr 11, 2012, str. 325-341.
11. Montusiewicz A.: *Współfermentacja osadów ściekowych i wybranych kosubstratów jako metoda efektywnej biometanizacji*, [w]: Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, nr 98, 2012, str. 1-133.
12. Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H.D.: *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. Metcalf & Eddy Inc., 3rd Edition, 2003 McGraw-Hill, New York.
13. Carrere H., Dumas C., Battimelli A., Batstone D.J., Delgenes J.P., Steyer J.P., Ferrer I.: *Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: A review*, Journal of Hazardous Materials, nr 183, 2010, str. 1-15.
14. Neczaj E., Hrut K., Grosser A., Kamizela T.: *Intensyfikacja produkcji biogazu w procesie fermentacji osadów ściekowych z wykorzystaniem fizykochemicznych metod dezintegracji*, Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska, pod

- red. Wiśniewskiego J., Kutylowskiej M., Trusz-Zdybek A., tom 4, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2015, str. 284-291.
15. Białecka-Florjanczyk E., Stolarzewicz I., Kucharski D.: *Mikrobiologiczne metody otrzymywania biodiesla*, Biotechnologia, nr 4, 2009, str. 74-78.
 16. Sulewski M., Urbaniak W., Traczykowski A., Budzińska K., Peter E.: *Fermentacja metanowa jako sposób zagospodarowania frakcji glicerynowej, będącej produktem ubocznym produkcji biopaliwa z olejów roślinnych*, Przemysł Chemiczny, nr 12, 2014, str. 2142-2145.
 17. Amon Th., Amon B., Kryvoruchko V., Bodiroza V., Pötsch E., Zollitsch W.: *Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerine supplementation*, International Congress Series, nr 1293, 2006, str. 217– 220.
 18. Álvarez J.A., Otero L., Lema J.M.: *A methodology for optimising feed composition for anaerobic co-digestion of agro-industrial waste*, Bioresource Technology, nr 101, 2010, str. 1153-1158.
 19. Bohdziewicz J., Kuglarz M.: *Kofermentacja produktów ubocznych z produkcji biopaliw i osadów ściekowych w warunkach statycznych*, [w]: *Polska inżynieria środowiska. Prace.*: pod red. Dudzińskiej M. R., Pawłowskiego A., Monografie „IV Kongres Inżynierii Środowiska” tom 2, Polska Akademia Nauk. Komitet Inżynierii Środowiska, Lublin, 2012, str. 83-92.
 20. Bohdziewicz J., Kuglarz M., Grübel K.: *Proces kofermentacji produktów ubocznych generowanych podczas wytwarzania biodiesla oraz efektywnego oczyszczania powstałych cieczy pofermentacyjnych*,

- [w]: Central European Conference ECOpole'14, dokument elektroniczny, Jarnołtówek, 2014, str. 13-14.
21. Pilarski K., Dach J., Mioduszevska N.: *Porównanie wydajności produkcji metanu z gnojowicy świńskiej i bydlęcej z dodatkiem gliceryny rafinowanej*, Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, nr 55, 2010, str. 78-81.
 22. López J.A.S., Santos M.Á.M., Pérez A.F.C., Martín A.M.: *Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel manufacturing*, Bioresource Technology, nr 100, 2009, str. 5609-5615.
 23. Luste S., Luostarinen S.: *Anaerobic co-digestion of meat-processing by-products and sewage sludge – Effect of higienization and organic loading rate*. Bioresource Technology, nr 101, 2010, str. 2657-2664.
 24. Lebiocka M., Pawłowski A.: *Biometanizacja metodą zrównoważonej utylizacji odpadów*. Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, tom 11, Politechnika Lubelska, 2009, str. 1257-1266.
 25. Bień J., Wystalska K.: *Osady ściekowe. Teoria i praktyka*, Częstochowa, 2011.

Badania zostały wykonane w ramach BKM-539/RIE-4/2015.

inż. Paulina Mielniczuk, inż. Justyna Osipiuk, inż. Agata Myszkowska,
Marta Boguszevska, Adrian Jagłowski, Michał Bursa, inż. Monika Wysocka,
inż. Maciej Załuska, Rafał Buczyński, Faustyna Adamczuk, Magda Biernacka,
mgr inż. Ewa Szatyłowicz¹⁾, dr hab. inż. Iwona Skoczko
Koło Młodych PZITS przy Politechnice Białostockiej
Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska
ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok
¹⁾e.szatyłowicz@pb.edu.pl

Porównanie gospodarki odpadami w wybranych gminach woj. podlaskiego

*The new organization of waste management in selected
municipalities Podlasie Province*

Słowa kluczowe: *gospodarka odpadami, selektywna zbiórka, województwo podlaskie*

Keywords: *waste management, selective waste collection, Podlaskie Province*

Streszczenie: W świetle nowych przepisów i regulacji gospodarka odpadami stanowi bardzo ważny element polityki ochrony środowiska, a także szeroko rozumianej gospodarki. W związku z tym należy rozpatrywać nie tylko kwestie środowiskowe, ale także względy ekonomiczne. Właściwie prowadzona gospodarka odpadami pozwoli zachować nie tylko czystość środowiska, ale również będzie generować korzyści w postaci oszczędności finansowych. Najlepszym przykładem ograniczania kosztów ponoszonych przez mieszkańców, związanych z wywozem odpadów, jest prowadzenie selektywnej zbiórki odpadów. Ilość wytworzonych odpadów komunalnych zależna jest od wielu czynników. Do najważniejszych z nich należą: standard życia i liczba ludności oraz wielkość i intensywność konsumpcji gotowych produktów. Rodzaj wytwarzanych odpadów zależny jest od rodzaju obszaru, na którym odpady są wytwarzane, gęstości zaludnienia, rodzaju zabudowy itp. Badaniami objęto trzy wybrane gminy województwa podlaskiego: Czyże, Łomża oraz Białystok. Wybrane gminy różniły się ilością mieszkańców, gęstością zaludnienia, strukturą zatrudnienia, oraz zagospodarowaniem terenu. W analizie porównano średnie ilości produkowanych odpadów w przeliczeniu na

jednego mieszkańca w gminach, podział odpadów na poszczególne frakcje, stawki opłat za odbiór i zagospodarowanie odpadów zbieranych selektywnie oraz odpadów zmieszanych. Wykazano, że największą produkcją odpadów w przeliczeniu na jedną osobę cechuje się gmina Białystok, w której jedną z dominujących działalności gospodarczych jest działalność związana z użytecznością publiczną, transportową i turystyczną. Świadczy to także o dużo większym rozwoju gospodarczym gminy Białystok, w porównaniu do pozostałych analizowanych gmin. Najmniej odpadów generuje gmina Czyże, w której dominują sektory gospodarki tj. rolnictwo i budownictwo. Struktura odpadów gminy Czyże znacząco różni się od struktury odpadów w gminie Łomża i Białystok.

1. Wstęp

Jednym z najpoważniejszych problemów dotyczących współczesną cywilizację jest powstawanie odpadów. W wyniku rosnącej liczby ludności oraz wzrostu rozwoju gospodarczego i technicznego świata, człowiek stał się największym producentem odpadów w przyrodzie. Z tego względu gospodarka odpadami jest ważnym aspektem w funkcjonowaniu jednostek osadniczych. Jest dziedziną potrzebującą zarówno ogromnych nakładów finansowych jak i współpracy mieszkańców danej jednostki osadniczej w realizacji jej celów. Poprawnie zaprojektowana i wcielona w życie nowa gospodarka odpadami jest ważnym przedsięwzięciem w zakresie ochrony środowiska. Wpływa jednoznacznie na lepszy komfort życia mieszkańców danej jednostki terytorialnej [1].

Nowe ustawodawstwo dotyczące systemu gospodarki odpadami komunalnymi, wprowadzone w Polsce 1 lipca 2013 roku ustawą o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach z dnia 13 grudnia 1996 roku (Dz. U. 2011 nr 152. poz. 897 z późn. zm.) [3] oraz ustawą z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. 2013 poz. 21, z późn. zm.)

[4] ma na celu zhermetyzowanie i usystematyzowanie gospodarki odpadami. Nowe przepisy ukierunkowują działania w zakresie uporządkowania systemu odbioru odpadów komunalnych oraz określają metody postępowania z odpadami zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju. Założono, iż wprowadzenie nowych regulacji prawnych pozwoli na osiągnięcie wymaganych Dyrektywami Parlamentu Europejskiego poziomów odzysku odpadów ulegających biodegradacji. Działanie to powinno ograniczyć masę odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania. Ustawodawstwo zobowiązuje Polskę do zmniejszenia całkowitej masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji do 35%, do dnia 31 grudnia 2020 r. w stosunku do masy tych odpadów wytworzonych w 1995 r. Zaplanowano ponadto (poprzez instrumenty prawne) osiągnięcie poziomów recyklingu odpadów opakowaniowych, a w szczególności odpadów metali, papieru, tworzyw sztucznych i szkła na poziomie 50% [5]. Po zmianach ujętych w ustawie z dnia 1 lipca 2013 roku to gminne samorządy przejęły pełną odpowiedzialność nad gospodarką odpadami. Zostały zobowiązane do odbioru oraz zagospodarowania odpadów powstających na ich terenach. Według nowej ustawy gminy stały się również odpowiedzialne za zawarcie umów z przedsiębiorcami odbierającymi odpady. Ponadto do obowiązku gmin wszedł nadzór nad dalszym losem odpadów [6,7]. Samorządy gminne zostały zobowiązane do tworzenia odpowiednich warunków do wykonywania prac związanych z utrzymaniem czystości i porządku w gminie.

Znowelizowana ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach z 13 grudnia 1996 roku [2], w której koncentrowano uwagę na odpadach komunalnych, określając zadania gminy oraz obowiązki

właścicieli nieruchomości, dotyczących utrzymania czystości i porządku, a także warunki udzielania zezwoleń podmiotom gospodarczym świadczącym usługi w zakresie objętym regulacją prawną. Nowelizacja ustawy stała się kluczowym elementem systemu, przynosząc nowy porządek prawny. Wypełnienie jej zapisów spowoduje stworzenie modelu gospodarki odpadami, który będzie optymalny w świetle zasad zrównoważonego rozwoju [3].

Głównym celem przeprowadzonych analiz było porównanie średnich ilości produkowanych odpadów w przeliczeniu na jednego mieszkańca w wybranych gminach województwa podlaskiego po wprowadzeniu zmian organizacyjnych w gospodarce odpadami. Ponadto określono różnicę w procentowym udziale poszczególnych frakcji odpadów w każdej z analizowanych gmin. Porównano także stawki opłat za odbiór i zagospodarowanie odpadów zbieranych selektywnie oraz odpadów zmieszanych.

2. Materiały i metody

2.1. Gmina Białystok

Gmina Białystok usytuowana jest w zachodniej części makroregionu Wysoczyzny Białostockiej, na Nizinie Podlaskiej. W 2014 roku zamieszkiwało ją 295 401 osób [15]. Miasto Białystok (zlokalizowane na terenie gminy) pełni funkcję administracyjnego, gospodarczego, naukowego oraz kulturalnego centrum regionu. Podział administracyjny Białegostoku składa z 28 osiedli położonych na 102 km². Tereny zabudowane stanowią 47% jego powierzchni [9].

W 2014 roku wszelkie zmieszane odpady komunalne trafiły do Zakładu Utylizacji Odpadów Komunalnych w Hryniewiczach. Zakład

ten (zgodnie z „Planem Gospodarki Odpadami Województwa Podlaskiego na lata 2012-2017”) piastuje funkcję regionalnej instalacji do Przetwarzania Odpadów Komunalnych (RIPOK) [15,16]. W tym, że roku RIPOK w Hryniewiczach według „Sprawozdania Prezydenta Miasta z realizacji zadań z zakresu gospodarowania odpadami komunalnymi za 2014 rok” przyjął około 80 599,42 Mg odpadów z gminy Białystok. W celu usprawnienia pracy składowiska, a także dbałości o odpowiedni poziom recyklingu wcielany jest w życie projekt pt. „Przebudowa instalacji związanej z odzyskiem odpadów w Hryniewiczach k. Białegostoku”. Jego celem jest budowa nowoczesnej sortowni odpadów. Jej przepustowość szacowana jest na około 40000 Mg odpadów selektywnie zbieranych lub 120000 Mg zmieszanych odpadów komunalnych [15]. Inny projekt pt. „Zintegrowany system gospodarki odpadami dla aglomeracji białostockiej” obejmuje między innymi budowę instalacji termicznego przekształcania odpadów o planowanej przepustowości na poziomie: 120 000 Mg/rok.

Inwestycje mają na celu zmniejszenie ilości odpadów składowanych na Składowisku Odpadów Komunalnych w Hryniewiczach poprzez ich termiczne przekształcenie lub segregację i poddanie dalszej obróbce. Oba projekty współfinansowane są ze środków Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko (POLiŚ) [15].

Gmina Białystok w ramach nowej organizacji gospodarki odpadami stworzyła optymalne warunki do prowadzenia segregacji odpadów tzw. ”u źródła”, a także zapewniła inne dogodne formy segregacji, takie jak:

- Punkty Selektywnej Zbiórki Odpadów Komunalnych (PSZOK),
- „gniazda” przeznaczone do selektywnej zbiórki odpadów w liczbie ponad 500 [17] ustawionych na terenie gminy Białystok.



Rysunek 1. Lokalizacja gniazd do selektywnej zbiórki odpadów w gminie Białystok

Źródło: [17]

2.1 Gmina Łomża

Łomża jest to miasto położone w północno-wschodniej części Polski nad rzeką Narew. Stanowi trzecią co do wielkości aglomerację miejską województwa podlaskiego. Mieści się ona na około 33 km² i posiada około 59637 mieszkańców, co w przybliżeniu daje gęstość zaludnienia równą 1807 os/km². Ze względu na położenie gminy na obszarze „Zielone płuca Polski”, dominują tu branże nieuciążliwe dla środowiska przyrodniczego [11].

Systemem gospodarowania odpadami w 2015 roku było objętych 4207 nieruchomości. W samym 2014 roku w mieście wyprodukowano 15410 Mg odpadów. Odpady z gminy Łomża przewożone są do składowiska odpadów w miejscowości Czartoria w gminie Miastkowo, zgodnie z wcześniej wspomnianym Planem Gospodarki Odpadami Województwa Podlaskiego na lata 2012-2017. Wysypisko to posiada pojemność 250000 Mg i przyjmuje dziennie ładunek 10 Mg.

Składowisko wyposażone jest w Zakład Przetwarzania i Unieszkodliwiania Odpadów. Obiekt ten posiada linię sortowniczą, a także kompostownię odpadów biodegradowalnych, która obsługuje 19 gmin [12].

W gminie Łomża istnieje jeden Punkt Selektywnej Zbiórki Odpadów Komunalnych (PSZOK). Odbiór odpadów komunalnych odbywa się w trybie pojemnikowym lub workowym, w zależności od rodzaju zabudowy. System workowy obejmuje swoim zasięgiem zabudowa jednorodzinna. Ukierunkowany jest na selektywną zbiórkę odpadów, z wydzieleniem opadów takich jak:

- szkło oraz makulatura – odbierane raz w miesiącu,
- tworzywa sztuczne wraz z metalem oraz opakowaniami wielomateriałowymi, a także pojemnik z odpadami zmieszany – obierane raz na dwa tygodnie [12].

System pojemnikowy spopularyzowany został w zabudowie wielorodzinnej. Składa się on z kolorowych pojemników opróżnianych raz w miesiącu, przy czym odpowiednie kolory charakteryzują odpowiednie grupy odpadów:

- pojemnik w odcieniu żółtym – tworzywa sztuczne, metale oraz opakowanie wielomateriałowe,
- pojemnik w odcieniu zielonym – szkło,
- pojemnik w odcieniu niebieskim – makulatura,
- pojemnik w odcieniu czarnym – zmieszane odpady komunalne [12].

2.2. Gmina Czyże

Gmina Czyże położona jest w południowo-wschodnim rejonie województwa podlaskiego w powiecie hajnowskim [13]. Według danych z Głównego Urzędu Statystycznego w 2014 roku powierzchnia gminy Czyże wynosiła 135 km², składała się z 19 miejscowości zamieszkiwanych przez 2182 osoby. Gmina nie posiada rozwiniętego zaplecza gospodarczego. Występuje w niej działalność związana z przetwórstwem drewna oraz w mniejszym stopniu działalność handlowa i usługowa. W związku z tym głównym rodzajem odpadów są odpady komunalne z gospodarstw domowych oraz odpady typowe dla działalności rolniczej.

Odpady wytwarzane w gospodarstwach domowych są odbierane przez Przedsiębiorstwo Usług Komunalnych w Hajnówce i składowane na tamtejszym składowisku. Trafiają tam odpady pochodzące z dwóch pojemników przeznaczonych na odpady zmieszane oraz suche. Wraz z pojemnikami dostarczane są również worki do prowadzenia selektywnej zbiórki odpadów [14].

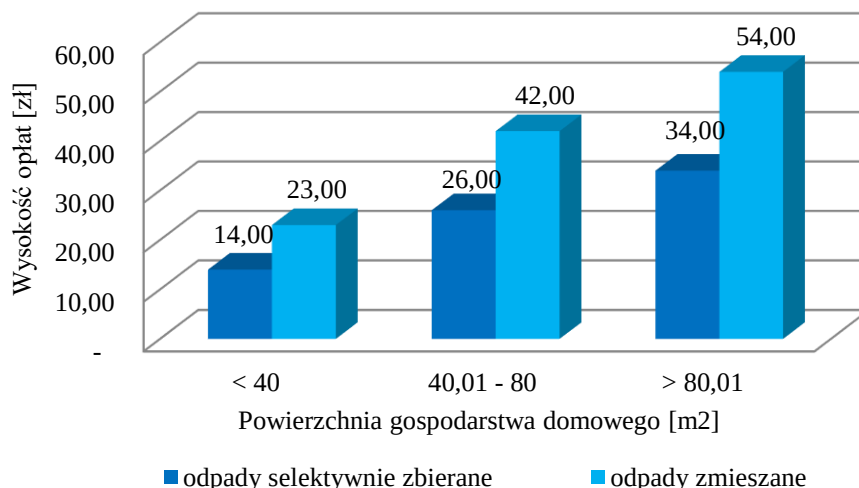
W 2014 na terenie gminy Czyże wyprodukowano w sumie 287,66 ton odpadów. Było zarejestrowanych 836 właścicieli nieruchomości, od których zostały odebrane odpady komunalne. Wydatki na gospodarkę i ochronę środowiska stanowiły 3,6% wydatków budżetu gminy. Jest to tendencja spadkowa w porównaniu z latami wcześniejszymi: 7% i 5,8% w roku 2012 i 2013. W porównaniu do roku 2013 zmniejszeniu uległa ilość odpadów ze szkła, niesegregowanych odpadów komunalnych, innych odpadów nie ulegających biodegradacji, urządzeń zawierających freony. Jednym z głównych czynników jest spadek liczby ludności. Z kolei wzrosła ilość odpadów z opakowań z tworzyw sztucznych, wielkogabarytowych, odpadów z betonu oraz gruzu betonowego.

3. Wyniki badań i dyskusja

3.1. Koszt odbioru odpadów

W świetle nowych przepisów dotyczących gospodarowania odpadami na szczególną uwagę zasługuje obowiązek prowadzenia selektywnego zbierania odpadów przez samorządy gminne. Dlatego też gminy, ustalając wysokości stawek opłat za odbiór odpadów, rozdzielają naliczane należności według zadeklarowania przez właściciela nieruchomości selektywnego sposobu gromadzenia odpadów bądź nie. Niższe opłaty naliczane za selektywną zbiórkę mają na celu zachęcić mieszkańców do segregacji odpadów.

Właściciele nieruchomości ponoszą opłaty na rzecz gminy, natomiast ich wysokość może być zależna od następujących czynników: ilości osób zamieszkujących gospodarstwo domowe, powierzchni lokalu, ilości zużytej wody bądź rodzaju nieruchomości.

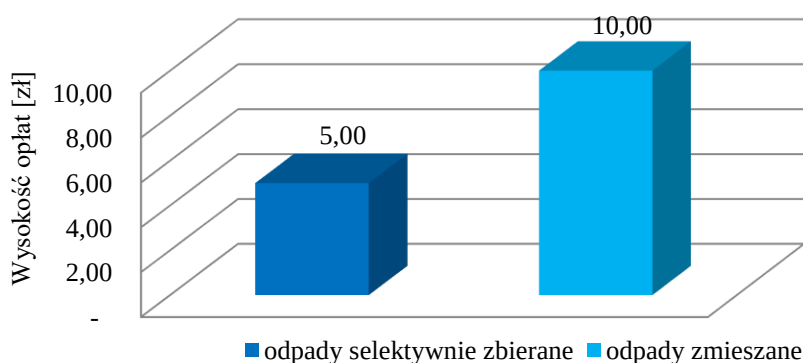


Rysunek 2. Stawki opłaty za odbiór i zagospodarowanie odpadów w gminie Białystok od 1 marca 2014 r.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [12]

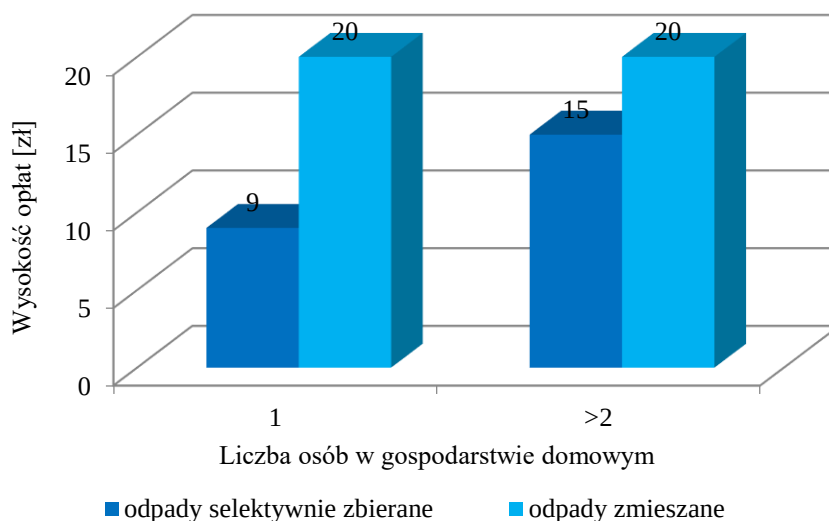
Rysunek 2 przedstawia wysokości opłat obowiązujących w gminie Białystok od 1 marca 2014 roku. Kwota opłaty uzależniona jest od rodzaju nieruchomości (nieruchomości zamieszkałe), powierzchni gospodarstwa domowego oraz od sposobu zbiórki odpadów. Mieszkańcy, którzy zadeklarowali selektywną zbiórkę odpadów, mogą skorzystać z niższych opłat za wywóz odpadów. Natomiast mieszkańcy niestosujący selektywnej zbiórki, ponoszą wyższe koszty wywozu przy uwzględnieniu takich samych powierzchni gospodarstw.

Nowa ustawa uwzględnia również nieruchomości niezamieszkałe, które nie są zasiedlone, jednak na ich terenie powstają odpady komunalne. Przykładami nieruchomości niezamieszkałych są lokale handlowe czy też budynki użyteczności publicznej. Wysokość stawek w tym przypadku naliczana jest w zależności od wybranej wielkości pojemnika. System ten także pozwala na ustalanie opłat z uwzględnieniem segregacji.



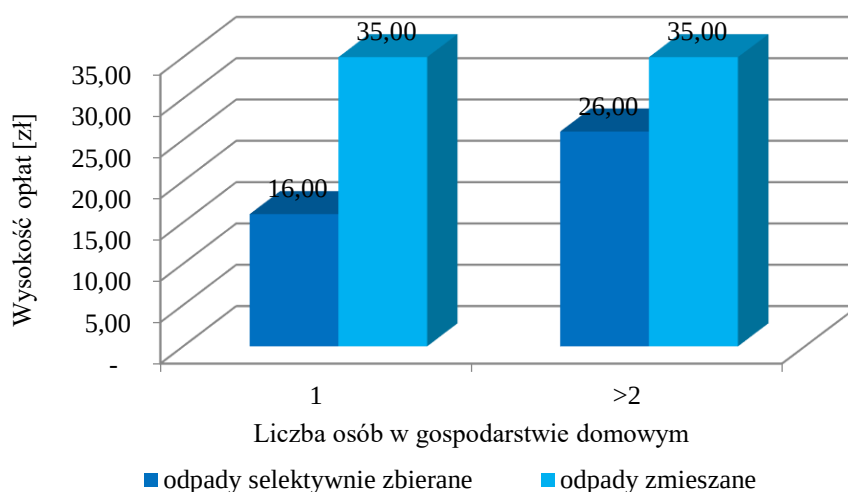
Rysunek 3. Stawki opłaty za odbiór i zagospodarowanie odpadów od 1 mieszkańca obowiązujące w gminie Czyże w 2014 r.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [13]



Rysunek 4. Stawki opłaty za odbiór i zagospodarowanie odpadów w zabudowie wielorodzinnej w zależności od liczby osób w gospodarstwie domowym obowiązujące w gminie Łomża w 2014 r.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [12]



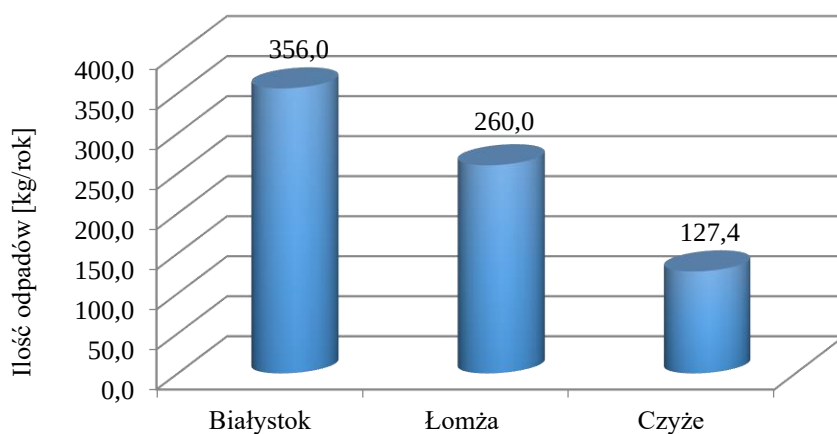
Rysunek 5. Stawki opłaty za odbiór i zagospodarowanie odpadów w zabudowie jednorodzinnej w zależności od liczby osób w gospodarstwie domowym obowiązujące w gminie Łomża w 2014 r.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [12]

W gminie Czyże w 2014 roku obowiązywała cena za odbiór odpadów ustalona na jednego mieszkańca, co przedstawiono na Rysunku 1. Opłata za odbiór odpadów zbieranych selektywnie wynosiła 5,00 zł, natomiast wywóz odpadów zmieszanych to koszt dwukrotnie wyższy, czyli 10,00 zł. W gminie Łomża stawki opłat zostały wyznaczone dla poszczególnych przedziałów w odniesieniu do liczby osób w gospodarstwie domowym oraz rodzaju zabudowy. Zróżnicowanie wysokości opłat w gminie Łomża zobrazowano na Rysunku 4 i 5. Obie gminy uwzględniły niższe stawki za odbiór i zagospodarowanie odpadów selektywnie zbieranych, aby mobilizować mieszkańców do segregacji. Wysokość opłat wyznaczana jest w głównej mierze na podstawie umów z firmami odbierającymi odpady, wyłonionymi w trybie przetargu. Ustalona kwota obowiązuje na czas trwania umowy.

3.2. Struktura odpadów

Tereny zurbanizowane oraz tereny niezurbanizowane różnią się wieloma czynnikami. W dziedzinie gospodarki odpadami, jest to między innymi ilość odebranych odpadów przypadająca na jednego mieszkańca. Potwierdza to Rysunek 6 przedstawiony poniżej.



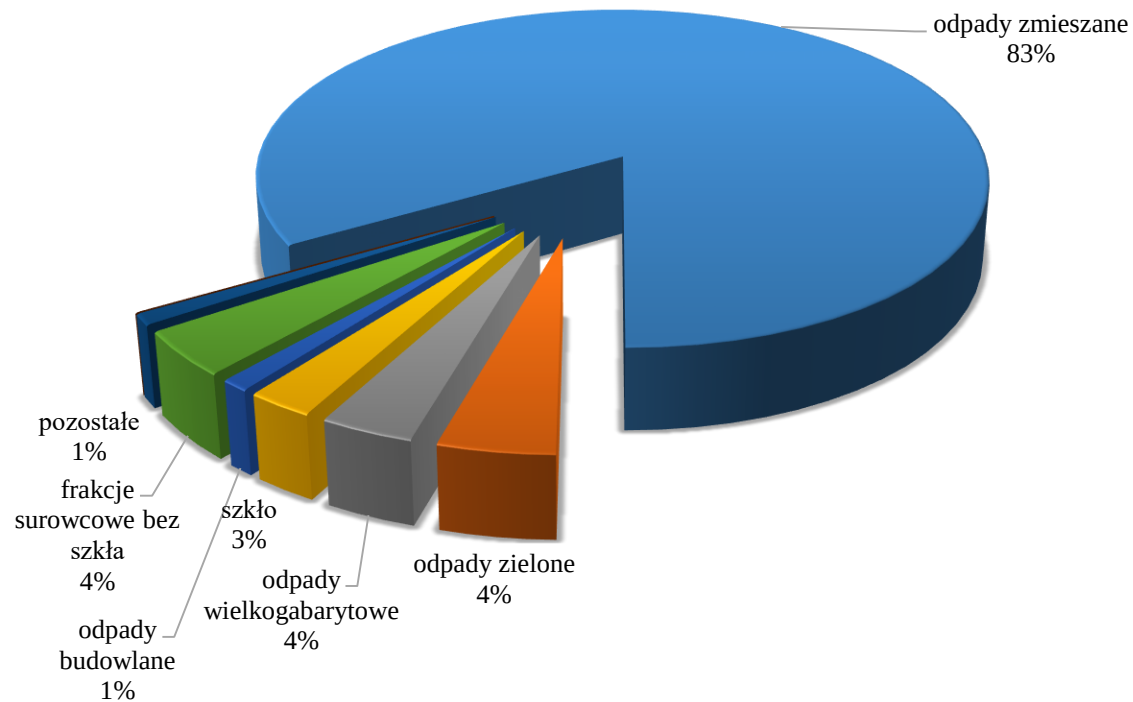
Rysunek 6. Ilość odebranych odpadów z terenu poszczególnych gmin w Mg w przeliczeniu na 1 mieszkańca w 2014 r.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [12, 14, 15]

W gminie Białystok ilość odpadów w przeliczeniu na 1 mieszkańca, czyli tzw. jednostkowy wskaźnik wytwarzania odpadów jest około 2,8 razy wyższy w stosunku do ilości wywożonych odpadów w gminie Czyże. Widoczne zróżnicowanie jest spowodowane czynnikami o charakterze ekonomicznym i społecznym, a należą do nich:

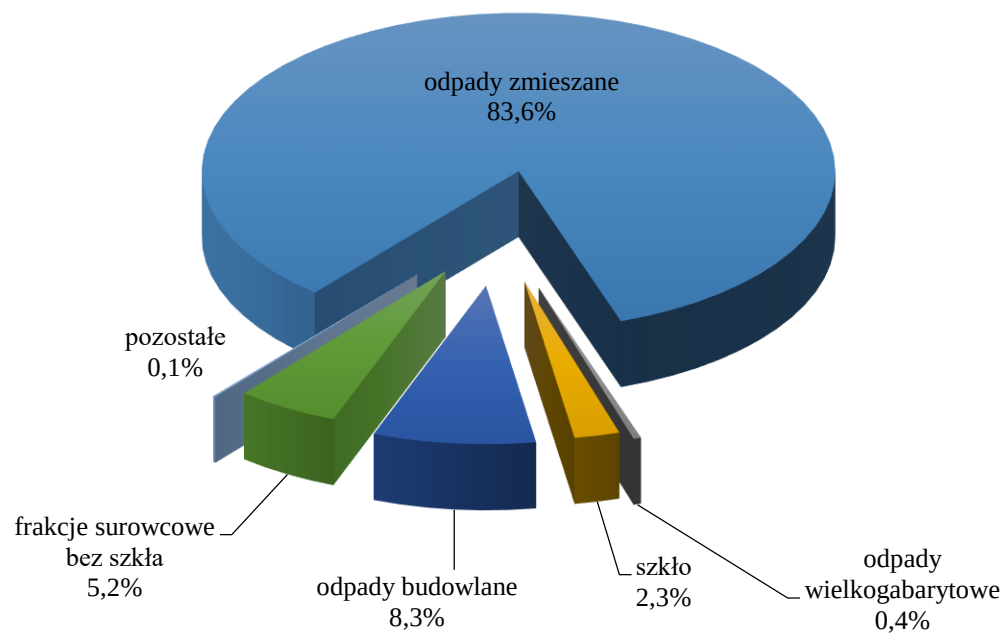
- standard życia ludności,
- wielkość oraz intensywność konsumpcji produktów.

Uwzględniając wymienione czynniki można wywnioskować, iż istnieje silne powiązanie pomiędzy zaawansowaniem rozwoju gospodarczego gminy a ilości wytwarzanych odpadów. Gmina bardziej rozwinięta cechuje się wyższym stopniem konsumpcji dóbr, stąd zwiększa się ilość wytworzonych odpadów. Ilość odpadów na jednego mieszkańca w gminie Łomża znajduje się pomiędzy ilością odpadów w gminie Białystok a w gminie Czyże, co potwierdza zasadę wpływu rozwoju gospodarczego na ilość wytwarzanych odpadów.



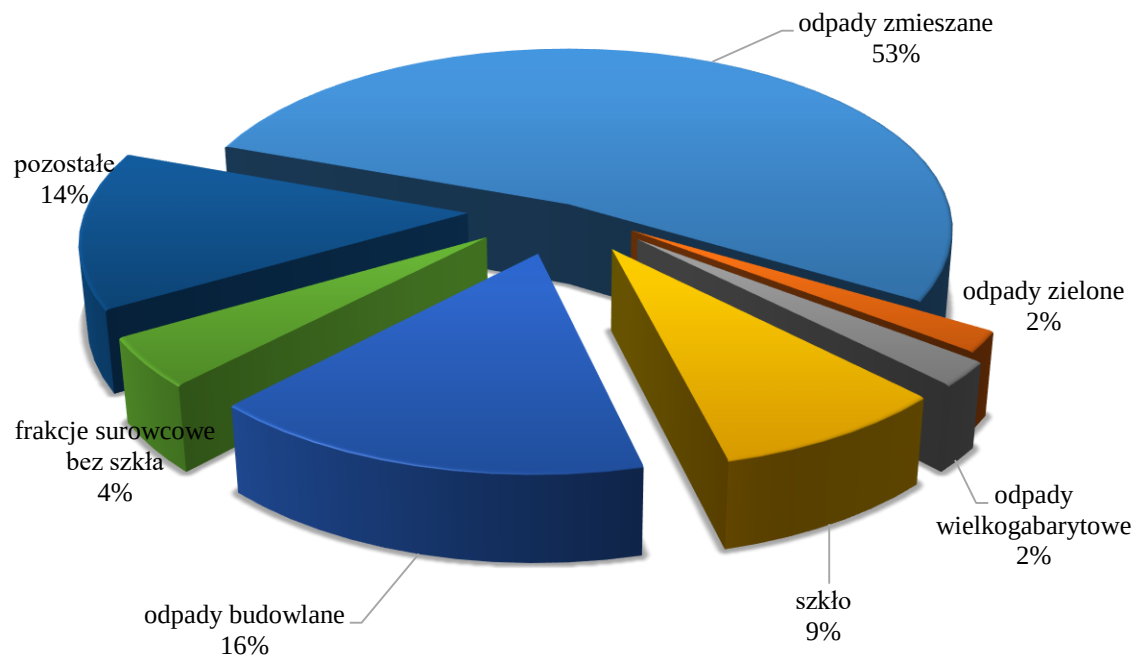
Rysunek 7. Struktura odpadów odebranych z podziałem na frakcje w gminie Białystok w 2014 r.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [15]



Rysunek 8. Struktura odpadów odebranych z podziałem na frakcje w gminie Łomża w 2015 r.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [12]



Rysunek 9. Struktura odpadów odebranych z podziałem na frakcje w gminie Czyże w 2014 r.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [14]

Na Rysunkach 7 8 oraz 9 przedstawiono charakterystykę ilości odpadów komunalnych odebranych z terenu analizowanych gmin. W strukturze odpadów odebranych według rodzaju dominowały zmieszane odpady komunalne zabrane z nieruchomości w ilości:

- gmina Białystok – 80 091,07 Mg (83%),
- gmina Łomża – 12 888,96 Mg (83,6%),
- gmina Czyże – 155,3 Mg (53%).

Do frakcji surowcowych bez szkła zaliczono zmieszane odpady opakowaniowe, opakowania z tworzyw sztucznych, papieru i tekstury. We wszystkich gminach ta grupa odpadów kształtuje się na średnim poziomie wynoszącym około 4,7%.

Różnice w strukturze odpadów, na tle gmin miejskich Białystok i Łomża, można zauważyć na przykładzie gminy Czyże. Posiada ona typowo rolniczy charakter, z czego wynika duża ilość odpadów biodegradowalnych, które mogą posłużyć np. jako karma dla zwierząt domowych. Część odpadów z tworzyw sztucznych jest wykorzystywana powtórnie, a odpady takie jak drewno czy papier są spalane. Duży procentowy udział odpadów budowlanych w gminie Czyże związany jest z licznie prowadzonymi inwestycjami na tym terenie, związanymi głównie z modernizacją gospodarstw rolnych.

Struktura odpadów w gminie Łomża i Białystok przedstawia się w podobny sposób. W obu gminach ponad 80% to odpady zmieszane. Jedyną zauważalną różnicą to ilość odpadów zielonych. Gmina Białystok w porównaniu do gminy Łomża posiada więcej terenów takich jak parki, które generują dużą ilość odpadów zielonych (kolejno 4% i 0,1% w poszczególnych gminach).

Nowy system gospodarki odpadami przewiduje również zwiększenie poziomów odzysku różnego rodzaju odpadów. Wymagane poziomy recyklingu określone są między innymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 29 maja 2012 r. w sprawie poziomów recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami niektórych frakcji odpadów komunalnych (Dz.U. 2012 nr 0 poz. 645). Wymagane poziomy zostały wyznaczone osobno dla każdego roku.

Tabela 1. Osiągnięte poziomy recyklingu w wybranych gminach w 2014 r.

Rodzaje odpadów	Gmina Łomża	Gmina Białystok	Gmina Czyże	Wartość wymagana wg [18]
Frakcje surowcowe odpadów komunalnych (papier, metal, tworzywa sztuczne, szkło)	24,67%	19,77%	21,2%	14
Odpady komunalne ulegające biodegradacji kierowane do składowania na składowiska	34,11%	48,77%	4,67%	50
Inne niż niebezpieczne odpady budowlane i rozbiórkowe	99,58%	52,48%	100%	38

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [12, 14, 15, 18]

W przypadku analizowanych gmin wymogi te utrzymują się na różnych poziomach. Recykling frakcji surowcowych odpadów komunalnych we wszystkich gminach przebiega na odpowiednim poziomie. Sprawa wygląda inaczej w przypadku recyklingu odpadów komunalnych ulegających biodegradacji. Wymagany poziom nie został uzyskany w żadnym przypadku. Gmina Czyże znacząco odbiega pod tym względem od pozostałych analizowanych gmin. Przetwórstwo oraz ponowne wykorzystanie innych niż niebezpieczne odpadów

budowlanych i rozbiórkowych wynosi prawie 100% w gminach Czyże i Łomża, natomiast 52,48% w gminie Białystok.

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy danych z 2014 roku nasuwa się wniosek, że prowadzenie selektywnej zbiórki odpadów nie tylko pozwala chronić środowisko i poprawiać jego stan, ale również jest korzystne ze względów ekonomicznych. Mieszkańcy coraz częściej decydują się na segregowanie śmieci, ponieważ ich odbiór i zagospodarowanie wiąże się z mniejszymi kosztami. Warto zwrócić uwagę na wysokość opłat obowiązujących od 2014 roku w poszczególnych gminach. W gminie Białystok mimo, że kwotę nalicza się również w zależności od rodzaju i wielkości nieruchomości, jest ona niższa w przypadku selektywnej zbiórki odpadów. W gminie Czyże natomiast koszt odbioru i zagospodarowania odpadów zmieszanych od 1 mieszkańca jest aż dwa razy większy od selektywnie zbieranych. W przypadku gminy Łomża stawka uzależniona była również od liczby osób w gospodarstwie domowym oraz rodzaju zabudowy - wyższa cena za odbiór odpadów zmieszanych ma zachęcić mieszkańców do segregacji. Takie działanie ma na celu ułatwienie gospodarki odpadami i zmniejszenia kosztów ich zbiórki zarówno dla samorządów gminy jak i dla mieszkańców. Zachęceni niższą opłatą decydują się na selektywną zbiórkę odpadów i tym samym przyczyniają się również do polepszenia stanu środowiska. Ważną kwestią jest również ilość odebranych odpadów z terenu poszczególnych gmin w przeliczeniu na 1 mieszkańca. W gminie Białystok ta wartość jest około 2,8- krotnie wyższa od gminy Czyże. Można zatem wywnioskować, że im

gminę cechuje bardziej zaawansowany stopień rozwoju gospodarczego, tym większa jest ilość wytworzonych odpadów.

Struktura odpadów odebranych z podziałem na frakcje jest również zróżnicowana w poszczególnych gminach. W gminie Czyże jest dużo mniej odpadów zmieszanych, gdyż część z nich zostaje oddana jako karma dla zwierząt lub zostaje przetworzona powtórnie. Biodegradowalność dużej ilości odpadów świadczy o typowo rolniczym charakterze tej gminy. W przypadku Białegostoku i Łomży sytuacja przedstawia się w podobny sposób – odpady zmieszane stanowią zdecydowaną większość. Tylko niewielki procent z nich stanowią takie frakcje jak: frakcje surowcowe bez szkła, odpady budowlane, szkło, odpady wielkogabarytowe oraz odpady zielone.

Wymagane poziomy recyklingu odpowiednich frakcji odpadów wytwarzanych na terenach poszczególnych gmin zostały w większości spełnione. Wymogi nałożone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 29 maja 2012 r. w sprawie poziomów recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami niektórych frakcji odpadów komunalnych (Dz.U. 2012 nr 0 poz. 645) przynoszą wyraźne efekty, w postaci wzrostu recyklingu.

5. Wnioski

1. Nowe regulacje prawne w zakresie gospodarki odpadami przyczyniły się do wzrostu ilości odpadów zbieranych selektywnie.
2. Niższy koszt odbioru opadów segregowanych, w porównaniu do odpadów zmieszanych wpływa pozytywnie na wzrost ilości segregowanych odpadów.

3. Gminy wraz ze wzrostem zaawansowania infrastruktury gospodarki odpadami, przybliżają się do wymaganego w ustawodawstwie poziomu recyklingu.
4. W gminie Białystok i gminie Łomża procentowy udział odpadów zmieszanych jest znacznie większy niż w gminie Czyże, co świadczy o bardziej zaawansowanym stopniu rozwoju gospodarczego obu gmin.

Literatura:

1. Grygorczuk-Petersons H. E., Tałałaj I.: *Kształtowanie gospodarki odpadami w gminie*, Podlaska Agencja Zarządzania Energią, Białystok 2007, str. 6.
2. Ciesielczuk T., Rosik-Dulewska C.: *Wybrane problemy gospodarki odpadami komunalnymi na terenach wiejskich*, Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych, nr 18, 2014, str. 13–27.
3. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. 2013 poz. 21, z późn. zm.).
4. Ustawa z dnia 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz. U. z 2013 r. poz. 1399 i 1593, z późn. zm.).
5. Malinowski M.: *Analiza kosztów zbierania i transportu zmieszanych odpadów komunalnych*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 4, 2014, str. 1179–1191.
6. Brzezicka-Tesarczyk S.: *Nowe prawo dla czystego środowiska – konsekwencje wdrożenia zmian legislacyjnych*, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, vol. 15, issue 21, 2013, str. 19-22.
7. Pasak J., Pikoń K.: *Evaluation of environmental effect of waste management system following legislation process introducing modifications to the legal system in Poland*, Archives of Waste

- Management and Environmental Protection, vol. 17, issue 4, 2015, str. 87-100.
8. Malinowski, M., Wozniak, A.: *Problem optymalizacji logistycznych parametrów transportu odpadów komunalnych w aspekcie strategii ekofirmy*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 10, 2011, str.107-119.
 9. www.region.e-podlasie.pl/gminy/bialystok.html, [dostęp 20.03.2016].
 10. www.odpady.bialystok.pl, [dostęp 20.03.2016].
 11. www.lomza.pl, [dostęp 20.03.2016].
 12. Analiza stanu gospodarki odpadami komunalnymi Gmina Łomża, Łomża 2015. [dostęp: 20.03.2016.]
 13. www.ugczyze.pl, [dostęp 20.03.2016].
 14. Sprawozdanie wójta, burmistrza lub prezydenta miasta z realizacji zadań z zakresu gospodarowania odpadami komunalnymi za 2014 rok, Czyże 2014.
 15. Analiza stanu gospodarki odpadami komunalnymi na terenie gminy Białystok za 2014 rok, Kraków 2015, [dostęp: 12.03.2016]
 16. „Planem Gospodarki Odpadami Województwa Podlaskiego na lata 2012-2017 .
 17. www.odpady.bialystok.pl/gniazda-do-selektywnej-zbiorki-odpadow-ustawione, [dostęp: 12.03.2016].
 18. Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 29 maja 2012 r. w sprawie poziomów recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami niektórych frakcji odpadów komunalnych (Dz.U. 2012 nr 0 poz. 645).

mgr inż. Katarzyna Kalinowska-Wichrowska¹⁾
Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Materiałów, Technologii i Organizacji Budownictwa
ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok
¹⁾katarzyna.wichrowska@op.pl

Gruz budowlany - niektóre aspekty prawne odpadu

The building rubble - some legal aspect of waste

Słowa klucze: *recykling betonu, odpad, zagospodarowanie, gruz betonowy*

Keywords: *recycling of concrete, waste, waste management, concrete rubble*

Streszczenie: Ilość odpadów budowlanych generowanych zarówno w Polsce, jak i na świecie ma tendencję wzrostową. Dzieje się tak ze względu na ogromną popularność betonu, z którego wznosится wszelkiego typu budowle. Beton jest wdzięcznym materiałem, znanym już od wieków, w miarę upływu czasu ciągle ulepszanym, a jego zużycie można wręcz porównać do zużycia wody. Drogownictwo, budownictwo mieszkaniowe, czy hydrotechniczne, w każdej dziedzinie beton świetnie odgrywa swą rolę. Niestety jak w zasadzie wszystkie materiały, po czasie eksploatacji staje się odpadem. Z pięknych i wzniosłych budynków, po czasie zostaje gruz. Gruz, z którym już nie ma tylu pomysłów i możliwości użytku. Powstaje szereg problemów, dotyczących składowania, gromadzenia, a najlepiej przetworzenia i pozbycia. W Japonii czy USA ok. 70% odpadów budowlanych jest poddawanych procesowi recyklingu i ponownie wykorzystywanych przy nowych inwestycjach. W artykule pokrótce zwrócono uwagę na aktualny stan prawny w obszarze recyklingu betonu w Polsce.

1. Wstęp

W wyniku kataklizmów spowodowanych trzęsieniami ziemi w USA i Japonii powstały olbrzymie ilości odpadu budowlanego, które trzeba było zagospodarować na miejscu. Dotyczyło to gruzu betonowego, który można zastosować do produkcji nowego betonu podczas

rekonstrukcji zniszczonych obiektów. Już 15 lat temu w Japonii roczna ilość produkowanego gruzu betonowego wynosiła 35 mln ton, a w Polsce 1,2 mln ton [1]. Ta różnica spowodowana jest nie tyle małą ilością odpadów betonowych produkowanych w Polsce, co ich pobieżną ewidencją. Na chwilę obecną w Polsce brak jest dokładnych danych na temat ilości gromadzonych i przetwarzanych odpadów budowlanych, lecz według prognoz gospodarczych ich produkcja, zarówno w Polsce jak i w Unii Europejskiej będzie miała tendencję wzrostową. W związku z globalnym użyciem betonu, stał się on najczęściej używanym materiałem po wodzie. Szacunki podają, iż nawet 25 mld ton betonu jest produkowanych na całym świecie. Konsekwencją tego jest 510 mln ton odpadów budowlanych generowanych w Europie, około 325 mln ton w USA i około 77 mln ton w Japonii [2].

Gruz budowlany można ponownie zagospodarować jako np. substytut kruszywa do betonu, do wymiany lub stabilizacji i wzmocnienia gruntu, na nasypy lub podbudowy drogowe, do budowy dróg lokalnych i leśnych, do rekultywacji składowisk i wypełniania wyrobisk, do warstw drenujących i wyrównawczych. Wykorzystanie gruzu betonowego do produkcji betonu konstrukcyjnego i wbudowanie przetworzonego odpadu w nowe obiekty budowlane nie jest łatwe. Należy mieć na uwadze, iż gruz budowlany jest materiałem o bardzo dużej zmienności cech chemicznych i fizycznych. Stwarza to trudności

w doborze odpowiedniej metody przetwarzania, pozwalającej otrzymać materiał, który będzie nadawać się do stosowania przy produkcji betonu.

1. Regulacje prawne

1.1. Polska w realizacji zadań stawianych przez UE

W Polskim prawie wg Ustawy o odpadach 2012 z późn. zm. [3] pod pojęciem recyklingu rozumie się „odzysk, w ramach którego odpady są ponownie przetwarzane na produkty, materiały lub substancje wykorzystywane w pierwotnym celu lub innych celach; obejmuje to ponowne przetwarzanie materiału organicznego (recykling organiczny), ale nie obejmuje odzysku energii i ponownego przetwarzania na materiały, które mają być wykorzystane jako paliwa lub do celów wypełniania wyrobisk”. Wg dyrektywy ramowej o odpadach [4] będącej zasadniczym aktem prawa UE w dziedzinie gospodarki odpadami, dążeniem Komisji Europejskiej jest stworzenie w obrębie Unii „społeczeństwa recyklingu”, którego celem będzie „unikanie wytwarzania odpadów oraz wykorzystywanie odpadów jako zasobów”. Art. 29 wymienionej dyrektywy [4] poucza o tworzeniu programów zapobiegania powstawaniu odpadów, których celem będzie przerwanie powiązania pomiędzy wzrostem gospodarczym a wytwarzaniem odpadów mających wpływ na środowisko. Państwa członkowskie, w tym i Polska, były zobowiązane do opracowania programów zapobiegania powstawaniu odpadów w terminie do dnia 12 grudnia 2013 r. Przeciwdziałanie powstawaniu odpadów związane jest ściśle z realizacją najważniejszej Strategii rozwojowej UE – Europa 2020 – Europa efektywnie wykorzystująca swoje zasoby i ma odzwierciedlenie w jej dokumentach realizacyjnych. Komisja Europejska opracowała również Wytoczne

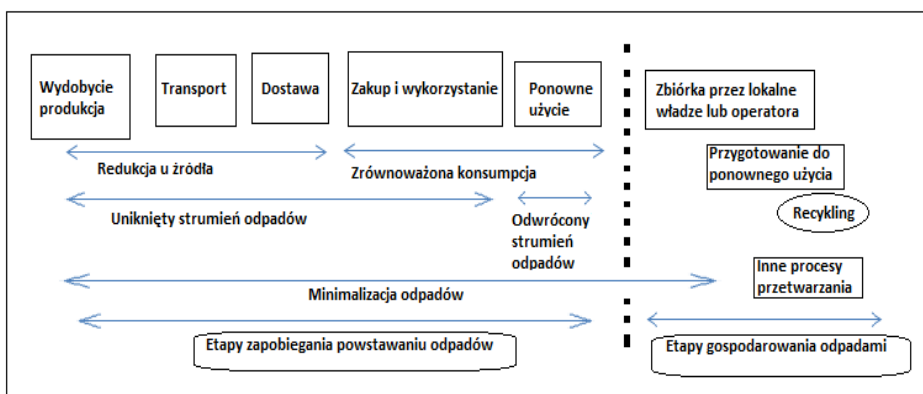
dotyczące przygotowania programów zapobiegania powstawaniu odpadów, które stały się bazą do powstania w Polsce m.in. Krajowego planu gospodarowania odpadami, wyznaczającego ogólne zasady zapobiegania powstawaniu.

W myśl dyrektywy ramowej o odpadach [4], będącej zasadniczym aktem prawa UE w dziedzinie gospodarki odpadami, dążeniem Komisji Europejskiej było stworzenie w obrębie Unii „społeczeństwa recyklingu”, którego celem będzie „unikanie wytwarzania odpadów oraz wykorzystywanie odpadów jako zasobów”. Art. 29 wymienionej dyrektywy [4] poucza o tworzeniu programów zapobiegania powstawaniu odpadów, których celem ma być przerwanie powiązania między wzrostem gospodarczym a wytwarzaniem odpadów mających wpływ na środowisko. Państwa członkowskie, w tym i Polska, zostały zobowiązane do opracowania programów zapobiegania powstawaniu odpadów w terminie do dnia 12 grudnia 2013 r. Przeciwdziałanie powstawaniu odpadów związane jest ściśle z realizacją najważniejszej Strategii rozwojowej UE – Europa 2020 – Europa efektywnie wykorzystująca swoje zasoby i ma odzwierciedlenie w jej dokumentach realizacyjnych. Aby ułatwić państwom Członkowskim korzystanie z wielu możliwości zapobiegania powstawaniu odpadów i efektywnego korzystania z zasobów i wskazać zbiór najlepszych praktyk w tym zakresie, Komisja Europejska opracowała Wytyczne dotyczące przygotowania programów zapobiegania powstawaniu odpadów [5]. Wytyczne[5] stały się bazą do powstania w Polsce m.in. Krajowego planu gospodarowania odpadami, który to wyznacza ogólne „ramy” zapobiegania powstawaniu odpadów na poziomie krajowym. Krajowy plan gospodarki odpadami 2014 [6] został przyjęty uchwałą Rady

Ministrów z dnia 24 grudnia 2012 r. (M.P. Nr 101, poz. 1183). Wymaga jednak uzupełnienia w zakresie określenia bardziej szczegółowych celów oraz sposobu przełożenia tych celów na konkretne działania (środki) w zakresie zapobiegania, dla których istotne jest określenie jakościowych lub ilościowych poziomów odniesienia w celu nadzorowania i oceny postępu we wdrażaniu. Art. 17 ustawy [3], wprowadza następującą hierarchię sposobów postępowania z odpadami:

1. zapobieganie powstawaniu odpadów,
2. przygotowywanie do ponownego użycia,
3. recykling,
4. inne procesy odzysku,
5. unieszkodliwianie.

Na rysunku 1. przedstawiono schemat - definicję, wyjaśniający proces zapobiegania powstawaniu odpadów. W procesie wyodrębniono zostały dwa etapy: zapobiegający powstawaniu odpadów oraz etap gospodarowania odpadami. Recykling przypisany jest do etapu gospodarowania.



Rysunek 1. Schemat - definicja zapobiegania powstawaniu odpadów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie[7]

Zapobieganie powstawaniu odpadów uzależnione jest od wielu czynników, które nie mają bezpośredniego związku z gospodarowaniem odpadami, ale powiązane są np. ze wzrostem gospodarczym, stopniem wdrożenia przez przedsiębiorców najlepszych dostępnych technik, jak również poziomem zamożności społeczeństwa. Na ilość wytwarzanych odpadów mają też wpływ wzorce konsumpcji i świadomość ekologiczna. Zapobieganie powstawaniu odpadów powinno być realizowane już na etapie projektowania wyrobu (tzw. ekoprojektowanie), w fazie jego produkcji, dystrybucji, konsumpcji, aż do etapu ostatecznego zagospodarowania odpadów powstających z tego wyrobu po zakończeniu cyklu jego życia. Postępowanie to powinno dotyczyć zarówno procesów produkcyjnych jak i, uwzględniając specyfikę działalności, procesów innych niż produkcyjne [7].

Odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej powstają w budownictwie mieszkaniowym i przemysłowym, a także w kolejnictwie i drogownictwie. Odpady tego typu powstają na etapie budowy, remontu oraz podczas prac rozbiórkowych. Jak podaje Ustawa [3] wymienione odpady należy zakwalifikować do grupy 17 – odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (włączając glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych). W tabeli 1. przedstawiono dane dotyczące ogólnej ilości wytworzonych odpadów z grupy 17, poddanych odzyskowi i unieszkodliwionych, wg danych na koniec 2014 roku.

Tabela 1. Ilości wytworzonych, poddanych odzyskowi i unieszkodliwionych odpadów z grupy 17 w 2014r.[8]

Kod i rodzaj odpadu		Wytworzone	Poddane odzyskowi	Unieszkodliwione ogółem	Unieszkodliwione przez składowanie	Przekazane innym odbiorcom	Magazynowane czasowo	Dotychczas składowane (nagromadzone)
		[w tysiącach ton]						
17 - Odpady z budowy, remontów demontażu obiektów budowl. oraz infrastruktury drogowej	W Polsce	1570,0	591,8	86,6	86,6	855,6	36,2	3110,4
	W woj. podlaskim	197,9	-	-	-	191,6	6,3	-

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS [8]

Dane o odpadach dotychczas składowanych (nagromadzonych) dotyczą ilości odpadów zdeponowanych na terenach własnych zakładów w wyniku składowania w roku sprawozdawczym i w latach poprzednich. Na terenie województwa podlaskiego działa 6 zakładów generujących odpady budowlane. Dane ilościowe o odpadach budowlanych zawierają także glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych. Brak jest danych ewidencyjnych co do udziału gleb i ziemi we wszystkich odpadach z grupy 17. Jednak jak prognozowano w Krajowym Planie Gospodarki Odpadami największy udział w ilości odpadów z grupy 17 stanowią: gleba i ziemia (72,16%) oraz odpady materiałów budowlanych (16,81%). Odzysk odpadów z grupy 17 w stosunku do ich masy wytworzonej w latach 2011-2012 wynosił średnio ponad 100%, co może wynikać z faktu magazynowania odpadów we wcześniejszych latach i poddawania ich odzyskowi w analizowanym okresie, ale również podwójnej ewidencji, tj. ewidencji tych samych odpadów przez przedsiębiorstwa zajmujące się odzyskiem, nie zawsze ostatecznym a np. wstępnym. Unieszkodliwieniu poddano natomiast ok. 1% analizowanych odpadów. Po okresie początkowego wzrostu ilości odpadów z grupy 17, w latach 2011 i 2012 obserwowano spadek, co mogło być również spowodowane niekompletnością danych. Po okresie kryzysu i stagnacji prognozuje się wzrost koniunktury w sektorze budownictwa, a wraz z nim powrót do zwykłej tendencji wytwarzania odpadów z grupy 17. Prognoza zawarta w Kpgo 2014 mówi o wzroście do poziomu 5600 tys. Mg do 2022 roku [7].

1.2. Plany gospodarki odpadami

Uchwała w sprawie wykonania wojewódzkiego planu gospodarki odpadami jest aktem prawa miejscowego. Plan Gospodarki Odpadami Województwa Podlaskiego [9], zgodnie z przepisami Ustawy [3] obejmuje wszystkie rodzaje odpadów powstających na obszarze województwa oraz przywożonych na jego obszar, w tym odpady zakwalifikowane do grupy 17. Przedstawione w Planie [9] cele i zadania dotyczą okresu 2012 – 2017. Rokiem bazowym jest 2010 r. W gospodarce odpadami komunalnymi wskazano do osiągnięcia w odniesieniu do odpadów budowlanych następujące poziomy odzysku odpadów budowlano - remontowych: niż niebezpieczne: rok 2014 - 40%, rok 2017 - 55%.

W roku 2010 w województwie podlaskim wytworzono blisko 1 mln Mg odpadów z grup 01-19 i przewidywano systematyczny wzrost ich ilości, co wydaje się realne z punktu widzenia rozwoju regionu. Wg informacji podanych przez GUS, głównym sposobem postępowania z wytworzonymi w województwie podlaskim odpadami z grup 01–19 było poddanie ich odzyskowi (90%). Dane [10,11] wskazują, że na terenie województwa podlaskiego zagospodarowano łącznie 541 585,190 Mg odpadów z grup 01 – 19 (59,0% masy wytworzonych odpadów). Pozostała masa odpadów została przeznaczona do zagospodarowania poza województwem podlaskim. Odpady na terenie województwa podlaskiego poddawane były odzyskowi głównie w procesie R14 - inne działania prowadzące do wykorzystania odpadów w całości lub części lub do odzyskania z odpadów substancji lub materiałów, łącznie z ich wykorzystaniem, niewymienione w punktach od R1 do R13 oraz w procesie R1 - wykorzystanie jako paliwa lub innego środka wytwarzania energii, niewiele ponad 1% odpadów poddane były procesowi

R3- Recykling lub regeneracja substancji organicznych, które nie są stosowane jako rozpuszczalniki (włączając kompostowanie i inne biologiczne procesy przekształcania). Analizę prognoz dla poszczególnych grup odpadów przedstawiono w formie tabelarycznej (tabela 2). Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń, do roku 2020 masa wytwarzanych w przemyśle odpadów będzie wzrastać.

W WPGO[9,10] na lata 2012-2017 dla naszego województwa przedstawiono szczegółowe cele działań dla odpadów z grupy 17. Cele na rok 2017, zakładają minimum 70% wagowego poziomu przygotowania do ponownego użycia, recyklingu oraz innych form odzysku materiałów budowlanych i rozbiórkowych.

Tabela 2. Prognoza wytwarzania odpadów na lata 2012, 2017, 2020 dla woj. Podlaskiego

Kod odpadu	Nazwa odpadu	Rok		
		2012	2017	2020
17		[tys. ton]		
Odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (włączając glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych)		80,0	90,0	100,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie [9,10]

Podlaski Samorząd wojewódzki sformułował w odniesieniu do odpadów z grupy 17 następujące kierunki działań, mająca na celu zmniejszenie ich ilości:

- rozbudowę infrastruktury technicznej selektywnego zbierania, przetwarzania oraz odzysku, w tym recyklingu tych odpadów,
- kontrolę właściwego postępowania z tymi odpadami.

Pamiętać należy jednak, iż bardzo istotnym warunkiem realizacji planu gospodarki odpadami jest wysoka świadomość społeczeństwa, które powinno brać aktywny udział w strategii zagospodarowania odpadów.

Wydaje się, że przepisy prosto określają, co należy zrobić z powstałym odpadem, także budowlanym. W praktyce jednak w zderzeniu z kosztami czy pokonaniem drogi prawnej w postaci uzyskania pozwoleń itp., wiele podmiotów, a w szczególności firmy branżowe, podchodzi do recyklingu betonu w sposób „tradycyjny”, a więc gruz betonowy traktuje wyłącznie jako odpad i wykorzystuje go do podbudowy dróg, niwelacji terenów itp. zapominając, iż proces recyklingu gruzu, pozwala na np. uzyskanie wartościowego kruszywa.

Ustawa o odpadach [3] przewiduje możliwość kwalifikacji gruzu budowlanego jako produkt uboczny. Pozwala na to Art. 14. [3], który mówi, iż określone rodzaje odpadów przestają być odpadami, jeżeli na skutek poddania ich odzyskowi, w tym recyklingowi, spełniają:

- 1) łącznie następujące warunki:
 - a) przedmiot lub substancja są powszechnie stosowane do konkretnych celów,
 - b) istnieje rynek takich przedmiotów lub substancji lub popyt na nie,
 - c) dany przedmiot lub substancja spełniają wymagania techniczne dla zastosowania do konkretnych celów oraz wymagania określone w przepisach i w normach mających zastosowanie do produktu,
 - d) zastosowanie przedmiotu lub substancji nie prowadzi do negatywnych skutków dla życia, zdrowia ludzi lub środowiska (...).

Przy takim rozwiązaniu status „odpadu” przestaje funkcjonować, a jednocześnie znika problem utylizacji, wymaganych pozwoleń, itp. Można w ten sposób skrócić dystans przy realizacji różnych

przedsięwzięć i obniżyć koszty funkcjonowania zakładów, poprzez brak konieczności utylizacji odpadów i zamianę odpadu - w wartościowy produkt.

3. Podsumowanie

W Polsce Ustawodawca przewidział stosowne przepisy regulujące postępowanie z odpadami, także z sektora budowlanego (gruzem budowlanym). Ustawa o odpadach [3] kwalifikuje odpady z budowy do grupy 17. Prognozy ilościowe przedstawiane przez GUS [10,11] przewidują ciągły wzrost odpadów, także z grupy 17, co ma związek z popularyzacją użycia betonu do wykonywania różnego typu budowli. Przedkłada się to również, obecnie i w przyszłości na problemem ich gospodarowania i utylizacji. Ważnym aspektem, na który nacisk kładzie zarówno UE, jak i Polska jest recykling, pojmowany jak najszerzej. O ile „naturalnym” wręcz jest recykling wyrobów sztucznych, czy szklanych, to recykling gruzu betonowego nie jest już tak oczywisty w naszym kraju. W ustawie [3] brak jest precyzyjnych szczegółów dotyczących recyklingu gruzu budowlanego, a w opracowanych Kpgo i Wpgo zawarte są jedynie opinie co do potrzeby recyklingu i deklaracje pomocy ze strony organów administracji. Recykling odpadów betonowych jest ujęty w sposób stricte teoretyczny - założono cele zwiększenia skali recyklingu i możliwości działań, lecz brak w sprecyzowaniu metod wdrożeniowych. Przedsiębiorcy, którzy chcą poddawać generowane w swoich fabrykach odpady budowlane procesowi recyklinyacji, dokładną ścieżkę postępowania muszą opracowywać samodzielnie, mieszcząc się w ramach prawnych. Być może takie podejście do recyklingu sprawiło, iż jesteśmy daleko za innymi krajami UE

(np. Dania czy Szwecja) oraz prekursorami jakimi są Japonia i USA, w zaawansowaniu i zastosowaniu tego procesu oraz czerpaniu z niego korzyści, zarówno ekologicznych, jak i ekonomicznych. Samo zachęcanie do recyklingu i informatyzacja społeczeństwa, choć bardzo ważne i pomocne, nie mają pożądanego wpływu na wzrost udziału procesu recyklingu w dziedzinie przetwarzania odpadów. Odczuwa się potrzebę dokładnej ewidencji i analizy różnicowej odpadów z grupy 17 oraz nadanie ogólnych wskazówek, planów, systemów, programów, co do sposobu recyklingu oraz wymiernego wsparcia finansowego Samorządów.

Literatura:

1. Zając B., Gołębiowska I., *Ewolucja technologii recyklingu betonu*. Inż. Ap. Chem. 2010, s.134–135.
2. Ferrari G., Miyamoto M., Ferrari A. (2014). *New sustainable technology for recycling returned concrete*. Construction and Building Materials, vol. 67, 353–359.
3. Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. (Dz. U. z 2013 r. poz. 21, z późn. zm.)
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dn. 19.11.2008r.
5. European Commission, Directorate-General Environment, Preparing Waste Prevention Programme, Guidance document, October 2012 r.
6. Krajowy plan gospodarki odpadami 2014, przyjęty uchwałą Nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2012 r. (M.P. Nr 101, poz. 1183).
7. Krajowy program zapobieganiu powstawaniu odpadów, zespół autorski pod kierownictwem dr inż. I. Rackiewicz, Opole 2013 r.

8. *Ochrona Środowiska Environment 2015*, [w:] Informacje i opracowania statystyczne Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2015r.
9. Plan gospodarki odpadami województwa podlaskiego na lata 2012-2017, Białystok 2012r.
10. Prognoza oddziaływania na środowisko planu gospodarki odpadami województwa podlaskiego na lata 2012-2017, Białystok 2012r.
11. *Ochrona Środowiska i Leśnictwo w województwie podlaskim w 2014r.*, [w:] Informacje statystyczne, Urząd statystyczny w Białymstoku 2015r.

Paulina Stempnik¹⁾, Ewelina Toczyska²⁾

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, Wydział Przyrodniczy
Studenckie Koło Naukowe Gospodarki Przestrzennej

Siedlce, ul. Konarskiego 2

¹⁾paulinastempnik27@gmail.com, ²⁾ewelina.toczyska94@gmail.com

Biogazownie w Polsce - stan, perspektywy i zagospodarowanie pofermentu

Biogas plants in Poland - condition, prospects, digestate utilization

Słowa klucze: *biogazownia, produkcja biogazu, zagospodarowanie pofermentu*

Keywords: *biogaswork, biogas production, digestate utilization*

Streszczenie: Energetyka jest jedną z dziedzin gospodarki, która przyczynia się do znacznego pogorszenia warunków środowiskowych ze względu na stosowanie nieodnawialnych źródeł energii. Szansą dla środowiska jest możliwość produkcji energii z odnawialnych źródeł, jak np. wykorzystanie zasobów geotermalnych, słońca, wiatru i biomasy.

Coraz częściej doceniana jest możliwość wykorzystywania energii wytwarzanej w biogazowniach. Substratami w takim procesie produkcji mogą być odchody zwierzęce, organiczne odpady, osady ściekowe, osady ze składowisk odpadów oraz biomasa roślinna. Instalacje przetwarzają te substancje w procesach fermentacji metanowej, dzięki czemu powstaje biogaz, który użytkowany jest na cele energetyczne, a także masa pofermentacyjna. Z kolei te odpady pofermentacyjne muszą być zagospodarowane bez szkody dla środowiska naturalnego.

Celem publikacji jest przedstawienie aktualnego stanu i perspektywy rozwoju biogazowni w Polsce oraz problemów związanych z zagospodarowaniem pofermentu na podstawie aktualnie dostępnej literatury polskiej i światowej.

1. Wstęp

Biogaz to inaczej gaz wysypiskowy, który powstaje głównie w wyniku procesu beztlenowej fermentacji substratów. Surowce do produkcji biogazu dzielimy na monosubstraty i kosubstraty. Monosubstraty to substancje, które mają zdolność samoczynnej fermentacji, tj. zawierają korzystne proporcje poszczególnych składników oraz odpowiednią ilość bakterii metanogennych. Do monosubstratów można zaliczyć, np. gnojowicę bydła czy osad ściekowy, które są bogate w mikroorganizmy prowadzące fermentację metanową. Kosubstratami określamy te surowce, które dodawane są do komór fermentacyjnych w celu zwiększenia wydajności procesu i zbilansowania obciążenia substancją organiczną. Jednak tylko część kosubstratów użytych jako wsad ulega przemianom do biogazu. Nieprzefermentowane związki organiczne, biomasa bakterii biorących udział w procesie oraz składniki mineralne, stanowią pozostałość, którą określa się jako masę pofermentacyjną. Jest wartościowym produktem ubocznym, którego odpowiednie wykorzystanie może dostarczyć biogazowni dodatkowe korzyści i zyski. Poferment może być wykorzystywany m.in. jako nawóz, który jest w stanie zwiększyć plony nawet o 20%. Coraz częściej stosowany jest także jako składnik paszy dla zwierząt.

Biogazownie są uznawane za przyjazne środowisku. Przemawia za tym fakt, iż ograniczają one emisję szkodliwych substancji toksycznych do gleby i powietrza oraz wykorzystują odpady trudne do zagospodarowania i utylizacji. Dzięki użyciu powstałego w wyniku fermentacji osadu jako nawozu ograniczają stosowanie nawozów sztucznych. Ponadto biogazownie są instalacjami wydajnymi, ponieważ przy generatorach o tej samej mocy produkują czterokrotnie więcej energii

niż np. farma wiatrowa. Zapewniają bezpieczeństwo energetyczne dla lokalnej społeczności [1].

2. Biogazownie - ogólne informacje

Biogazownie stwarzają szerokie możliwości zagospodarowania różnych grup odpadów, które nie mogą być utylizowane w inny sposób, np. podczas spalania. Są to głównie odpady płynne, np. gnojowica. Znaczenie biogazowni rolniczych wzrasta znacząco w dużych gospodarstwach rolnych ze względu na szerokie możliwości zagospodarowania odpadów powstających w fermach chowu zwierząt i wykorzystania terenów pod uprawy surowców do produkcji biogazu. Biogazownie możemy podzielić na:

- rolnicze,
- rolniczo – utylizacyjne,
- inne, w tym biogazownie, które wykorzystują osady ściekowe lub zlokalizowane są na składowisku odpadów. [1]

Biogazownia rolnicza jest instalacją służącą do produkcji biogazu z organicznych substratów takich jak:

- nawozy naturalne (gnojowica, obornik, pomiot, gnojówka),
- biomasa roślinna (np. kiszonka z kukurydzy, buraków cukrowych, traw, żyta),
- produkty uboczne przemysłu rolno-spożywczego (np. wywar gorzelniany, pulpa ziemniaczana, serwatka, wysłodki, pozostałości warzyw i owoców) [2].

W celu uzyskania większej wydajności produkcji stosuje się wsad, który nie składa się z jednego składnika, lecz stanowi mieszaninę złożoną z kilku substratów. Należy starannie wybierać skład i proporcje składników

wsadu. Poprzez właściwie dobrane proporcje możemy wpływać na zawartość suchej masy i stosunek makroelementów w wytwarzanym produkcie, który dostarcza bakteriom biorącym udział w fermentacji odpowiednich składników odżywczych.

Fermentacja metanowa to kontrolowany proces naturalny, zachodzący w komorze fermentacyjnej, w środowisku beztlenowym, przy udziale mikroorganizmów, tzn. licznych bakterii: kwasotwórczych, octanowych i metanogennych. Produktem ubocznym fermentacji jest masa, która bogata jest w materię organiczną i cenne dla roślin związki mineralne. Taką masę nazywamy pofermentem, masą pofermentacyjną lub pulpą fermentacyjną.

Biogazownie rolnicze spełniają szereg istotnych funkcji, m.in.:

- wytwarzają energię z odnawialnych źródeł, składniki potrzebne do produkcji biogazu stale się odnawiają, np. przez ciągły wzrost roślin i odpadów z żywności czy z hodowli zwierząt;
- przetwarzają wszelkiego rodzaju pozostałości, generowane przez rolnictwo i przemysł rolno-spożywczy i zagospodarowują organiczne produkty pochodzenia rolniczego;
- stanowią źródło masy pofermentacyjnej, cenionej, jako nawóz rolniczy [2];
- przyczyniają się do redukcji wykorzystania pestycydów w rolnictwie w wyniku niszczenia nasion chwastów podczas fermentacji;
- stanowią miejsce zagospodarowania wielu odpadów, co przyczynia się do zmniejszenia powierzchni składowisk odpadów.

Z kolei po stronie wad można wymienić:

- dość kosztowną budowę komór fermentacyjnych i innych urządzeń instalacyjnych biogazowni;

- konieczność bezustannego dowozu substratu;
- nieprzyjemny zapach będący skutkiem niewłaściwie obsługiwanej bądź źle zaprojektowanej biogazowni;
- brak możliwości kontrolowania tempa produkcji biogazu;
- fakt, iż biogaz to gaz wybuchowy, należy więc odpowiednio się z nim obchodzić, składować i użytkować;
- możliwość wystąpienia utrudnień prawnych czy problemów z dofinansowaniem;
- zły stan infrastruktury energetycznej, problemy z instalacją sieci gazowej;
- zagrożenie uprawami monokulturowymi, które prowadzą do pogorszenia właściwości gleb a w konsekwencji do jej wyjałowienia [1].

3. Biogaz i jego wykorzystanie

Ustawa z dnia 20 lutego 2015 roku (Dz.U. 2015 poz. 478) o odnawialnych źródłach energii określa biogaz jako „gaz uzyskany z biomasy, w szczególności z instalacji przeróbki odpadów zwierzęcych lub roślinnych, oczyszczalni ścieków oraz składowisk odpadów”. Natomiast biogaz rolniczy jest to „gaz otrzymywany w procesie fermentacji metanowej surowców rolniczych, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych, odpadów lub pozostałości z przetwórstwa produktów pochodzenia rolniczego lub biomasy leśnej, lub biomasy roślinnej zebranej z terenów innych niż zaewidencjonowane jako rolne lub leśne (...)”[3].

Biogaz jest bezbarwną i bezwoną mieszaniną składającą się w większości z metanu (CH_4) i dwutlenku węgla (CO_2) oraz innych

śladowych domieszek, takich jak azot (N_2), siarkowodor (H_2S) czy amoniak (NH_3) (tab. 1). W zależności od swojego składu może mieć charakterystyczny zapach siarkowodoru.

Tabela 1. Zawartość poszczególnych składników w biogazie

Składnik	Stężenie [%]
metan (CH_4)	50-75
dwutlenek węgla (CO_2)	25-45
woda (H_2O)	2-7
siarkowodor (H_2S)	<2
azot (N_2)	≤ 2
tlen (O_2)	≤ 1
wodór (H_2)	≤ 1
merkaptany, składniki śladowe	≤ 1

Źródło: Oleszkiewicz J., *Eksploatacja składowiska odpadów. Poradnik decydena.*. Lem Projekt s.c., Kraków, 1999.

Istotna jest punktu widzenia gospodarki energetycznej jest zawartość metanu w biogazie. Decyduje ona bowiem o jego kaloryczności, czyli jego wydajności energetycznej. Im jest go więcej, tym więcej można uzyskać energii. Maksymalna zawartość metanu w biogazie może wynosić nawet 85%, a średnio wynosi ona 65%, co uzależnione jest od szczelności komór.

Do elementów wpływających na skład biogazu zaliczamy: rodzaj biomasy poddanej fermentacji, temperaturę procesu, pH itp. [1].

Odpowiednio dobierając elementy do procesu fermentacji możemy wpłynąć na efektywność procesu.

Wpływ na przebieg fermentacji, ma wiele czynników, które można podzielić na:

a) fizyczne

- temperatura - fermentacja metanowa może przebiegać w temperaturze 4-70°C, jednak każdy szczep bakterii potrzebuje do rozmnażania innego zakresu temperatury. Z tego powodu wyróżniamy fermentację: psychrofilną, mezofilną i termofilną. Wraz ze wzrostem temperatury wzrasta także efektywność bakterii metanogennych. W związku z tym nie opłaca się prowadzić fermentacji w temperaturach niższych niż 30°C, tj. w warunkach psychotrofilnych. W Europie rozpowszechnione jest prowadzenie procesu w komorach fermentacyjnych, które pracują zwykle w mezofilnym zakresie temperatur 30-40°C. Jest to najkorzystniejsze z ekonomicznego punktu widzenia, ponieważ w wyniku przeprowadzenia procesu w tych warunkach można uzyskać optymalną ilość biogazu.
- mieszanie - zabieg pomaga w zapewnieniu jednolitego przebiegu procesów, utrzymać jednakową temperaturę substratu, jednolitą konsystencję. Umożliwia także zagęszczenie biomasy poprzez wydzielanie wody nadosodowej, a także pozwala na łatwiejsze odgazowania oraz na zmniejszenie zawartości rozpuszczonego CO₂.

b) chemiczne

- pH - bakterie wywołujące fermentację wymagają odczynu obojętnego, jednak przebiega ona dobrze w zakresie pH=6,5-7,5. Niemożliwa jest ona przy pH powyżej 8 i poniżej 6.

- potencjał redox – bakterie, które biorą czynny udział w fermentacji metanowej potrzebują bardzo niskiego potencjału redox. Tworzą go następujące pary: metan CH_4 i dwutlenek węgla CO_2 oraz naładowany dodatnio proton H^+ i wodór H_2 . Aktywność bakterii spada, gdy do komory fermentacyjnej dostanie się powietrze, a dokładniej tlen, gdyż w jego obecności giną. Bakterie beztlenowe najlepiej rozwijają się w obecności wodoru.
- stosunek węgla do azotu C/N – bakterie uczestniczące w fermentacji do swojego rozwoju i rozmnażania potrzebują specjalnej pożywki. Musi ona zawierać odpowiednią proporcję węgla do azotu. W przypadku gdy w pożywce będzie zbyt dużo azotu, zostanie on zmagazynowany w postaci amoniaku i będzie toksyczny dla tych bakterii.

Surowcami do produkcji biogazu mogą być prawie wszystkie organiczne odpady produkcji rolnej. Należą do nich odchody zwierzęce, uprawy energetyczne oraz substancje organiczne z produkcji roślinnej. Jednym z często używanych substratów jest gnojowica, czyli mieszanka kału, moczu oraz wody. Mniejsze zastosowanie ma gnojówka, która może być stosowana jako dodatek w procesie fermentacji oraz obornik (odchody wraz ze ściółką).

W procesie produkcji biogazu możemy wykorzystywać także surowce miejskie, do których należą: frakcja organiczna, osad ściekowy, ścinki traw i odpady organiczne oraz resztki jedzenia. Trzecią grupą surowców są surowce przemysłowe takie jak: odpady z przemysłu spożywczego, mleczarskiego, cukrowniczego, farmaceutycznego, kosmetycznego, biochemicznego, papierniczego i mięsnego.

Biogaz o zawartości metanu powyżej 40% może być wykorzystywany przede wszystkim do celów energetycznych oraz

do innych procesów technologicznych. Oprócz tych zastosowań, biogaz jest przydatny przy procesach produkcji energii cieplnej w specjalnych kotłach gazowych oraz energii elektrycznej w silnikach iskrowych, turbinach czy jednostkach skojarzonych. W ostatnim czasie jednak wykorzystanie takiej energii straciło jednakże na znaczeniu w stosunku do elektrociepłowni blokowych i nie jest tak bardzo rozpowszechnione. Biogaz możemy wykorzystywać także jako paliwo do silników trakcyjnych oraz w procesach technologicznych, np. produkcji metanolu [4].

4. Poferment i jego zagospodarowanie

Funkcjonowanie biogazowni rolniczych wiąże się z powstaniem masy pofermentacyjnej, nazywanej też pofermentem, pulpą lub substancją pofermentacyjną. W zależności od wielkości biogazowni możemy otrzymywać różne ilości pofermentu, jednak zazwyczaj jest to do kilkudziesięciu tysięcy ton rocznie. Taka ilość może sprawiać problemy logistyczne i prawne. Zgodnie z obowiązującym prawem osad pofermentacyjny może być uznany za odpad lub nawóz organiczny (jako produkt uboczny) [5]. Substancja pofermentacyjna w świetle obowiązujących przepisów prawnych może, ale nie musi być uznawana za odpad. Ustawa o odpadach z 14 grudnia 2012 r. w art. 2 pkt 6c określa: „Przepisów ustawy nie stosuje się do (...) innych, niebędących niebezpiecznymi, naturalnych substancji pochodzących z produkcji rolniczej lub leśnej wykorzystywanej w rolnictwie, leśnictwie lub do produkcji energii z takiej biomasy za pomocą procesów lub metod, które nie są szkodliwe dla środowiska ani nie stanowią zagrożenia dla życia i zdrowia ludzi.” Ponadto według zapisów w tej ustawie odpad to „każda

substancja lub przedmiot, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do których pozbycia się jest obowiązany”. Na podstawie tego masę pofermentacyjną można traktować zarówno jako odpad jak i produkt uboczny, podlegający obrotowi handlowemu. [6]

Istnieje wiele sposobów, w jaki możemy zagospodarować poferment. Z każdym wiąże się określone korzyści płynące z szerokiej możliwości wykorzystania pozostałości pofermentacyjnej, a także zagrożenia, płynące ze zróżnicowanego wpływu instalacji biogazowych na środowisko naturalne.

Metody zagospodarowania osadu pofermentacyjnego zależą od charakterystyki i właściwości obszaru, na którym są zlokalizowane. Aby były bezpieczne i opłacalne należy odpowiednio oszacować i dobierać właściwą metodę w zależności od usytuowania geograficznego.

Ogólnie metody te można podzielić na: wykorzystanie rolnicze, utylizację termiczną oraz składowanie na składowisku odpadów, przy czym najczęściej stosowanymi w Polsce technologiami są dwie pierwsze. Wprowadzenie do obrotu nawozu organicznego jest możliwe po spełnieniu wymogów określonych w rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykorzystywanie niektórych przepisów o nawozach i nawożeniu (Dz.U. Nr 119 Poz. 765). Rozporządzenie to nakłada obowiązek przeprowadzenia badań nawozów organicznych wspomagających uprawę roślin pod kątem ich przydatności do nawożenia gleb i roślin. Poferment, aby mógł być uznany za środek poprawiający jakość gleby, musi być przebadany pod kątem fizykochemicznym, chemicznym oraz mikrobiologicznym [7].

Nawozy organiczne muszą spełniać wymogi rozporządzenia dotyczące maksymalnej zawartości zanieczyszczeń (przede wszystkim

metali ciężkich), a także minimalnej zawartości składników nawozowych, w zależności od tego, czy nawóz ma formę stałą czy płynną (tab. 2).

Tabela 2. Minimalna zawartość składników nawozowych i maksymalna zawartość zanieczyszczeń w nawozach organicznych i organiczno-mineralnych

Składnik	Nawóz organiczny w postaci stałej	Nawóz organiczny w postaci płynnej	Zanieczyszczenie	Maksymalna zawartość [mg/kg]
Substancja organiczna [%s.m.]	30	-	Kadm	5
Azot [%]	0,3	0,08	Chrom	100
Fosfor [jako % P_2O_5]	0,2	0,05	Nikiel	60
Potas [jako % K_2O]	0,2	0,12	Ołów	140
			Rtęć	2

Źródło: Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów o nawozach i nawożeniu (Dz.U. Nr 119 Poz. 765)

W rolnictwie na szeroką skalę stosuje się masę pofermentacyjną w postaci różnego rodzaju nawozów. Wiąże się to z tym, iż poferment zawiera związek $N-NH_4$, który jest łatwo przyswajalny dla roślin, zmniejsza zużycie nawozów mineralnych oraz skażenia wód powierzchniowych i gruntowych azotanami, a także ogranicza proces eutrofizacji wód. Zmniejsza także emisję szkodliwego metanu do atmosfery, który uwalnia się głównie podczas przechowywania nawozów organicznych. Likwidacji ulega odór, ograniczona zostaje emisja

SO₂, NO_x, CH₄. Zmniejszony zostaje stosunek C:N, a zwiększeniu ulega zawartość substancji organicznej.

Taki nawóz ma zazwyczaj „czysty skład”, tzn. jest wolny od patogenów i nasion chwastów. Rzadko zdarza się, aby zawierał którykolwiek z tych niepożądanych składników. Na zawartość niechcianych związków może mieć wpływ temperatura i okres retencji. Jego skład powoduje zmniejszone nakłady na użycie pestycydów, które są powodem migracji zanieczyszczeń do wód powierzchniowych i gruntowych [8].

Skład pofermentu uzależniony jest od rodzaju substratów, stanowiących wsad do biogazowni. W zależności od rodzaju i proporcji kosubstratów zagęszczających i zwiększających wydajność będzie zmieniała się wartość nawozowa pofermentu (tab. 3).

Tabela 3. Wartość nawozowa pofermentu w zależności od substratów

Substraty	Udział substratów (%)	Zawartość suchej masy (%)	Koncentracja składników w pofermentie (kg/m ³ świeżej masy)			
			N ogólny	N – NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
Kiszonka z kukurydzy (35% s.m.) + gnojowica bydłęca (8% s.m.)	70 30	9,0	5,8	3,8	2,3	9,1
Kiszonka z kukurydzy (35% s.m.) + gnojowica świńska (6% s.m.)	40 60	6,3	5,5	3,6	2,6	5,2
Kiszonka z kukurydzy (35% s.m.) + kiszonka GPS z żyta (29,4% s.m.)	80 20	10,9	7,0	4,6	2,8	11,1
Kiszonka z kukurydzy (35% s.m.) + gnojowica świńska (6% s.m.) + ziarno pszenicy (86,6% s.m.)	85 10 5	10,5	7,5	4,9	3,6	10,1
Kiszonka z kukurydzy (35% s.m.) + gnojowica bydłęca (8% s.m.) + kiszonka z traw (8% s.m.)	40 55 5	7,5	5,5	3,6	2,1	8,1
Gnojowica bydłęca (8% s.m.)	100	5,1	5,0	3,3	1,8	6,5

Źródło: www.gmina.bio-gazownie.edu.pl

Substancja pofermentacyjna wykorzystywana do celów nawozowych charakteryzuje się najczęściej dużym uwodnieniem, które wynosi od 90 do 97%. Dużą zawartością wody cechuje się poferment uzyskiwany z samej gnojowicy i wynosi 94%. Powoduje to znaczne zwiększenie kosztów transportu oraz wielkość zbiorników przeznaczonych do magazynowania. Natomiast przy substracie składającym się z gnojowicy, kiszonki i ziarna zbóż, substancja pofermentacyjna to około 90% wody.

Materiał organiczny zawarty w masie pofermentacyjnej nie jest szkodliwy dla środowiska i nie zawiera niebezpiecznych substancji. Zagrożeniem może być jedynie jego składowanie, w przypadku gdy nie będzie mógł być wykorzystany w rolnictwie jako nawóz ze względu na obecność metali ciężkich bądź stałych zanieczyszczeń stałych, jak np. plastik. Niestety nadal spora część masy pofermentacyjnej jest po prostu składowana. Traci ona wtedy na wartości – spada potencjał nawozowy i energetyczny. Z kolei wykorzystanie termiczne umożliwia produkcję dodatkowej energii i wartościowego popiołu, który jest bogaty w substancje odżywcze, przez co może być używany jako środek nawozowy.

Oprócz wykorzystywania pofermentu jako nawóz rolniczy istnieje możliwość zastosowania go jako dodatek do pasz. Osad po fermentacji obornika zawiera prawie dwukrotnie więcej aminokwasów niż świeży obornik i może zastępować w paszach część dodatków białkowych. Inną możliwością zagospodarowania frakcji stałej pofermentu stanowi jej spalanie w kotłach przystosowanych do spalania biomasy (proces odzysku R1) [9].

5. Stan i perspektywy biogazowni w Polsce

Pierwsze w Polsce biogazownie zakładane były przez firmę Poldanor S.A. w okolicy ferm hodowlanych, ponieważ gnojowica stanowiąca wsad do komór fermentacyjnych była stosunkowo łatwo dostępna i wymagała odpowiedniej utylizacji. Powstająca wyniku procesów fermentacyjnych energia elektryczna i ciepła używana była na własne potrzeby.

Obecnie biogazownie lokalizowane są także przy zakładach mięsnych (ubojniach) i przemysłu rolno-spożywczego, np. gorzelniach, mleczarniach, zakładach przetwórstwa warzyw i owoców.

Szacuje się, że Polska w 2020 roku osiągnie 15% udział odnawialnych źródeł energii w produkcji energii krajowej. W osiągnięciu tego celu pomoże budowa nowych biogazowni, które są bezpieczne z punktu widzenia ochrony środowiska [1].

Początkowo biogazownie w Polsce stosowały wyłącznie produkty typowo rolnicze – kiszonkę z kukurydzy i gnojowicę, a dopiero później obornik, zielonki i kiszonki z traw. Obecnie wykorzystywane na szerszą skalę są także pozostałości z przemysłu rolno-spożywczego. Przyczynia się to do szybszego rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce.

Takie rozwiązanie jest korzystne z punktu widzenia ochrony środowiska, gdyż mamy możliwość produkcji energii z odnawialnych źródeł z jednoczesnym zagospodarowaniem pozostałości organicznych. Ogranicza się w ten sposób negatywne oddziaływanie szerokiej gamy zanieczyszczeń związanych ze składowaniem materii organicznej na środowisko [2].

Tabela 4. Liczba biogazowni rolniczych w Polsce i ich moce produkcyjne

Typ instalacji	Liczba instalacji	Moc [MW]
Elektrownie biogazowe	120	69,105
wytwarzające z biogazu z oczyszczalni ścieków	43	22,898
wytwarzające z biogazu składowiskowego	73	40,587
wytwarzające z biogazu rolniczego	4	5,620

Źródło: Głasczka A., Wardal W. J., Romaniuk W., Domasiewicz T., *Biogazownie rolnicze*. Wyd. MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 2010

Aktualnie w Polsce funkcjonuje ok. 200 biogazowni (tab. 4), o łącznej zainstalowanej mocy elektrycznej wynoszącej ok.150 MW z czego 91 instalacji to biogazownie znajdujące się na składowiskach odpadów, 75 przy oczyszczalniach ścieków, pozostałe to biogazownie rolnicze.

Według rejestru ARR na dzień 15.01.2014 r. wpisanych jest 37 biogazowni rolniczych. Najwięcej biogazowni rolniczych zlokalizowanych jest na terenie województwa pomorskiego (9 instalacji) oraz zachodnio-pomorskim (6 instalacji) i lubelskim (5 instalacji) [10].

6. Aspekty funkcjonowania biogazowni w Polsce

Oddziaływanie biogazowni na otoczenie wiąże się z dużym wpływem inwestycji na otaczające środowisko. Produkcja biogazu jest ściśle związana z rolnictwem oraz przetwórstwem rolno-spożywczym, a więc w dużym stopniu uzależniona jest od rolniczego otoczenia. Rolnictwo jest zapleczem surowcowym oraz podstawowym miejscem zagospodarowania masy pofermentacyjnej. Substraty stosowane w biogazowni emitują specyficzne dla działalności rolniczej zapachy,

co może być uciążliwością dla okolicznych mieszkańców. Wśród płaszczyzn wpływu biogazowni na otoczenie wyróżniamy: aspekt społeczny, ekonomiczny i środowiskowy.

Aspekty społeczne

Funkcjonowanie biogazowni bardzo często daje regionowi wiele korzyści społecznych. Jedną z nich jest stworzenie nowego, stabilnego rynku zbytu dla surowców rolniczych. Biogazownie, jako wieloletni odbiorcy tych produktów rolnych bardzo często podpisują z rolnikami umowy, w których zawarte są zasady ustalania cen substratów w kolejnych latach.

Budowa nowej inwestycji oznacza także ożywienie gospodarcze regionu, co wiąże się m.in. z tworzeniem nowych miejsc pracy związanej z uprawą, zbiorem i wstępnym przygotowaniem biomasy. Istnieje także możliwość zatrudnienia przy obsłudze biogazowni i jej bazy surowcowej. Ponadto producenci biogazu często włączają się w życie lokalnej społeczności, stając się sponsorami różnych dóbr użyteczności publicznej, np. pokrywają część kosztów remontów i utrzymania dróg.

Miejscowości, w których lokalizowane są biogazownie stają się bardziej znane oraz uznaje się je za bardziej rozwinięte i nowoczesne. Wpływa to także pozytywnie na wizerunek całej gminy i miejscowości w niej leżącej.

Dla społeczeństwa budowa biogazowni łączy się także z negatywnym wpływem na przestrzeń społeczną i gospodarczą. Wynika często to z braku zainteresowania życiem lokalnym przez użytkownika danej biogazowni. Dlatego tak ważne jest ustalenie zasad współpracy i kompromisów.

Aspekty ekonomiczne

Budowa biogazowni przynosi wiele korzyści ekonomicznych zarówno dla producenta jak i dla lokalnej społeczności. Dla producenta jest to przede wszystkim dochód ze sprzedaży wyprodukowanej energii, ciepła, a niekiedy także nawozu lub masy pofermentacyjnej. Z kolei dla gminy pozytywnym aspektem są podatki wpływające od producentów biogazu. Korzyści czerpią także lokalne sklepy, m.in. ze sprzedaży nawozów, paliw i środków ochrony roślin. Biogazownie mogą być także źródłem ciepła dla regionalnych odbiorców.

Aspekty środowiskowe

Prawidłowo zbudowana i dobrze funkcjonująca przynosi dużo korzyści ekologicznych. Najważniejszą z nich jest ograniczenie zużycia kopalnych surowców energetycznych oraz zmniejszenie zanieczyszczeń powstających w procesie ich spalania. Produkcja biogazu wiąże się także ściśle z poprawą jakości nawożenia pól dzięki wykorzystaniu przefermentowanej gnojowicy o większej zawartości N-NH₄ DO (90%). Forma ta jest łatwiej przyswajalna przez rośliny oraz mniej narażona na wymywanie do wód powierzchniowych i gruntowych, przez co zmniejsza się jednocześnie ryzyko eutrofizacji i zanieczyszczenia wód. Uzyskanie biogazu w procesie fermentacji metanowej pozwala na redukcję nieprzyjemnych zapachów z surowej gnojowicy, ograniczenie emisji gazów cieplarnianych (podtlenku azotu, metanu i dwutlenku węgla) oraz eliminację patogenów.

Produkcja energii cieplnej i elektrycznej w biogazowniach wiąże się jednak z pewnymi uciążliwościami dla otaczającego ją środowiska. Wśród nich należy wymienić przede wszystkim uciążliwość odorową. Właściwe zabezpieczenie i uszczelnienie miejsc emisji brzydkich

zapachów pozwala jedynie na ich ograniczenie, a nie całkowite wyeliminowanie.

Funkcjonowanie biogazowni wiąże się także z dość częstym ruchem pojazdów transportujących substraty. Dostarczenie substratów poprzez urządzenia wewnętrzne to najbardziej przyjazne dla środowiska rozwiązanie.

Do negatywnych aspektów biogazowni, biorąc pod uwagę względy ekologiczne zaliczyć można ryzyko skażenia środowiska, głównie wód i gleb. Ryzyko to jest tym większe im mniej świadome jest zagospodarowywanie masy pofermentacyjnej [11].

7. Podsumowanie

1. Analizując funkcjonowanie, perspektywy i korzyści płynące z budowy biogazowni można stwierdzić, że nie mają one negatywnego oddziaływania na otoczenie, a nawet sprzyjają ochronie środowiska.
2. W dobie nieustającego rozwoju i udoskonalania nowoczesnych, innowacyjnych technologii stan biogazowni może ulec poprawie, tzn. będą powstawały nowe, bardziej wydajne instalacje produkujące biogaz. Istnieje jednak wiele płaszczyzn, które hamują ich rozwój. Takim czynnikiem mogą być finanse, związane z budową i eksploatacją biogazowni, a także zmieniające się ciągle przepisy prawne dotyczące dofinansowania do biogazowni (tzw. zielone certyfikaty), brak planów zagospodarowania przestrzennego w gminach, brak zgody na przyłączenie biogazowni do sieci energoelektrycznej, czy protesty mieszkańców związane z nieprzyjemnym zapachem.

3. Czynnikiem hamującym ich rozwój mogą być finanse, które wiążą się z budową i eksploatacją biogazowni. Chcąc chronić przyrodę powinniśmy patrzeć na to przez pryzmat szerokiej gamy korzyści, jakie płyną dla środowiska.
4. Należy dążyć do utworzenia dwóch modeli biogazowni rolniczych w Polsce: biogazowni scentralizowanych, które opierają się na partnerstwie publiczno-prywatnym oraz biogazowni indywidualnych, wykorzystujących własny surowiec i produkujących głównie na własne potrzeby.

Literatura:

1. Szymański M.: *Biogazownie. Korzyści czy zagrożenia*. Fundacja Wspierania Inicjatyw Ekologicznych, Kraków, 2012.
2. Kowalczyk-Juśko A., Szymańska M.: *Poferment nawozem dla rolnictwa*. Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, Warszawa, 2015.
3. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 roku o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. 2015 poz. 478).
4. Głazczka A., Wardal W. J., Romaniuk W., Domasiewicz T., *Biogazownie rolnicze*. Wyd. MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 2010.
5. www.yasni.pl, [dostęp: 22.02.2016].
6. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. z 2013 r. poz. 21).
7. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykorzystywanie niektórych przepisów o nawozach i nawożeniu (Dz.U. Nr 119 Poz. 765).

8. Pontus K. *Osad pofermentacyjny oraz jego wykorzystanie*, InnoBaltica, Gdańsk, 108-117.
9. www.gmina.bio-gazownie.edu.pl, [dostęp: 6.04.2016].
10. www.arr.gov.pl, [dostęp: 6.04.2016].
11. Kowalczyk-Juśko A.: *Biogazownie szansą dla rolnictwa i środowiska*, Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, Warszawa, 2007
12. Podkówka W., Podkówka Z., Kowalczyk-Juśko A., Pasyniuk P.: *Biogaz rolniczy – odnawialne źródło energii. Teoria, praktyczne zastosowanie*, PWRiL, 2012, Warszawa.
13. Oleszkiewicz J., *Eksploatacja składowiska odpadów. Poradnik decydena..* Lem Projekt s.c., Kraków, 1999.
14. Zarębski P.: *Uwarunkowania instytucjonalne lokalizacji inwestycji związanych z produkcją biogazu*, [w:] *Biogazownie. Rynek, konkurencyjność, analiza efektywności*: pod red. Niedziółka D., Wyd. CeDeWu, Warszawa, 2015, str. 13-31.
15. Budner W., *Lokalizacja przedsiębiorstw*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań, 2000.