



Dziedzina nauk inżynieryjno-technicznych
Dyscyplina: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka

mgr inż. Wojciech Dronia

Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów
Mechanical removal of contaminants from bio-waste

Opieka naukowa nad przygotowaniem rozprawy
doktorskiej:
Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Jędrzak
Promotor pomocniczy: dr inż. Jacek Połomka

Rozprawę akceptuję:

.....

Zielona Góra 2025

Podziękowania

*Pragnę złożyć serdeczne podziękowania Panu **prof. dr hab. inż. Andrzejowi Jędrczakowi** za otrzymaną pomoc, cenne rady i wskazówki jak również konstruktywne uwagi oraz poświęcony czas. Pańska merytoryczna wiedza, doświadczenie miały kluczowe znaczenie dla mojego rozwoju naukowego.*

*Chciałbym wyrazić ogromną wdzięczność Panu **dr inż. Jackowi Połomka** za pomoc i wsparcie, które towarzyszyły mi przez cały okres prowadzonych badań. Pana doświadczenie i cenne rady były dla mnie źródłem motywacji i inspiracji.*

Jestem niezmiernie wdzięczny za możliwość realizacji pracy pod Państwa kierunkiem.

Spis treści

Streszczenie.....	1
Summary	3
Wykaz skrótów	5
1. Wprowadzenie.....	7
2. Bioodpady	9
2.1. Ilość bioodpadów	10
2.1.1. Selektywne zbieranie	11
2.1.2. Czynniki sukcesu dla selektywnego zbierania bioodpadów	14
2.1.3. Ilość bioodpadów zbierana selektywnie.....	16
2.2. Skład i właściwości bioodpadów	18
2.3. Recykling	23
3. Przygotowanie bioodpadów do przetwarzania.....	27
4. Uzasadnienie wyboru tematu pracy	34
4.1. Aktualny system przygotowywania odpadów do procesu kompostowania w Instalacji Komunalnej w Marszowie.....	34
4.2. Strategia rozwoju instalacji	35
5. Tezy pracy	37
6. Cel pracy i zakres pracy	38
6.1. Cel pracy	38
6.2. Zadania badawcze	38
7. Zadanie 1: Skład morfologiczny bioodpadów dostarczanych na instalację.....	40
7.1. Metodyka badań morfologii bioodpadów	40
7.1.1. Rodzaje badanych odpadów.....	40
7.1.2. Pobór próbek odpadów	40
7.1.3. Częstotliwość i zakres badań	41
7.2. Wyniki badań	42
7.2.1. Ilość zbieranych odpadów	42
7.2.2. Skład morfologiczny bioodpadów	43
7.3. Dyskusja wyników	47
7.3.1. Ilość zanieczyszczeń w zbieranych bioodpadach	47
7.3.2. Główne grupy zanieczyszczeń	48
7.3.3. Korelacje między zawartością zanieczyszczeń a zawartością odpadów kuchennych i ogrodowych w bioodpadach.....	50
7.4. Wytyczne i zalecenia do zaprojektowania linii do wstępnego oczyszczania bioodpadów	52

8.	Zadanie 2: Opracowanie linii technologicznej do wstępnej obróbki bioodpadów	55
8.1.	Urządzenia do mechanicznego oczyszczania bioodpadów	55
8.1.1.	Maszyny i urządzenia do rozrywania worków	55
8.1.2.	Klasyfikacja sitowa	66
8.2.	Metodyka prowadzenia badań	68
8.2.1.	Wybór urządzenia do rozrywania i opróżniania worków	68
8.2.2.	Koncepcja linii do wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów	70
8.2.3.	Ustalenie niezbędnego poziomu usunięcia zanieczyszczeń z bioodpadów w procesie mechanicznego ich oczyszczania oraz wpływu tych operacji na właściwości bioodpadów i jakość wytwarzanego kompostu	75
8.3.	Wyniki badań	77
8.3.1.	Wybór urządzenia do rozrywania i opróżniania worków	77
8.3.2.	Koncepcja linii do wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów	83
8.3.3.	Ustalenie niezbędnego poziomu usunięcia zanieczyszczeń z bioodpadów w procesie mechanicznego ich oczyszczania oraz wpływu tych operacji na właściwości bioodpadów i jakość wytwarzanego kompostu	89
8.4.	Dyskusja wyników	91
8.4.1.	Wybór urządzenia do rozrywania i opróżniania worków	91
8.4.2.	Koncepcja linii do wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów	98
8.4.3.	Ustalenie niezbędnego poziomu usunięcia zanieczyszczeń z bioodpadów w procesie mechanicznego ich oczyszczania oraz wpływu tych operacji na właściwości bioodpadów i jakość wytwarzanego kompostu	111
9.	Porównanie wariantów instalacji mechanicznego oczyszczania bioodpadów i wybór ostatecznego rozwiązania	116
9.1.	Sprawność usuwania zanieczyszczeń	116
9.2.	Straty masy strumienia odpadów	116
9.3.	Dystrybucja masowa składników	117
9.4.	Bilans masowy procesu	118
9.5.	Skład i jakość produktu końcowego	120
9.6.	Analiza ekonomiczna	120
9.7.	Wybór systemu	123
10.	Podsumowanie	124
11.	Wnioski końcowe	128
12.	Kierunki dalszych badań	130
	Literatura	131

Streszczenie

Postęp cywilizacyjny niesie ze sobą między innymi wzrost ilości odpadów produkowanych w gospodarstwach domowych, których głównym składnikiem są bioodpady (ok. 31% m/m w Polsce). Bez wysokiego poziomu ich recyklingu, osiągnięcie ambitnych celów gospodarki odpadami komunalnymi w obiegu zamkniętym, nie będzie możliwe. Istnieje powszechna zgoda, że bioodpady są odpowiednim substratem do waloryzacji poprzez fermentację z produkcją biogazu, jak również mogą być wykorzystane do produkcji kompostu użyźniającego glebę.

Wytwarzanie z bioodpadów wysokiej jakości pofermentu lub kompostu wymaga surowca o najwyższej jakości. Mimo rosnącej świadomości społecznej bioodpady zbierane selektywnie nadal zawierają duże ilości zanieczyszczeń, takich jak tworzywa sztuczne, metale, szkło czy frakcje obojętne (np. kamienie). Zanieczyszczenia te negatywnie wpływają na działanie instalacji lub wręcz mogą uniemożliwiać przetwarzanie bioodpadów, dlatego powinny być skutecznie usunięte na etapie przygotowania wsadu, w procesie mechanicznej obróbki wstępnej.

Celem pracy doktorskiej wykonywanej w ramach V edycji programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Doktorat wdrożeniowy” było opracowanie linii technologicznej do rozrywania i opróżniania worków z bioodpadami oraz ich oczyszczania przy użyciu maszyn i urządzeń wykorzystywanych powszechnie w gospodarce odpadami. Dla realizacji tego celu wykonano dodatkowo badania zmian składu morfologicznego bioodpadów (ze szczególnym uwzględnieniem zawartości zanieczyszczeń) zbieranych w czterech gminach miejskich oraz czterech wiejskich, dla różnych typów zabudowy (wielorodzinna i jednorodzinna), w cyklu miesięcznym, w okresie od listopada 2021 do października 2022 r.

Pozyskana wiedza była podstawą do opracowania koncepcji linii technologicznej mechanicznego oczyszczania bioodpadów oraz przeprowadzenia badań jej skuteczności wydzielania zanieczyszczeń, obecnych w strumieniu bioodpadów dostarczanych na instalację Łużyckiego Centrum Recyklingu w Marszowie.

Kluczowym procesem jednostkowym linii oczyszczania bioodpadów jest urządzenie do rozrywania i opróżniania worków z bioodpadami. Przeprowadzono testy 6 urządzeń przeznaczonych do rozrywania i opróżniania worków. Ocena podstawowych parametrów technicznych testowanych urządzeń, ich wydajności i strat bioodpadów zmierzonych w badaniach, stopienia rozdrobnienia i skuteczności rozrywania worków z tworzyw sztucznych oraz kosztu zakupu wytypowanych urządzeń zdecydowały o wyborze do dalszych badań rozdrabniacza dwuwałowego z separatorem magnetycznym zamontowanym na końcu urządzenia.

Zaprojektowano i wybudowano dwa warianty instalacji wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów przygotowujących je do procesów kompostowania bądź fermentacji: Wariant II: rozdrabniacz dwuwałowy z separatorem ferromagnetycznym (SFM) + kabina sortownicza + sito obrotowe o oczkach 80 mm; Wariant III: rozdrabniacz dwuwałowy z SFM + sito gwiaździste + kabina sortownicza + sito obrotowe o oczkach 80 mm (opcja). Analizie

i ocenie poddano również proces obecnie stosowany do podczyszczania bioodpadów przed ich kompostowaniem (ręczne opróżnianie worków i usuwanie zanieczyszczeń - wariant I).

Zaproponowane nowe rozwiązania linii podczyszczania bioodpadów zapewniały wysoką skuteczność usuwania zanieczyszczeń (wariant II - 72%, a wariant III 75% m/m), zwłaszcza fragmentów worków na bioodpady (ponad 85% m/m) i tekstyliów (około 75% m/m). Skuteczność usuwania zanieczyszczeń w obecnie stosowanym procesie to zaledwie 4,9%. Straty substancji organicznej (masa gałęzi i innej organiki o uziarnieniu >80 mm) wynosiły 9,7% (W-II) i 24,9% m/m (W-III). Wyniki badań wykazały, że komposty niezależnie od zastosowanej metody podczyszczania bioodpadów spełniały wymagania dla nawozów organicznych. Udział zanieczyszczeń odniesiony do suchej masy kompostu (frakcja <10 mm) wynosiły 0,39 (W-II) i 0,44% sm (W-III), w tym suma udziałów szkła, metali, tworzyw sztucznych (kolejno 0,32 i 0,33% sm) były niższe od wartości dopuszczalnych dla kompostów w rozporządzeniu UE w sprawie nawozów.

Przeprowadzone badania potwierdziły, że procesy mechaniczne: rozrywanie i opróżnianie worków, separacja magnetyczna oraz przesiewanie, wsparte sortowaniem ręcznym są skuteczne w usuwaniu zanieczyszczeń z bioodpadów w stopniu gwarantującym spełnienie przez produkty końcowe biologicznego przetwarzania norm (kompost, fermentat) obowiązujących dla nawozów organicznych. Wstępne mechaniczne oczyszczanie bioodpadów nie wpływa negatywnie na przebieg przetwarzania bioodpadów i jakość produkowanego kompostu, ale wpływa na wydajność procesu kompostowania.

Z dwóch analizowanych wariantów linii do mechanicznego oczyszczania bioodpadów, biorąc pod uwagę skuteczności i ekonomię, bardziej korzystnym rozwiązaniem jest wariant II. Uzyskane wyniki badań potwierdzają tezę, że możliwe jest wybudowanie linii technologicznej, wykorzystując maszyny i urządzenia powszechnie dostępne na rynku, przy stosunkowo niewielkich nakładach inwestycyjnych oraz kosztach eksploatacji, która pozwoli na skuteczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów.

Słowa kluczowe: bioodpady, analiza składu, zanieczyszczenia bioodpadów, mechaniczne przetwarzanie, separacja zanieczyszczeń.

Summary

Civilization progress brings with it, among other things, an increase in the amount of waste produced in households, the main component of which is bio-waste (approx. 31% m/m in Poland). Without a high level of their recycling, achieving the ambitious goals of municipal waste management in a closed circuit will not be possible. There is a general agreement that bio-waste is a suitable substrate for valorization through fermentation with the production of biogas and can also be used to produce compost that fertilizes the soil.

The production of high-quality digestate or compost from bio-waste requires the highest quality raw material. Despite growing social awareness, bio-waste collected selectively still contains large amounts of pollutants, such as plastics, metals, glass or neutral fractions (e.g. stones). These pollutants negatively affect the operation of the installation or may even prevent the processing of bio-waste, therefore they should be effectively removed at the stage of preparation of the input, in the process of mechanical pre-treatment.

The aim of the doctoral thesis carried out as part of the 5th edition of the Minister of Education and Science program called "Implementation doctorate" was to develop a technological line for tearing and emptying bags of bio-waste and cleaning them using machines and devices commonly used in waste management. To achieve this goal, additional studies were carried out on changes in the morphological composition of bio-waste (with particular emphasis on the content of pollutants) collected in four urban and four rural communes, for various types of buildings (multi-family and single-family), on a monthly basis, in the period from November 2021 to October 2022.

The acquired knowledge was the basis for developing the concept of a technological line for mechanical purification of bio-waste and conducting tests on its effectiveness in separating pollutants present in the stream of bio-waste delivered to the installation of the Łużyckie Centrum Recyklingu in Marszów.

The key unit process of the bio-waste treatment line is a device for tearing and emptying bags with bio-waste. Tests were carried out on 6 devices designed for tearing and emptying bags. The assessment of the basic technical parameters of the tested devices, their efficiency and bio-waste losses measured in the tests, the degree of fragmentation and the efficiency of tearing plastic bags and the purchase cost of the selected devices determined the selection of a two-shaft shredder with a magnetic separator mounted at the end of the device for further tests.

Two variants of the installation for the preliminary mechanical purification of bio-waste were designed and built, preparing it for composting or fermentation processes: Variant II: a twin-shaft shredder with a ferromagnetic separator (SFM) + sorting cabin + 80 mm rotary sieve; Variant III: a twin-shaft shredder with SFM + star sieve + sorting cabin + 80 mm rotary sieve (option). The process currently used for pre-treating bio-waste before composting (manual emptying of bags and removal of impurities - variant I) was also analyzed and assessed.

The proposed new solutions for the bio-waste pretreatment line ensured high efficiency of pollutant removal (variant II - 72%, and variant III 75% m/m), especially fragments of bio-waste

bags (over 85% m/m) and textiles (approx. 75% m/m). The efficiency of pollutant removal in the currently used process is only 4.9%. Losses of organic matter (mass of branches and other organic matter with grain size >80 mm) amounted to 9.7% (V-II) and 24.9% m/m (V-III). The test results showed that composts, regardless of the method of bio-waste pretreatment, met the requirements for organic fertilizers. The share of pollutants related to the dry mass of compost (fraction <10 mm) was 0.39 (V-II) and 0.44% of dry matter (V-III), including the sum of the shares of glass, metals and plastics (0.32 and 0.33% of dry matter, respectively) which were lower than the permissible values for composts in the EU regulation on fertilisers.

The conducted studies confirmed that mechanical processes: tearing and emptying bags, magnetic separation and sieving, supported by manual sorting are effective in removing contaminants from bio-waste to a degree that guarantees that the final products of biological processing (compost, fermentate) meet the standards applicable to organic fertilizers. Initial mechanical cleaning of bio-waste does not negatively affect the course of bio-waste processing and the quality of the produced compost but it affects the efficiency of the composting process.

Of the two analyzed variants of the line for mechanical treatment of bio-waste, taking into account effectiveness and economy, variant II is the more advantageous solution. The obtained research results confirm the thesis that it is possible to build a technological line using machines and devices widely available on the market, with relatively low investment and operating costs, which will allow for effective removal of pollutants from bio-waste.

Keywords: bio-waste, composition analysis, bio-waste contamination, mechanical treatment, separation of contaminants.

Wykaz skrótów

GOZ	- gospodarka o obiegu zamkniętym
JSSO	- jednolity system segregacji odpadów
LKT	- lotne kwasy tłuszczowe
ŁCR	- Łużyckie Centrum Recyklingu Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
M	- statystyczny mieszkaniec
m/m	- masa mokra/masa mokra
MJ	- działnice w miastach z zabudową jednorodzinną
MW	- działnice w miastach z zabudową wielorodzinną
W	- gminy wiejskie
MP	- mikroplastik
OWM	- odpady wielomateriałowe
OK	- odpady komunalne
OS	- odchylenie standardowe
OUB	- odpady ulegające biodegradacji
PAYT	- (ang. pay as you throw) wysokość opłaty uzależniona jest od odebranych odpadów
PdPU	- przygotowanie do ponownego użycia
PdSB	- prasa do segregacji bioodpadów
RSO	- rozkładalne substancje organiczne
smo	- sucha masa organiczna
SFM	- separator ferromagnetyczny
SP	- strata prażenia [% sm]
W	- tereny wiejskie
WOM	- wstępna obróbka mechaniczna
TS	- tworzywa sztuczne
UE	- Unia Europejska
UE-27	- Unia Europejska z 27 krajami członkowskimi
UE-28	- Unia Europejska z 28 krajami członkowskimi

1. Wprowadzenie

Zmieniona dyrektywa ramowa UE w sprawie odpadów wymusza selektywne zbieranie i recykling bioodpadów w państwach członkowskich UE (Dyrektywa 2018/851). Stanowi również, że bioodpady, których powstawaniu nie można zapobiec, należy poddać zagospodarowaniu możliwie najlepszą metodą, biorąc pod uwagę ich specyficzne właściwości.

Bioodpady z gospodarstw domowych stanowią istotną część europejskich stałych odpadów komunalnych. W 2017 r. w 28 państwach członkowskich UE (UE-28) wytworzono 249 mln ton odpadów komunalnych (OK), w tym, około 34%, czyli 86 mln ton, stanowiły bioodpady (średnio 168 kg na mieszkańca) (Eurostat, 2022). W Polsce w tym roku wytworzono około 3,9 mln Mg bioodpadów, co odpowiadało blisko 101 kg bioodpadów na mieszkańca rocznie.

W ostatnich latach najbardziej preferowaną opcją postępowania z bioodpadami wydaje się być ich fermentacja z produkcją biogazu. Decyduje o tym szereg korzystnych cech fermentacji, które wykazuje w porównaniu z kompostowaniem (Jędrzak, 2018). Proces ma ograniczony wpływ na środowisko (Capson-Tojo i in., 2016) oraz wysoki potencjał odzysku energii w formie biogazu (Ren i in., 2018) i odpadów w formie kompostu (Kuruti i in., 2017).

Wykorzystanie potencjału fermentacji wymaga skutecznego systemu selektywnego zbierania bioodpadów oraz wysokiej efektywności procesów jednostkowych w późniejszym łańcuchu ich przetwarzania. W Polsce odpady ulegające biodegradacji (OUB), ze szczególnym uwzględnieniem bioodpadów, zbiera się w workach lub pojemnikach z tworzywa sztucznego, koloru brązowego, oznaczonych napisem „BIO” (Rozporządzenie, 2021). Worki, w których zbiera się bioodpady, muszą być usuwane, zanim odpady trafią do przetwarzania, ponieważ w przeciwnym razie mogłyby spowodować problemy mechaniczne w instalacji i być źródłem dużych ilości mikroplastiku w środowisku.

Zbierane bioodpady, nawet przy udanej segregacji u źródła, zawierają różne zanieczyszczenia, które są niepożądane w procesie przetwarzania, a ponadto mogą wpływać na jakość końcowego produktu (kompostu, pofermentu). Obecność zanieczyszczeń w bioodpadach wynika, z reguły, z nie zawsze dobrego rozumienia przez mieszkańców celów selektywnego zbierania lub z prowadzenia procesu zbierania w sposób niewłaściwy (Brás i in., 2022). W literaturze podaje się, że udział zanieczyszczeń w bioodpadach segregowanych u źródła waha się od 2 do 18% (Silvestre i in., 2015; LUBW, 2018). Z zanieczyszczonych bioodpadów nie można wytworzyć wysokiej jakości kompostu i dlatego wymagają one wstępnej mechanicznej obróbki (WOM) zanim zostaną skierowane do instalacji fermentacji lub kompostowania.

Zaprojektowanie właściwego postępowania z bioodpadami wymaga znajomości ich składu materiałowego i stopnia zanieczyszczenia oraz zmian tych wskaźników w ciągu roku. Niestety badania składu morfologicznego i właściwości bioodpadów z gospodarstw domowych w różnych porach roku należą do rzadkości. Prawdopodobnie spowodowane jest to koniecznością zastosowania procedur wymagających dużych nakładów pracy oraz czasu (Hanc i in., 2011; Alessi i in., 2020). Większość dostępnych informacji dotyczy składu odpadów

ogrodowych (Ward i in., 2005; Boldrin i Christensen, 2010). Tylko nieliczne publikacje zawierają informacje o segregowanych odpadach kuchennych, które mają inne właściwości niż odpady ogrodowe (Moretti i in., 2020).

Wstępna obróbka mechaniczna (WOM) ma kilka celów: usunięcie z bioodpadów niepożądanych przedmiotów i materiałów (worków do zbierania bioodpadów, opakowań w przypadku odpadów żywności z supermarketów, niepożądanych materiałów nieorganicznych, itp.), zmniejszanie wielkości cząstek (zwykle do <12 mm), wymagane przez Rozporządzenie UE w sprawie produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego (Rozporządzenie (UE), 2009) oraz zmiany suchej masy i stosunku C/N w substracie (Mshandete i in., 2006). Chociaż WOM jest ważną częścią beztlenowego przetwarzania bioodpadów żywnościowych w dobie zwiększonego zainteresowania fermentacją bioodpadów, w literaturze można znaleźć tylko nieliczne publikacje dotyczące takich procesów (Bernstad i in., 2013; Hansen i in., 2007; Jank i in., 2015; Alessi i in., 2020).

2. Bioodpady

Termin „bioodpady” w myśl Dyrektywy 2008/98/WE w sprawie odpadów (tzw. dyrektywy ramowej) oznacza „ulegające biodegradacji odpady ogrodowe i parkowe, odpady żywności i kuchenne z gospodarstw domowych, biur, restauracji, hurtowni, stołówek, placówek zbiorowego żywienia i handlu detalicznego oraz porównywalne odpady z zakładów przetwórstwa spożywczego” (Dyrektywa 2018/851).

Definicja bioodpadów w ustawie o odpadach różni się nieznacznie - „ulegające biodegradacji odpady z ogrodów i parków, odpady żywności i kuchenne z gospodarstw domowych, gastronomii, w tym restauracji, stołówek oraz zakładów zbiorowego żywienia, biur, hurtowni i jednostek handlu detalicznego, a także podobne odpady z zakładów produkujących lub wprowadzających do obrotu żywność” (Ustawa, 2012).

Gospodarka odpadami w krajach Unii Europejskiej (UE) jest obecnie regulowana przez pakiet aktów prawnych, przyjęty w dniu 30 maja 2018 roku, zmieniających główne dyrektywy odpadowe (Rozporządzenie (UE) 2018/848, Dyrektywa, 2018/849, Dyrektywa, 2018/850, Dyrektywa, 2018/851 i Dyrektywa, 2018/852). Najważniejsza z nich, dyrektywa 2018/851 nie zmieniła definicji bioodpadów, ale wprowadziła istotne zmiany w odniesieniu do procesu zbierania bioodpadów i gospodarowania nim w państwach członkowskich UE:

1. należy osiągnąć wyższe cele (poziomy) w zakresie przygotowania odpadów komunalnych do ponownego użycia i do recyklingu, które wynoszą 55, 60 i 65%, kolejno w 2025, 2030 i 2035 roku;
2. najpóźniej od dnia 31 grudnia 2023 r. bioodpady powinny być sortowane i poddawane procesom recyklingu u źródła lub powinny być zbierane selektywnie i niemieszane z pozostałymi rodzajami odpadów;
3. należy podjąć środki mające na celu:
 - a) zachęcanie do recyklingu, w tym kompostowania i fermentacji bioodpadów, w sposób zapewniający wysoki poziom ochrony środowiska i którego materiał wyjściowy spełnia rygorystyczne normy jakości;
 - b) zachęcanie do kompostowania domowego; oraz
 - c) wspieranie stosowania materiałów wytworzonych z bioodpadów.

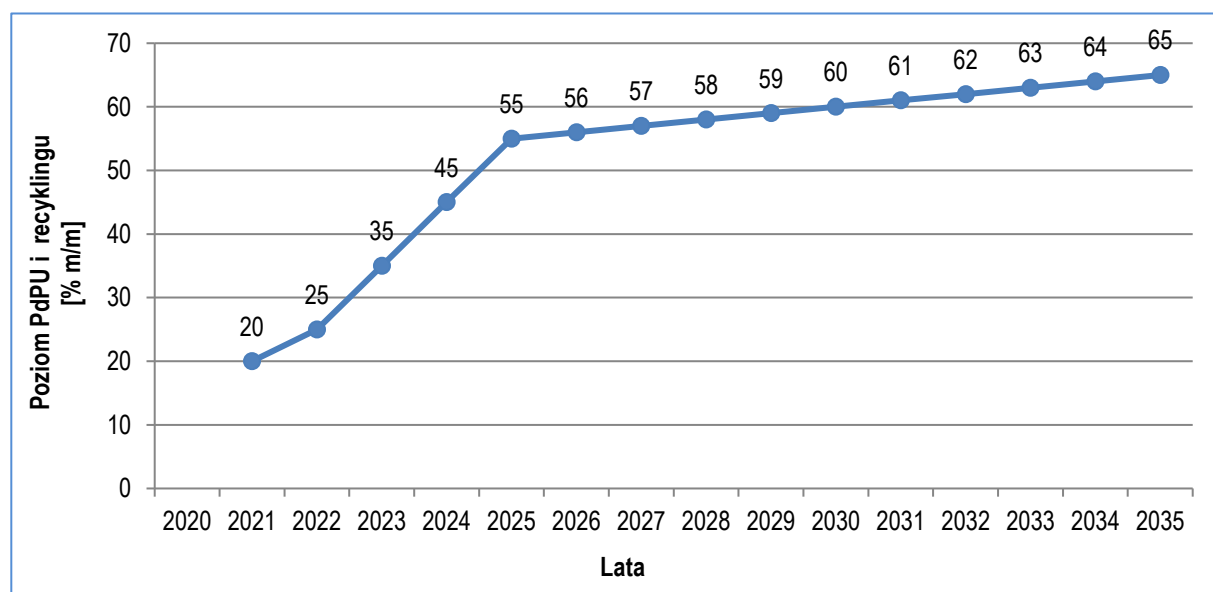
Od dnia 1 stycznia 2027 r. państwa członkowskie będą mogły zaliczać bioodpady komunalne poddawane zagospodarowaniu tlenowemu lub beztlenowemu do odpadów poddanych recyklingowi, ale tylko wtedy, gdy:

- a) zebrano je selektywnie u źródła;
- b) zebrano je wraz z odpadami o podobnych właściwościach biodegradacyjnych i możliwościach biologicznego przetwarzania, lub
- c) posegregowano je i poddano recyklingowi u źródła.

Nowe, bardzo ambitne cele w zakresie recyklingu odpadów komunalnych (65% do 2035 r.) i ograniczenie poziomu składowania (10% do 2035 r.), przyjęte w pakiecie dyrektyw w roku

2018, wymagają istotnego wzrostu stopnia selektywnego zbierania bioodpadów i ich przetwarzania w procesach kompostowania lub fermentacji.

Zmieniona Ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Ustawa, 1996) wdrożyła w Polsce dodatkowe roczne cele pośrednie dotyczące poziomów recyklingu i przygotowania do ponownego użycia (PdPU) odpadów komunalnych do roku 2035, do których osiągnięcia zobligowano gminy (rys. 1).



Rys. 1. Wymagane poziomy przygotowania odpadów komunalnych do ponownego użycia i recyklingu

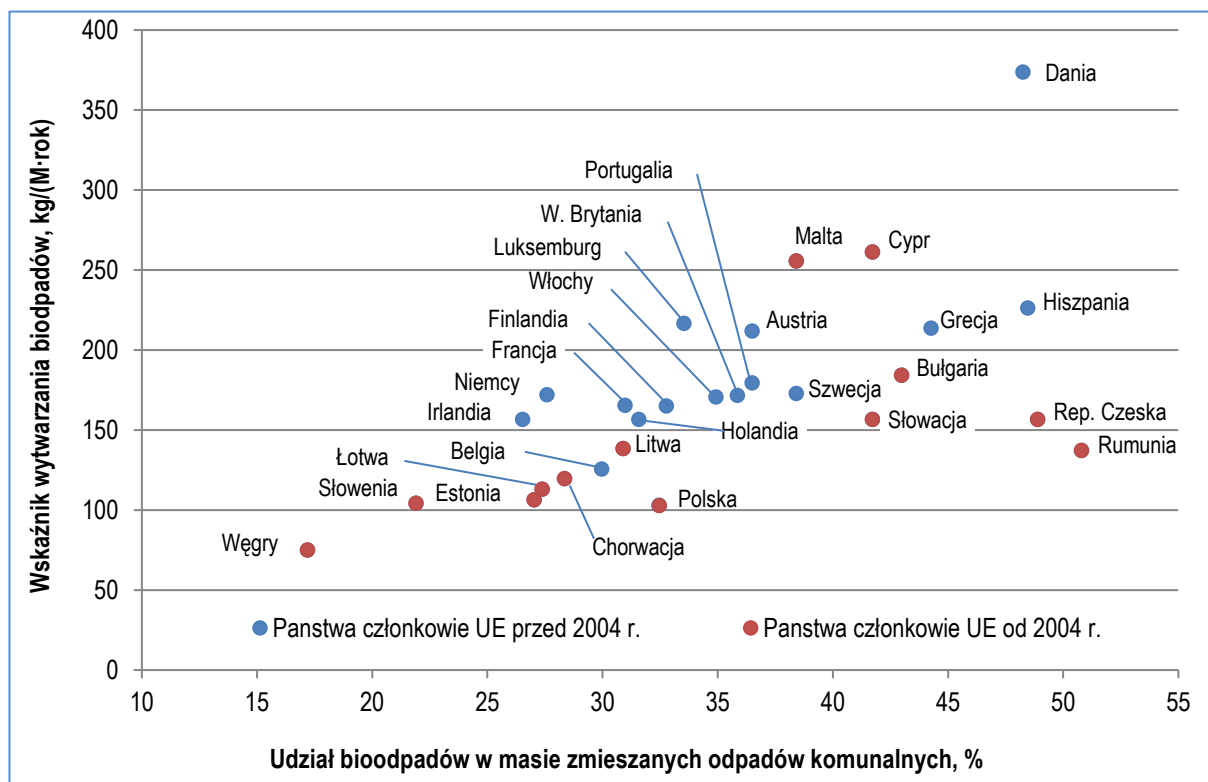
2.1. Ilość bioodpadów

W 2017 roku w krajach członkowskich UE wytworzono 249,4 mln Mg odpadów komunalnych (Eurostat, 2022), w których, według Europejskiej Agencji Środowiska, udział bioodpadów wynosił ponad 34% (EEA, 2020). Występują duże różnice w składzie OK między poszczególnymi krajami. Na Węgrzech udział bioodpadów w OK wynosił 17,5%, w Niemczech 27,5%, a w odpadach z Rumunii 51,0% (rys. 2). Około 60% całkowitej ilości bioodpadów w UE-27 stanowiły odpady spożywcze (kuchenne), odpady ogrodowe 35%, a pozostałe 5% bioodpadów komunalnych zakwalifikowano jako „inne”.

Według danych przedstawionych w projekcie Krajowego planu gospodarki odpadami 2028 (Kpgo2028) wartość jednostkowego wskaźnika wytwarzania odpadów komunalnych przez statystycznego mieszkańca (M) w Polsce, w 2020 r., wyniosła 342 kg/M. Skład morfologiczny odpadów komunalnych wytwarzanych w Polsce, z podziałem na odpady z dużych miast (≥ 50 tys. mieszkańców), małych miast (< 50 tys. mieszkańców) i terenów wiejskich podano w tabeli 1.

Ilość bioodpadów pochodzenia komunalnego w Polsce, w 2020 roku, stanowiła około 30% masy wszystkich odpadów komunalnych, czyli 3 926 tys. Mg/rok. Po doliczeniu frakcji 10-20 mm, której dużą część (60%) można uznać za bioodpady, jest to 4 129 tys. Mg, co odpowiada 31,6% masy odpadów komunalnych (ok. 108 kg/(M·rok)). Według danych zawartych

w projekcie Kpgo2028, 60,7% masy bioodpadów stanowią odpady kuchenne (spożywcze). Do tego doliczyć można frakcję 10-20 mm, co daje łącznie 2 586 tys. Mg/rok odpadów kuchennych (ok. 67,6 kg/M). Pozostałe bioodpady to odpady zielone i inne bioodpady - łącznie ok. 1 543 tys. Mg/rok, czyli ok. 40,3 kg/M rok.



Rys. 2. Wytwarzanie bioodpadów komunalnych na osobę i udział bioodpadów w odpadach komunalnych, w krajach członkowskich UE, w 2017 r. (EEA, 2020)

Ilości wytwarzanych bioodpadów, w tym zwłaszcza odpadów ogrodowych i parkowych, podlegają sezonowym wahaniom, które mogą powodować problemy z eksploatacją instalacji do ich biologicznego przetwarzania. W Niemczech szczyty podaży bioodpadów obserwowane są głównie latem i jesienią (Fricke i in., 2017).

2.1.1. Selektywne zbieranie

Oddzielenie u źródła surowców wtórnych od stałych odpadów komunalnych jest ugruntowanym elementem nowoczesnej gospodarki odpadami, mającym na celu ograniczenie składowania odpadów, usprawnienie recyklingu odpadów i zmniejszenie szkód dla środowiska.

W ustawie o odpadach termin zbieranie odpadów zdefiniowano jako „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” przez prowadzącego zbieranie odpadów. Obowiązek zbierania odpadów w sposób selektywny wynika bezpośrednio z art. 23.1. Ustawy o odpadach. „Selektywne zbieranie – to zbieranie, w ramach którego dany strumień odpadów, w celu ułatwienia specyficznego przetwarzania, obejmuje jedynie odpady

charakteryzujące się takimi samymi właściwościami i takimi samymi cechami (art. 3.1.) (Ustawa, 2012).

Tabela 1. Średnie roczne składy materiałowe wytwarzanych odpadów komunalnych w roku 2020 (Kpgo2028)

Rodzaje odpadów	Jednostkowy wskaźnik wytwarzania odpadów [kg/(M·rok)]				Ogółem OK wytworzone w Polsce [tys. Mg/rok]
	Duże miasta ≥ 50 tys. mieszkańców	Małe miasta < 50 tys. mieszkańców	Wieś	Polska, średnio	
Odpady spożywcze (kuchenne) ¹⁾	75,3	66,0	48,5	62,0	2 373
Odpady zielone i pozostałe bioodpady ²⁾	45,7	44,0	33,6	40,6	1 554
Papier i tektura	60,3	49,0	26,0	42,4	1 621
Odpady wielomateriałowe	5,5	7,3	5,1	5,9	225
Tworzywa sztuczne	59,1	68,3	44,4	55,4	2 122
Tekstylia	11,8	13,1	10,0	11,6	442
Szkło	38,2	34,7	27,6	33,3	1 274
Metale	8,3	9,3	6,0	7,6	290
Odpady mineralne ³⁾	11,0	6,6	8,9	9,4	358
Drewno	2,4	2,7	1,1	1,9	71
Odpady niebezpieczne ⁴⁾	0,8	1,5	1,1	1,1	43
Inne kategorie ⁵⁾	24,4	27,8	15,4	21,3	817
Frakcja 10-20 mm ⁶⁾	10,6	11,2	6,2	8,8	339
Frakcja <10 mm ⁷⁾	16,5	25,5	24,7	23,1	883
Odpady wielkogabarytowe	24,0	18,9	12,2	17,7	676
Razem (wskaźnik jednostkowy)	394	386	271	342	13 087
OUB (łącznie) ⁸⁾	202	184	127	166	6 363
Bioodpady (łącznie)	121	110	82,1	103	3 927

Objaśnienia:

- 1) odpady spożywcze (kuchenne) - odpady żywności, a także odpady z przygotowania żywności;
- 2) odpady zielone i pozostałe bioodpady – odpady z terenów zieleni, ogrodów i parków;
- 3) odpady mineralne obejmują drobne odpady >20 mm z budowy i remontów, a także grubsze odpady z palenisk domowych;
- 4) odpady niebezpieczne obejmują głównie drobny sprzęt elektryczny i elektroniczny, a także pozostałości chemikaliów, zużyte leki, itp., które nie powinny być usuwane do odpadów komunalnych zmieszanych, jednak trafiają do nich;
- 5) odpady inne zawierają głównie odpady gumowe, skórzane, odpady z utrzymania higieny (w tym podpaski higieniczne i pieluchy jednorazowe), itp.;
- 6) frakcja <10 mm obejmuje odpady paleniskowe (popiół), zmiotki, ziemię oraz drobne odpady budowlano-remontowe;
- 7) frakcja 10-20 mm zawiera odpady mineralne, w tym paleniskowe (ok. 1/3), a także drobne bioodpady (ok. 2/3);
- 8) OUB (odpady ulegające biodegradacji) do których zalicza się, poza bioodpadami (kuchennymi i ogrodowymi), w całości lub części, następujące frakcje odpadów komunalnych: papier i tektura (100%), drewno (50%), odzież, tekstylia (50%), odpady wielomateriałowe (40%), frakcję drobną 10-20 mm (60%) i frakcję drobną <10 mm (30%) (Kpgo2014).

Selektywne zbieranie bioodpadów jest postrzegane jako wstępny warunek wysokiej jakości kompostu i osiągnięcia wymaganych poziomów recyklingu odpadów (BIPRO, 2015).

Zasadniczo można rozróżnić trzy warianty selektywnego zbierania odpadów:

- **system 1** - zbieranie odpadów „od drzwi do drzwi” opiera się na pojemnikach/workach rozmieszczonych tak jak pojemniki do zbierania odpadów resztkowych: bezpośrednio przy posesji w zabudowie jednorodzinnej oraz w altanach osiedlowych w przypadku zabudowy wielorodzinnej. Częstotliwość odbioru odpadów waha się zazwyczaj od dwóch razy w tygodniu do raz na 2 tygodnie. Czasami częstotliwość odbioru jest zmienna i uzależniona

od potrzeb i/lub pory roku, (np. dla odpadów zielonych). Zwykle odpady zbierane są w plastikowych workach. Są one jednorazowego użytku i w porównaniu do zbierania w pojemnikach, nie wymagają tak dużych początkowych nakładów inwestycyjnych oraz można nimi łatwo manipulować. Biorąc pod uwagę charakter worka, tą metodą można zbierać ograniczone rodzaje surowców wtórnych. Zbieranie odpadów „od drzwi do drzwi” zapewnia obywatelom maksymalną wygodę.

- **system 2** - metoda „donoszenia”, oparta jest na punktach odbioru składających się z zestawu dużych pojemników/zbiorników kontenerów (naziemnych lub podziemnych), o mniejszej gęstości rozmieszczenia niż pojemniki na odpady resztkowe. Typowa wielkość pojemników to 1,1 - 5 m³. Punkty tego typu zbierania określa się potocznie „gniazdami”. Lokalizuje się je zwykle w miejscach publicznych z łatwym dostępem dla samochodów do wywozu odpadów.
- **system 3** - Punkty Selektywnego Zbierania Odpadów Komunalnych (PSZOK-i) – czyli wyznaczone miejsca w gminie, gdzie odpady dostarczane są przez mieszkańców własnym transportem. W PSZOK-ach zbierane są odpady wytwarzane okresowo i nieregularnie lub w małych ilościach (Rekomendacje dla budowy, 2017). W PSZOK-u wszyscy mieszkańcy mogą, zgodnie z prawem, bezpłatnie zostawić posortowane rodzaje odpadów. W Polsce każda gmina ma obowiązek zorganizować minimum jeden PSZOK.

W przypadku bioodpadów powyższą klasyfikację można rozszerzyć o

- **system 4** - Kompostowanie we własnym zakresie. Kompostowanie odpadów kuchennych i zielonych w miejscu wytwarzania może być opłacalnym sposobem przetwarzania bioodpadów, ponieważ unika się kosztów ich transportu. Gospodarstwo domowe zarządza kompostownikiem, ale gmina może zapewnić wsparcie. Intensywne wdrażanie kompostowania domowego jest obserwowane w wielu krajach UE w ostatnich latach (Vázquez i Soto, 2017).

W Polsce od 1 lipca 2017 r. wdrażany jest Jednolity System Segregacji Odpadów (JSSO) obowiązujący na terenie całego kraju (Rozporządzenie, 2021). Odpady ulegające biodegradacji, ze szczególnym uwzględnieniem bioodpadów zbiera się w pojemnikach lub workach koloru brązowego, oznaczonych napisem „BIO”.

Bioodpady to frakcja odpadów trudna do selektywnego zbierania, nie tylko ze względu na ich biodegradowalność. Systemy zbierania i powiązane zakłady recyklingu muszą być dostosowane do rodzaju bioodpadów, które system będzie przyjmował. Na przykład sprzęt do zbierania i częstotliwość zbierania odpadów kuchennych powinny być zaprojektowane tak, aby zminimalizować ryzyko powstawania przykrych zapachów. Właściwości i cechy biologiczne bioodpadów należy wziąć pod uwagę również przy wyborze technologii przetwarzania.

Na przykład bioodpady o wysokiej zawartości ligniny (np. gałęzie) nie mogą być przetwarzane w zakładach fermentacji. I odwrotnie, w kompostowniach odpady kuchenne należy mieszać z odpadami zielonymi (materiałem strukturalnym), aby zoptymalizować proces kompostowania i wartość produktu końcowego.

2.1.2. Czynniki sukcesu dla selektywnego zbierania bioodpadów

Proces selektywnego zbierania jest jednym z najbardziej istotnych elementów w gospodarce bioodpadami, ponieważ ma znaczący wpływ na ilość i skład zbieranych bioodpadów. Jego przebieg zależy od kryteriów sortowania określonych przez gminę, systemu zbierania, w tym rodzajów pojemników do zbierania oraz od dużej liczby czynników decydujących o skuteczności prawidłowego sortowania odpadów przez mieszkańców (czynniki ekonomiczne, społeczne, środowiskowe, prawne i inne) (Puig-Ventosa i in., 2013; Bernstad, 2014; Czekala, 2023).

Dotychczasowe doświadczenia wykazują, że wygoda sortowania, przestrzeń magazynowa w domu oraz odległość od punktów odbioru są ważnymi czynnikami, które wpływają na poziom wskaźnika recyklingu (González-Torreand i Adenso-Díaz, 2005; Bernstad, 2014). Zgodnie z obserwacjami González-Torre i Adenso-Díaz (2005) oraz Hage i in. (2009) ludzie są bardziej skłonni do selektywnego zbierania odpadów, jeśli mają dostęp do wygodnego systemu lub jeśli pojemniki przeznaczone do zbierania odpadów znajdują się w pobliżu domu i nie muszą iść daleko, aby pozbyć się odpadów.

Na wybór systemu selektywnego zbierania bioodpadów duży wpływ ma również gęstość zaludnienia i typ zabudowy. Na obszarach wiejskich można łatwo wdrożyć kompostowanie przydomowe, a wytworzony kompost można wykorzystać lokalnie (Vázquez i Soto, 2017). Na gęsto zaludnionych obszarach zbieranie bioodpadów w systemie „od drzwi do drzwi” jest bardziej korzystne i ekonomicznie opłacalne.

Bioodpady zbierane w systemach donoszenia (np. podziemne pojemniki na bioodpady) mają średnio wyższy udział zanieczyszczeń niż bioodpady zbierane w systemie „od drzwi do drzwi”. Pojemniki podziemne mogą być opcją w centrach miast, ale wymagają zintensyfikowanych działań następczych w celu poprawy jakości zbieranych frakcji. Bioodpady zawierające ponad 10% zanieczyszczeń sprawiają, że ich waloryzacja jest rzadko możliwa. Stwierdzono również, że łatwo dostępne i dobrze przygotowane materiały informacyjne o sposobie sortowania odpadów mogą prowadzić do znacznego zmniejszenia ilości zanieczyszczeń w bioodpadach (Rousta i in., 2005).

Silny, pozytywny związek między edukacją w zakresie recyklingu odpadów za pośrednictwem mediów bezpośrednich (tj. radio, telewizja, reklamy prasowe) a udziałem mieszkańców w recyklingu odpadów z gospodarstw domowych wykazali Timlett i Williams (2008) oraz Vicente i Reis (2008). Timlett i Williams (2008) uważają, że utrzymanie aktywnego i trwałego udziału obywateli w prawidłowym selektywnym zbieraniu odpadów wymaga szerokiego stosowania metod aktywizujących społeczeństwo z punktem ciężkości przesuniętym z ogólnych technik podnoszenia świadomości na rzecz tych, które mogą spowodować zmianę zachowania. Z tego względu ważne jest oznaczanie zawartości zanieczyszczeń w zebranych bioodpadach, aby można było ocenić, gdzie i na jakie tematy potrzeba więcej informacji edukacyjnych dla mieszkańców gospodarstw domowych.

Opracowując skuteczną komunikację, pod uwagę należy wziąć następujące elementy:

- Podnoszenie świadomości wymaga stałego utrzymywania i kreatywności, aby nadal być inspirującym. Kluczowe znaczenie ma ustalenie wskaźników mierzących świadomość tak, aby można było ocenić kampanie i zaplanować priorytety komunikacji.
- Kanały komunikacji wzmacniają się wzajemnie. W związku z tym kampanie komunikacyjne powinny odbywać się jednocześnie za pośrednictwem różnych dróg: telewizji, radia, Twittera, Facebooka, stron internetowych, gazet i magazynów o zasięgu krajowym i lokalnym oraz w inny sposób.
- Komunikacja na temat korzyści płynących ze zbierania bioodpadów (mniej składowania i spalania, lokalne miejsca pracy, mniejsza emisja, energia odnawialna i lokalne nawozy) zwiększa aktywność gospodarstw domowych.
- Rozpowszechnianie przyjaznych dla użytkownika instrukcji o kompostowaniu przydomowym i realizowanie działań szkoleniowych, zwiększa recykling bioodpadów i pozwala unikać niewłaściwie prowadzonego kompostowania.
- Komunikacja i nowe aplikacje cyfrowe mogą zapobiegać zjawisku marnowania żywności, dostarczając praktycznych informacji na temat planowania zakupów żywności, jej przechowywania oraz wykorzystywania resztek, łącząc w przyjazny dla użytkownika sposób restauracje, które mają resztki posiłków, z mieszkańcami, którzy szukają posiłku, w ostatniej chwili, po obniżonej cenie. Większa profilaktyka zmniejsza ogólne koszty zbierania, ponieważ mniej odpadów trzeba transportować i przetwarzać.

Niewłaściwe sortowanie obniża jakość zebranych surowców wtórnych. W kampaniach informacyjnych mieszkańcy zachęceni są do prawidłowego sortowania odpadów, mimo to potrzebny jest system kontroli ich postępowania oraz jasne ramy prawne, aby ustanowić certyfikaty jakości dla waloryzacji bioodpadów. W praktyce gminy mogą przy odbiorze odpadów podejmować następujące działania:

- kontrolowanie jakości bioodpadów zbieranych w pojemnikach - stosowanie sankcji następczych w przypadku ich zanieczyszczenia;
- stosowanie przeźroczystych worków - umożliwia to pracownikom zajmujących się odbiorem bioodpadów przeprowadzenie wizualnej kontroli ich jakości;
- kontrolowanie nielegalnie porzuconych odpadów, w celu zidentyfikowania sprawcy - przewidzenie surowych kar dla zidentyfikowanych przestępców.

Osiągnięcie wysokich poziomów selektywnego zbierania i recyklingu bioodpadów wymaga często stosowania zachęt ekonomicznych (Dubois i in., 2020). Celem instrumentu ekonomicznego jest skłonienie wytwórców odpadów do recyklingu materiałów, zamiast kierowania odpadów do składowania lub spalania. Stosowane są zarówno zachęty (pozytywne sygnały ekonomiczne) jak i opłaty (sygnały zniechęcające). Cztery kluczowe instrumenty ekonomiczne mające na celu zwiększenie recyklingu bioodpadów w Europie to:

- zachęcanie do kompostowania przydomowego - w przypadku postępowania z bioodpadami na obszarach wiejskich jest to rozwiązanie bardzo korzystne zarówno z ekonomicznego, jak i środowiskowego punktu widzenia, ze względu na ograniczenie kosztów ich zbierania i przetwarzania przy obecnie niskim poziomie selektywnego zbierania bioodpadów;

- bezpłatne lub za symboliczną opłatą dostarczanie pojemników do przydomowego kompostowania - zwiększa ich zastosowanie, podobnie jak bezpłatne odbieranie bioodpadów zachęca do sortowania u źródła. Koszt kompostownika 600 dm³ wynosi od ok. 150 zł do nawet 700 zł (stan na 2023 r.), zależnie od wielkości, konstrukcji i wyposażenia kompostownika w dodatkowe elementy wyposażenia, jak na przykład termometr do pomiaru temperatury itp.;
- zachęty ekonomiczne, zwłaszcza systemy naliczania opłat w zależności od wytworzonej ilości odpadów PAYT (ang. pay as you throw), są skutecznymi czynnikami napędzającymi wdrażanie segregacji bioodpadów u źródła, ponieważ gospodarstwa domowe zawsze płacą mniej za odbiór bioodpadów niż za odbiór odpadów resztkowych. Zmniejszenie opłaty za odbieranie odpadów tylko o 1-5 zł na mieszkańca/gospodarstwo domowe miesięcznie praktykowane w kraju w 2023 r. może być zbyt niską motywacją dla zachęcenia mieszkańców do wprowadzenia takiego rozwiązania;
- podatki od unieszkodliwiania odpadów (negatywne sygnały ekonomiczne) (podatek od składowania odpadów, podatek od spalania, opłaty od produktów itp.) zachęcają gminy do podejmowania dodatkowych działań w celu oddzielnego zbierania bioodpadów.

2.1.3. Ilość bioodpadów zbierana selektywnie

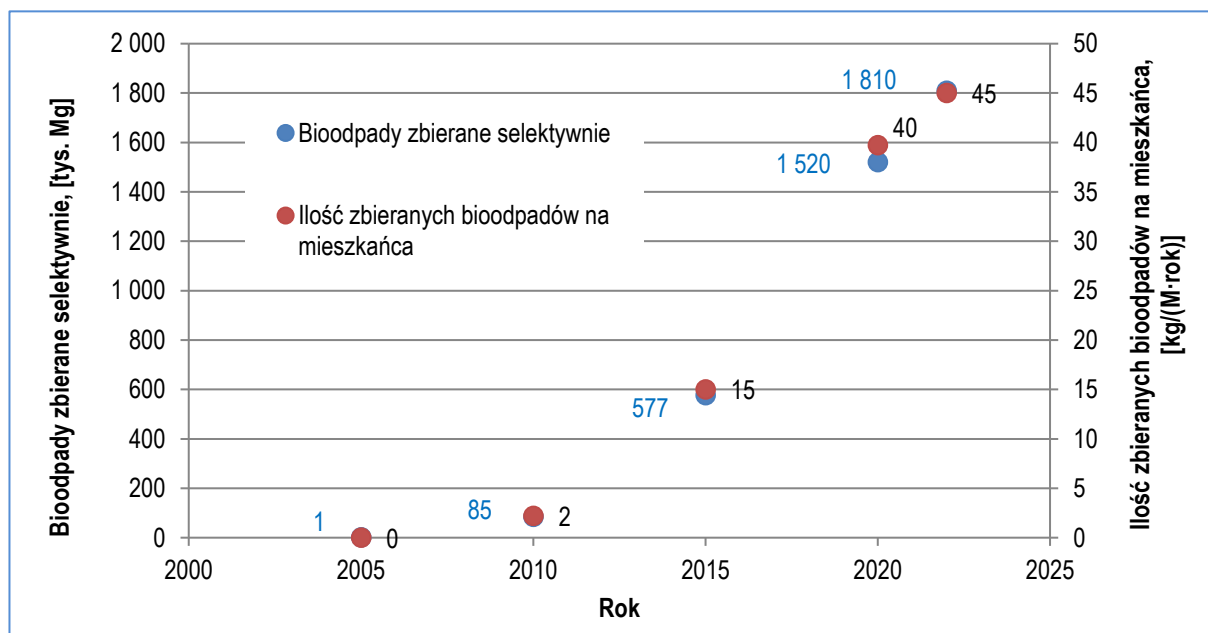
W UE-27, w 2021 r., recyklingowi poddano 45 mln ton bioodpadów komunalnych, czyli 101 kg/mieszkańca (tabela 2). Ilość ta odpowiadała 19% ogólnej masy wytworzonych odpadów komunalnych.

Tabela 2. *Masa bioodpadów zbieranych selektywnie w krajach członkowskich UE w roku 2021 (Eurostat, 2023)*

Lp.	Państwo	Masa bioodpadów zbieranych selektywnie, mln. Mg	Masa bioodpadów zbieranych selektywnie na mieszkańca, kg/(M·rok)	Lp.	Państwo	Masa bioodpadów zbieranych selektywnie, mln. Mg	Masa bioodpadów zbieranych selektywnie na mieszkańca, kg/(M·rok)
1	Luksemburg	0,13	200	15	Litwa	0,24	86
2	Austria	1,59	179	16	Słowacja	0,42	77
3	Dania	1,04	178	17	Czechy	0,76	73
4	Belgia	1,89	163	18	Słowenia	0,15	72
5	Holandia	2,70	154	19	Polska	1,74	45
6	Niemcy	12,49	150	10	Węgry	0,38	39
7	Włochy	6,87	116	21	Łotwa	0,069	37
8	Francja	7,33	108	22	Chorwacja	0,089	22
9	Portugalia	0,89	86	23	Rumunia	0,27	14
10	Hiszpania	3,94	83	24	Estonia	0,018	13
11	Szwecja	0,85	82	25	Bułgaria	0,089	13
12	Finlandia	0,42	76	26	Cypr	0,007	8
13	Irlandia	0,35	70	27	Malta	0,00	0
14	Grecja	0,28	26	Kraje UE od 2004 r.		4,32	42
Kraje „starej” UE		40,78	118	Kraje UE27		45,1	101

Tabela 2 pokazuje duże zróżnicowanie między krajami UE pod względem selektywnego zbierania i recyklingu bioodpadów. Wskaźniki jednostkowe zmieniają się od 0 (Malta) do maksymalnie 200 kg/(M·rok) (Luksemburg) (Eurostat, 2023). Kraje takie jak Austria, Dania, Niemcy, Holandia, Luksemburg, Belgia (Flandria) mają ponad 20-letnie doświadczenie w zakresie systemów selektywnego zbierania i przetwarzania bioodpadów. Średni poziom selektywnego zbierania bioodpadów w 14 krajach UE (członkowie UE przed rozszerzeniem w 2004 r.) wynosił 118 kg/(M·rok), podczas gdy w krajach przejętych do UE w 2004 r. i w latach następnych wynosił on 42 kg/mieszkańca. Średnio w UE-27 zbierano selektywnie 43% bioodpadów komunalnych (84 kg/(M·rok)), a 57% bioodpadów pozostawało w resztkowych odpadach komunalnych.

W Polsce ilość bioodpadów zbieranych selektywnie po wejściu do UE systematycznie rośnie (rys. 3). W roku 2010 poziom selektywnego zbierania bioodpadów wynosił 2 kg/mieszkańca, a w 2021 r. 42 kg/mieszkańca. Średnie tempo wzrostu wskaźnika w tym okresie wynosiło 27,8%. W 2022 r. wartość wskaźnika wzrosła do 48 kg/mieszkańca (wzrost o 6,7% do roku 2021).



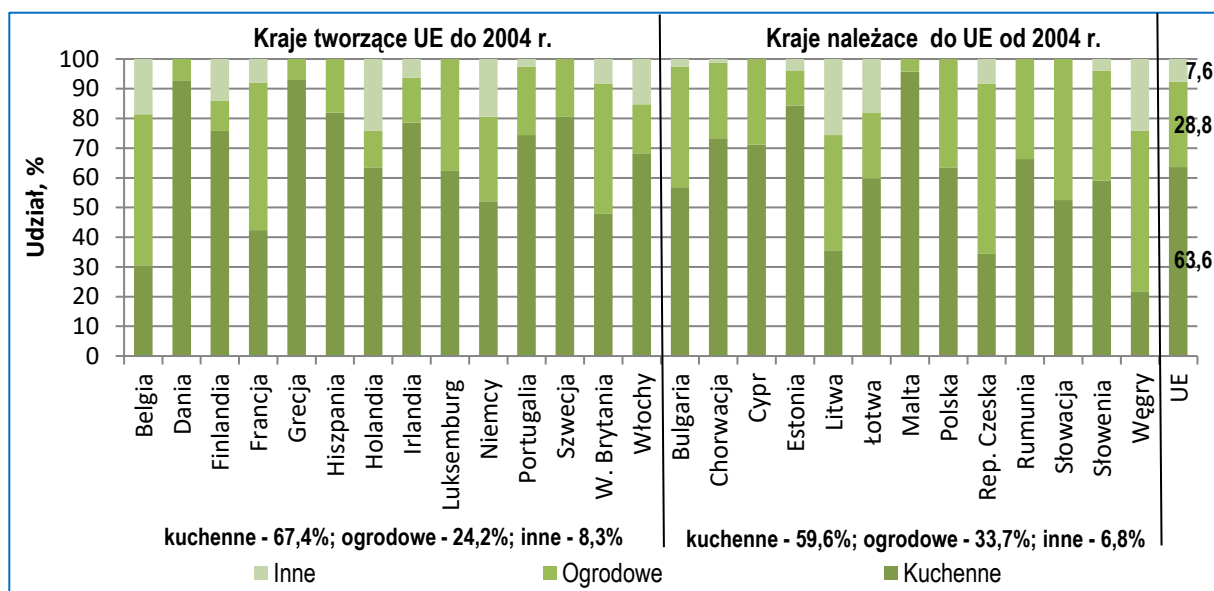
Rys. 3. Bioodpady zbierane selektywnie w Polsce w latach 2005-2022

Średni wskaźnik zbierania odpadów żywnościowych z gospodarstw domowych w Warszawie określono na poziomie 19,6 kg/(M·rok). W zabudowie wielorodzinnej, która dominuje w stolicy, wskaźnik ten jest o połowę mniejszy (17,3 kg/(M·rok)) niż w zabudowie jednorodzinnej (36,2 kg/(M·rok)). Średni wskaźnik efektywności zbierania odpadów spożywczych z warszawskich gospodarstw domowych kształtował się na poziomie 32%. Odpady żywnościowe, których można uniknąć, stanowiły 47% wszystkich wytworzonych odpadów żywnościowych (Manczarski i in., 2023).

2.2. Skład i właściwości bioodpadów

Bioodpady to odpady żywności, odpady ogrodowe i inne podobne odpady. Termin bioodpady nie obejmuje pozostałości z leśnictwa lub rolnictwa i nie należy go mylić z szerszym terminem „odpady ulegające biodegradacji”, który obejmuje również inne materiały ulegające biodegradacji, takie jak drewno, papier, tektura i osady ściekowe. Rysunek 4 przedstawia udział odpadów żywności, ogrodowych i innych odpadów w bioodpadach komunalnych dla 27 krajów UE w 2017 roku (EEA, 2020).

Udział odpadów żywności w bioodpadach, w krajach UE-27, wynosił średnio 63,6% a odpadów ogrodowych 28,8%. W państwach członkowskich, które należały do UE do 2004 roku udział odpadów żywności wynosił średnio 67,4% i był wyższy od wartości średniej dla państw członkowskich, które należą do UE od 2004 roku (59,6%).



Rys. 4. Skład komunalnych bioodpadów w krajach UE w 2017 r. (EEA, 2020)

W krajach europejskich głównym składnikiem bioodpadów z gospodarstw domowych są owoce i warzywa. Stanowiły one 60,2% w Grecji (Malamis i in., 2015) i od 44,5 do 69,0% odpadów żywności zbieranych w Finlandii, Wielkiej Brytanii, Portugalii i we Włoszech (WRAP, 2008).

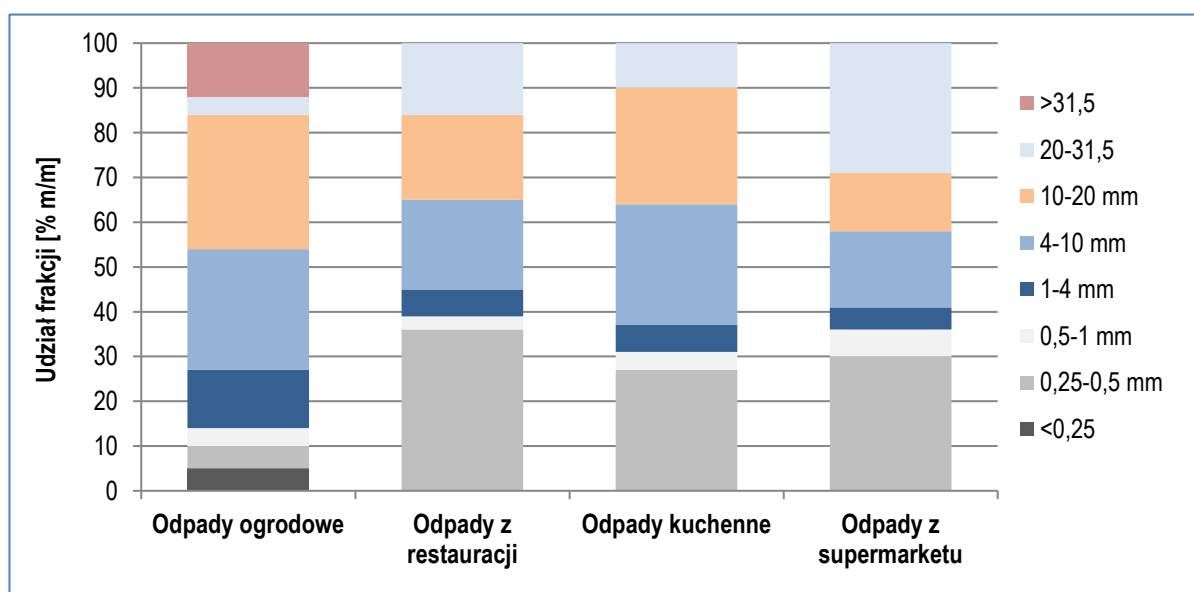
Szczegółowe badania składu morfologicznego bioodpadów pochodzących z gospodarstw domowych prowadzone są rzadko, ze względu na pracochłonne i czasochłonne procedury (Hanc i in., 2011; Lebersorger i Schneider, 2011; Alessi i in., 2020). Nieliczne publikacje dotyczą głównie składu odpadów ogrodowych i parkowych, które mają inne właściwości niż odpady żywności i odpady kuchenne (Boldrin i Christensen, 2010; Ward i in., 2005).

Skład odpadów ogrodowych i parkowych podlega sezonowym wahaniom. Późną wiosną i latem odpady ogrodowe i parkowe zawierają duże ilości trawy oraz wykazują stosunkowo wysoki potencjał biogazu. Jesienią w odpadach obecne są duże ilości martwych liści, a zimą prawie nie ma odpadów zielonych (Fricke i in., 2017). Dominację liści w odpadach ogrodowych i parkowych stwierdzili również Hanc i in. (2011). Odpady ogrodowe zbierane w Pradze

składały się głównie z liści drzew liściastych (udział 74,5% jesienią i 35,8% w zimie). Kolejnym składnikiem były drobne gałęzie pochodzące z cięć drzew i krzewów (17,5% średniorocznie). Hanc i inni (2011) nie wykazali obecności trawy w odpadach w okresie jesiennym i zimowym. Z kolei w odpadach ogrodowych w Aarhus w Danii odbieranych jesienią i zimą (listopad-marzec) dominowały składniki drobne takie jak trawa, ziemia, kwiaty, liście itp. (50-80%), a udział gałęzi i drewna wahał się w zakresie 10,0 do 45,0%. Było to spowodowane mniejszą aktywnością mieszkańców w ogrodach zimą oraz skupieniem się na przycinaniu drzew i krzewów (Boldrin i Christensen, 2010).

Skład materiałowy bioodpadów zbieranych selektywnie zależy od wielu czynników. Oprócz strategii zbierania i gospodarowania odpadami oraz sezonowych zmian strumienia odpadów ogrodowych, na skład bioodpadów mogą wpływać również czynniki zewnętrzne. Przykładami takich czynników są między innymi: klimat, poziom urbanizacji, obszar geograficzny, lokalne tradycje oraz aspekty gospodarcze, społeczne i polityczne (Shi i in., 2013; Di Maria i in., 2018; Edjabou i in., 2018).

Moretti i inni (2020) przeprowadzili badania czterech rodzajów selektywnie zbieranych bioodpadów: odpadów ogrodowych oraz bioodpadów z restauracji, gospodarstw domowych i supermarketów. Na rysunku 5 przedstawiono skład sitowy odpadów. Analizy przeprowadzono w trzech powtórzeniach, przesiewając każdą próbkę w warunkach mokrych przez zestaw siedmiu sit o malejących otworach: 31,5 mm, 20 mm, 10 mm, 4 mm, 1 mm, 0,5 mm i 0,25 mm.



Rys. 5. Rozkład wielkości cząstek czterech rodzajów bioodpadów: odpadów ogrodowych oraz bioodpadów z restauracji, z gospodarstw domowych i supermarketów. Wyniki odniesione do sm, wartości średnie z trzech powtórzeń testów (Moretti i in., 2020)

Analiza pokazała, że wszystkie próbki wykazywały stosunkowo szeroki rozkład wielkości cząstek. Bioodpady z restauracji, gospodarstw domowych i supermarketów miały podobny profil zmienności, z przewagą dwóch grup cząstek: o wymiarach poniżej 0,5 mm (od 27 do 36% sm) i powyżej 10 mm (od 54 do 63% sm). Natomiast odpady ogrodowe wykazały niewielki

udział cząstek <0,5 mm (10% sm). Było to prawdopodobnie spowodowane względną przewagą większych cząstek materiałów lignocelulozowych.

W tabeli 3 zestawiono podstawową charakterystykę bioodpadów komunalnych pochodzących z różnych źródeł (Banks i in., 2018; Moretti i in., 2020; LeClerc i in., 2023).

Odpady ogrodowe wykazywały wilgotność na poziomie 34%, a więc blisko 2-krotnie niższą niż próbki pozostałych badanych odpadów. Zawartość substancji organicznych (72 i 86% sm) była również niższa niż zmierzona w próbkach bioodpadów kuchennych, z restauracji i żywności z supermarketów (92-98% sm).

Tabela 3. *Charakterystyka jakościowa bioodpadów pochodzenia komunalnego*

Rodzaj bioodpadów	Ogrodowe	Ogrodowe z gospodarstw domowych	Kuchenne	Kuchenne ¹⁾	Restauracyjne	Kuchenne z gospodarstw domowych	Bioodpady z supermarketów ²⁾
TS [%]	b.d.	66,2±0,5	b.d.	24,0	25,6±2,4	19,1±0,94	30,8±2,2
VS [% sm]	85,9	71,7±3,5	98,1	91,6	95±0,1	90,8±0,1	94,2±0,1
C [% sm]	42,2±0,1	40,3	52,2±0,9	47,6	52,6	47,2	50,9
H [% sm]	5,2±0,2	4,7	7,5±0,2	6,3	7,3	6,2	7
O [% sm]	51,7±1,8	16,6	33,2±2,1	34,8	29,4	33,6	29,9
N [% sm]	0,2±0,1	1,3	4,3±0,1	3,1	4	2,1	4,1
S [% sm]	0,7±0,2	b.d.	1,0±0,1	0,3	b.d.	b.d.	b.d.
Hemiceluloza [% smo]	81,14	10,3±6,4	b.d.	7	4±0,3	11,6±1,4	7,4±0,9
Celuloza [% smo]	-	44±1,7	b.d.	6	12,6±0,3	21±1,0	11,1±0,8
Lignina [% smo]	18,86	RSO: 18,6±4,8; pozostałe: 27,2±0,1 [% smo]	b.d.	3	RSO: 82,7±0,1; pozostałe: 0,7±0,04	RSO: 57,5±0,4; pozostałe: 9,9±0,01	RSO: 74,6±0,6; pozostałe: 6,9±0,5
Węglowodany [% smo]	-		30,4	48			
Białka [% smo]	-		27,3	21			
Tłuszcze [% smo]	-		39,7	15			
Potencjał produkcji metanu [Ndm ³ CH ₄ /kg sm]	b.d.	36,2±7,3 ³⁾	b.d.	412,0	385,5±8,9 ³⁾	258,2±13,9 ³⁾	417,4±11,1 ³⁾
Źródło	LeClerc i in., 2023	Moretti i in., 2020	LeClerc i in., 2023	Banks i in., 2018	Moretti i in., 2020	Moretti i in., 2020	Moretti i in., 2020

RSO – rozkładalna substancja organiczna

¹⁾ modelowe odpady kuchenne w UE, na podstawie wyników badań z kilku lokalizacji

²⁾ bioodpady z supermarketów - odpady żywności zbierane z przemysłowego miejsca rozpakowywania zmieszanych odpadów spożywczych z supermarketów

³⁾ test prowadzono przez 60 dni

Skład pierwiastkowy (zawartości C, H i N) wszystkich próbek bioodpadów jest podobny, jednak ilorazy C/N są różne. Najwyższym wskaźnikiem C/N (211) charakteryzowały się odpady ogrodowe. Wysoka wartość ilorazu C/N, wynikała z niskiej zawartości N, co było konsekwencją wysokiej zawartości ligniny w próbce. Z kolei wartość wskaźnika C/N dla odpadów ogrodowych pochodzących z gospodarstw domowych wynosiła zaledwie 31. Dla pozostałych odpadów wartość wskaźnika była bardzo niska i mieściła się w zakresie od 12 do 23.

Odpady ogrodowe zawierają przede wszystkim lignocelulozę (71,2% smo), która jest głównym składnikiem ściany komórkowej roślin i składa się z trzech polimerów: celulozy, hemicelulozy (tworzących łącznie holocelulozę) i ligniny, powiązanych ze sobą za pomocą wiązań kowalencyjnych i innych (Poszytek, 2016). Holocelulozy stanowią nierozpuszczalną część celulozy, co utrudnia biologiczne przetworzenie odpadów ogrodowych. Dane przedstawione przez LeClerc i in. (2023) wskazują na zawartości holocelulozy w odpadach ogrodowych na poziomie 81,1% sm. Moretti i in. (2020) badali udział frakcji organicznej ulegającej rozpuszczeniu podczas testu wymywania wodą w stosunku 10:1 przez 2 godziny w temperaturze pokojowej oraz udziały hemicelulozy i celulozy w pozostałej frakcji. W odpadach ogrodowych udział frakcji nieulegającej rozpuszczeniu był najwyższy i stanowił 27,2% sm. Najwyższy udział frakcji rozpuszczalnej stwierdzono w odpadach z restauracji (82,7% sm) oraz w przeterminowanej żywności z supermarketów (74,6% sm). Natomiast w odpadach kuchennych z gospodarstw domowych udział ten wyniósł 57,5%.

Głównymi składnikami odpadów kuchennych, na podstawie uśrednionych wyników badań z kilku lokalizacji w Europie, są węglowodany (48,0% sm), białka (21% sm) oraz tłuszcze (15,0% sm). Zawartość holocelulozy wynosi 13,0% sm, a lignin 3,0% sm (Banks i in., 2018).

Według innych autorów średnia wilgotność bioodpadów składających się wyłącznie z odpadów spożywczych waha się od 70 do 80% FM (Zhang i in., 2014; Pavi i in., 2017). Wilgotność bioodpadów, które składały się z mieszaniny żywności i odpadów ogrodowych, wahała się od 60 do 69% (Lopes i in., 2019).

Wysokie zawartości lotnych ciał stałych w odpadach żywności, podobne do podawanych przez Dubois i innych (2020) otrzymali Fitamo i in. (2016) - 93% sm. W przypadku odpadów ogrodowych wartości strat prażenia (SP) były niskie (68% sm). Jeszcze niższą średnioroczną wartość SP odpadów ogrodowych (52% sm) podają Boldrin i Christensen (2010), którzy analizowali skład odpadów w różnych porach roku. Latem SP bioodpadów mają tendencję do zmniejszania się ze względu na wysoką zawartość gleby (Hanc i in., 2011).

Dubois i inni (2020) ogólną charakterystykę odpadów żywności i odpadów kuchennych przedstawiają następująco:

- wilgotność do 90%, zmienny poziom wilgotności wpływa na wymagania logistyczne i techniczne dotyczące ich zbierania i dalszego przetwarzania;
- zawartość lotnych ciał stałych (SP) $85 \pm 5\%$ i słabo kwaśny odczyn ($\text{pH } 5,1 \pm 0,7$) (Fisgativa i in., 2016);
- niedobór parametrów, takich jak fosfor całkowity (TP $< 1\%$ m/m) i wysoka zawartość azotu całkowitego (TN: 1,0–2,5% m/m) (Faverial i in., 2014; Götze i in., 2016);
- w bioodpadach z gospodarstw domowych często występują zanieczyszczenia, które są trudne do usunięcia;
- bioodpady są niestabilne i uciążliwe (zapach).

Ogólna charakterystyka odpadów ogrodowych i parkowych:

- wilgotność 50-60%, duży udział drewna (lignoceluloza);

- zawartość azotu: między 0,1–0,2% (m/m), ze stosunkiem C/N większym niż 25 i wysoką zasadowością wodorowęglanową ($>1500 \text{ mg/dm}^3$) (Zhang i Sun, 2016; Neugebauer i Sołowiej, 2017; Reyes-Torres i in., 2018);
- niska biodegradowalność;
- niska gęstość nasypowa;
- nierównomierne tempo wytwarzania w ciągu roku;
- produkcja uzależniona od warunków klimatycznych.

Informacje o składzie morfologicznym bioodpadów są ważne i interesujące dla szeregu zainteresowanych stron, takich jak władze krajowe i lokalne, podmioty trudniące się gospodarką odpadami, naukowcy oraz opinia publiczna, w celu:

- identyfikacji rodzajów zanieczyszczeń występujących w bioodpadach i określenia ich udziałów masowych;
- zgromadzenie wiedzy o działaniach ograniczających marnotrawienie żywności;
- opracowania nowych lub rewizji funkcjonujących programów selektywnego zbierania bioodpadów;
- dokonania wyboru optymalnej metody zagospodarowania bioodpadów;
- zaprojektowania zespołu urządzeń do przetwarzania bioodpadów;
- charakterystyki produktu końcowego i wszelkich specjalnych wymagań procesowych;
- przewidywania, w jaki sposób, zmienność składu i parametrów bioodpadów w zależności od pory roku, może wpływać zarówno na przebieg, jak i wyniki przetwarzania bioodpadów.

Generalnie pojemniki na bioodpady powinny być używane wyłącznie do gromadzenia materiałów ulegających biodegradacji. Można w nich jednak znaleźć również zanieczyszczenia, takie jak: tworzywa sztuczne (TS), metale, szkło, tekstylia, odpady mineralne i inne zanieczyszczenia (Lopes i in., 2019). Udział zanieczyszczeń w bioodpadach segregowanych u źródła waha się od 2 do 18% m/m (Silvestre i in., 2015; LUBW, 2018). Lopes i inni (2019) określili zawartość zanieczyszczeń w bioodpadach w zakresie od 6 do 10% sm, przy czym największy udział miały tworzywa sztuczne. W Szwecji wskaźnik zawartości zanieczyszczeń w selektywnie zbieranych odpadach kuchennych z terenów z zabudową wielorodzinną wynosi zwykle 1–5% m/m (nie uwzględniając masy zużytych worków do zbierania bioodpadów) (Bernstad, 2010).

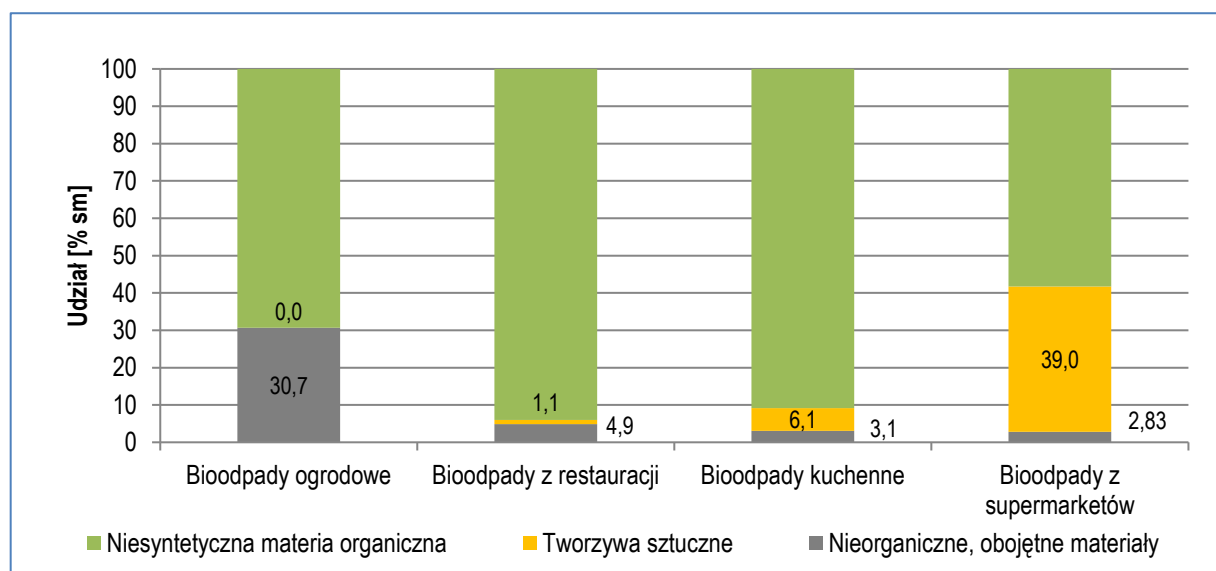
W badaniach przeprowadzonych dla New South Wales EPA w latach 2016-2017 (Australia) oceniono jakość odpadów kuchennych i ogrodowych zbieranych w systemie do krawężnika w pojemnikach typu MGB 120/140 i 240 dm³, odbieranych raz na tydzień i raz na dwa tygodnie. Stwierdzono, że udział zanieczyszczeń w zebranych bioodpadach wahał się w szerokim zakresie od 0,04 do 17,8% (średnio 2,6%) oraz że wielkość pojemnika miała na ten udział znaczący wpływ (Rawtec, 2018).

Przyczyny dużych różnic można upatrywać w różnych schematach zbierania bioodpadów. Bioodpady są zbierane systemem „od drzwi do drzwi” lub metodą „donoszenia” w pojemnikach zbiorczych. Odpady ogrodowe są zbierane razem z odpadami kuchennymi z gospodarstw domowych lub oddzielnie. Ważnym czynnikiem jest również zmienność powstawania poszczególnych rodzajów odpadów: sezonowa (np. wyższe udział odpadów ogrodowych

w okresie letnim) i regionalna (np. regiony przemysłowe, rolnicze czy turystyczne) (Meirer, 2018 za Lopes i in., 2019).

Moretti i inni (2020) określili zawartość niepożądanych składników w czterech rodzajach bioodpadów wytwarzanych w mieście Lyon (Francja), jako potencjalnych surowców do fermentacji: bioodpady ogrodowe, z restauracji, z gospodarstw domowych i z supermarketów (rys. 6).

Odpady ogrodowe zawierają zdecydowanie najwyższą ilość nieorganicznych materiałów obojętnych – 30,7% sm, podczas gdy dla bioodpadów z gospodarstw domowych i z supermarketów udziały materiałów obojętnych wynosiły około 3% sm, a w bioodpadach z restauracji blisko 5% sm. Obecne w odpadach ogrodowych nieorganiczne materiały obojętne to cząsteczki piasku, żwiru lub kamieni. Tworzywa sztuczne w dużych ilościach występowały w bioodpadach z supermarketów (39,0% sm) oraz gospodarstw domowych (6,1% sm).



Rys. 6. Zawartość zanieczyszczeń w czterech rodzajach bioodpadów

W Polsce praktycznie brak wiedzy o składzie materiałowym bioodpadów, mimo, że do zadań własnych gmin należy zapewnienie warunków do ich selektywnego zbierania oraz osiągnięcie poziomu (PdPU) i recyklingu odpadów komunalnych w wysokości, nie mniej niż 55% w roku 2025 (Ustawa, 1996). Realizacja tych zadań nie będzie możliwa bez wysokiego poziomu selektywnego zbierania bioodpadów i ich recyklingu.

2.3. Recykling

Potencjalne korzyści wynikające z selektywnego zbierania bioodpadów można osiągnąć tylko wówczas, gdy zebrane bioodpady są odpowiednio przetwarzane.

Charakterystyczną cechą bioodpadów jest ich duża wilgotność. Właściwość ta powoduje, że kluczową rolę w zamknięciu obiegu tych odpadów mają do odegrania procesy biologiczne - kompostowanie i fermentacja. Najlepsze dostępne techniki biotransformacji opisano w dokumencie referencyjnym dotyczącym przetwarzania odpadów (JRC, 2018). W krajach UE

wdrażane są też różne nowe rozwiązania i technologie przetwarzania bioodpadów, ale nie znalazły one jeszcze zauważalnego znaczenia na rynku.

Waloryzacja bioodpadów przez kompostowanie lub fermentację jest lepszym rozwiązaniem ich przetwarzania niż spalanie lub składowanie ze względu na mniejszy potencjalny wpływ na środowisko (Mondello i in., 2017) oraz biotransformację bioodpadów w produkty o wartości dodanej, w tym kompost (Cesaro i in., 2019; Ba i in., 2020) i nośniki bioenergii, takie jak biogaz lub biometan (Mo i in., 2018; Wainaina i in., 2020; Angouria-Tsorochidou i Thomsen, 2021; Czekala, 2022). Recykling bioodpadów preferuje się, ponieważ pozwala zawrócić składniki odżywcze do gleby i zamknąć obieg organicznych składników odżywczych w łańcuchach żywnościowym i rolniczym, zgodnie z koncepcją gospodarki o obiegu zamkniętym (Rosemarin i in., 2020).

Przetwarzanie bioodpadów na kompost lub poferment zapewnia szereg korzyści środowiskowych i społecznych. Najważniejsze z nich to: ochrona zasobów, gleby i klimatu, gdy produkt stały jest wykorzystywany np. jako zamiennik nawozów (Dri, 2018); zrównoważone i bezpieczne produkty, jeżeli zastępowane są produkty wytwarzane z paliw kopalnych oraz zmniejszone emisje gazów cieplarnianych ze składowania bioodpadów, a także w wyniku zatrzymywania węgla w bioproduktach (Badagliacca i in., 2024)

Kompost jako produkt ma dwa główne zastosowania: jako polepszacz gleby/nawóz organiczny oraz jako składnik podłoży uprawowych. Zastosowanie kompostu w glebie lub na niej zwykle poprawia właściwości fizyczne, biologiczne i chemiczne gleby (Sayara i in., 2020). Wielokrotne nawożenie kompostem powoduje wzrost zawartości materii organicznej w glebie, często pomaga też ograniczyć jej erozję, zwiększa zdolność zatrzymywania wody oraz buforuje pH gleby i poprawia jej strukturę fizyczną (stabilność kruszywa, gęstość, wielkość porów). Kompost może również poprawić aktywność biologiczną gleby ze względu na zawartość składników odżywczych, mikroelementów jak również wartość neutralizującą dla gleby. Odpowiednie zastosowanie kompostu można w wielu przypadkach, w dużym stopniu, pokryć zapotrzebowanie gleb rolniczych na fosfor i potas. Dostarczanie w kompoście azotu dostępnego dla roślin wymaga powtarzanych aplikacji przez dłuższy okres czasu, aby osiągnąć wymierny efekt (JRC, 2014). Zastępowanie nawozów mineralnych nawozami z bioodpadów jest ważnym kierunkiem odzyskiwania materiałów i energii (Christel i in., 2014).

Według ECN (2022) około 39 mln Mg bioodpadów pochodzenia komunalnego (87 kg/(M·rok)) i 21 mln Mg z handlu i przemysłu spożywczego zostało w Europie przetworzonych biologicznie w instalacjach fermentacji i kompostowania, w 2019/20 roku. Prawie 65% z tej ilości skierowano do kompostowania. Liczbę zakładów do przetwarzania bioodpadów (z komunalnych i niekomunalnych źródeł) oszacowano na 4700, z czego 3100 (66%) zajmowało się kompostowaniem bioodpadów, a 1600 (34%) ich fermentacją. Średnio każda instalacja fermentacji przetwarzała 13000 Mg/rok bioodpadów, obsługując około 225000 osób. Wyłącznie bioodpady przetwarzało 88% kompostowni i 48% zakładów fermentacji. Głównym surowcem w kompostowniach były selektywnie zbierane odpady ogrodowe (zbierane oddzielnie) - 41% oraz wspólnie zbierane odpady ogrodowe i kuchenne - 35%. W instalacjach fermentacji przetwarzane były odpady kuchenne (zbierane oddzielnie) - 37% i selektywnie zbierane „inne” odpady - 36% (ECN, 2022).

Szacuje się, że w 2020 r. wyprodukowano 17,6 mln Mg kompostu w UE-27. Rolnictwo było głównym odbiorcą kompostu i pofermentu, chociaż cena sprzedaży była dalece poniżej ich teoretycznej wartości. Średnia ważona cena kompostu we wszystkich sektorach rynku wynosiła tylko 10,1 EURO/Mg świeżej masy. Poferment miał cenę zerową lub ujemną (od 0 do minus 10 EUR/Mg). Szacuje się, że rozwój recyklingu organicznego bioodpadów umożliwiłby zastąpienie około 30% nawozów chemicznych, w tym 1,8 mln Mg nawozu fosforowego rocznie (Paes i in., 2019).

Do przetworzenia przewidywanego wzrostu ilości selektywnie zbieranych bioodpadów komunalnych, w UE, w 2035 r., niezbędnego w celu osiągnięcia 65% recyklingu OK, potrzeba dodatkowo 6000 instalacji fermentacji i kompostowni (ECN, 2022).

W Polsce zapotrzebowanie na nowe instalacje do końca 2034 oszacowano na 28 instalacji fermentacji o przepustowości 30 tys. Mg/rok i 33-48 kompostowni o przepustowości 15-10 tys. Mg/rok, przy założeniu doposażenia części istniejących kompostowni (ok. 37 instalacji) (Kpgo2028). Fermentacja mezofilowa blisko 900 tys. Mg bioodpadów rocznie, może zapewnić produkcję 80-110 mln Nm³ CH₄ rocznie (Davidsson i in., 2007).

W ostatnich latach obserwuje się tendencję do większego zainteresowania fermentacją z produkcją biogazu kosztem kompostowania (ECN, 2019; Le Pera, 2022). Wydaje się, że w niedalekiej przyszłości fermentacja bioodpadów będzie odgrywać coraz większą rolę w gospodarce bioodpadami ze względu na szereg korzystnych cech, które wykazuje w porównaniu z kompostowaniem (Jędrzak, 2018; Scarlat i in., 2018). Proces ma ograniczony wpływ na środowisko (Capson-Tojo i in., 2016) oraz wysoki potencjał odzysku energii w formie biogazu (Xu i in., 2018; Zhang i in., 2014; Yong i in., 2015; Zamanzadeh i in., 2016; Kuruti i in., 2017; Ren i in., 2018). Pozwala też na produkcję kompostu (Cheong i in., 2020; Kelley i in., 2020; Shen i in., 2013; Kuruti i in., 2017). Osiągnięcie tych korzyści wymaga spełnienia następujących warunków: kompost jest potrzebny do poprawy jakości gleby, kompost uzyskany z pofermentu jest podobny do kompostu z kompostowania pod względem składu materiałowego, odzysk energii z produkowanego biogazu wypiera produkcję energii z paliw kopalnych oraz proces fermentacji jest dobrze zarządzany. W regionach o niskim poziomie substancji organicznej w glebach rolniczych opcją preferowaną z punktu widzenia ochrony środowiska nadal może być kompostowanie. Możliwość jednoczesnego pozyskania energii i produktu nawozowego sprawia, że recykling bioodpadów w procesie fermentacji w pełni realizuje ideę gospodarki o obiegu zamkniętym i biogospodarki (Seruga i in., 2023).

Monofermentacja odpadów kuchennych i spożywczych często stwarza pewne trudności związane ze stabilnością układu (Ye i in., 2018). Fermentacja bioodpadów o wysokiej zawartości łatwo biodegradowalnej materii organicznej prowadzi do produkcji dużej ilości lotnych kwasów tłuszczowych (LKT), które mogą hamować metanogenezę (Jędrzak, 2007; David i in., 2018). Współfermentacja odpadów kuchennych z odpadami lignocelulozowymi, takimi jak odpady ogrodowe (liście i gałęzie) pozwala uniknąć tych problemów. Połączenie odpadów kuchennych i ogrodowych poprawia właściwości substratu (lepszy stosunek C:N), i w konsekwencji zwiększa produkcję metanu (Brown i Li, 2013; Panigrahi i in., 2020; Perin i in., 2020). Dla optymalizacji procesu ważny jest stosunek zmieszania tych frakcji (Oladejo i in., 2020; Ahmed i in., 2020). Zbyt duży udział odpadów ogrodowych zmniejsza

z kolei wydajność energetyczną procesu ze względu na obecność ligniny, która nie rozkłada się w warunkach beztlenowych.

Najlepsze wyniki w zakresie odzyskiwania materiałów i energii osiąga się stosując fermentację jako pierwszy etap przetwarzania bioodpadów, a następnie stabilizację tlenową (kompostowanie) uzyskanego pofermentu (Nayono i in., 2010). Na przykład w Holandii i we Włoszech poferment z bioodpadów komunalnych jest kompostowany i rejestrowana jest tylko ostateczna ilość wyprodukowanego kompostu (ECN, 2019). Integracja fermentacji i kompostownia jest obecnie uznawana za rozwiązanie najbardziej korzystne dla środowiska. Mimo to, jedynie 5% kompostowni stabilizowało tlenowo poferment z ko-lokowanych instalacji fermentacji w 2019 roku. Przewiduje się, że udział ten będzie wzrastał w kolejnych latach.

Zamknięcie obiegu bioodpadów wymaga, aby kompost lub/i poferment produkowany z bioodpadów były dobrej jakości. Tylko wówczas możliwe jest ich wykorzystanie jako polepszacza gleby lub nawozu. Właściwe zarządzanie jakością surowców, procesu i produktów końcowych jest bardzo ważne dla stworzenia rynku dla kompostu i pofermentu, który stanowi integralną część systemu zarządzania bioodpadami. Bez zbudowania zaufania do produktów końcowych przetwarzania bioodpadów, poprzez zagwarantowanie ich jakości, osiągnięcie sukcesów w gospodarowaniu bioodpadami może być nie możliwe.

3. Przygotowanie bioodpadów do przetwarzania

Bioodpady z zabudowy jednorodzinnej zbierane są najczęściej w workach z tworzyw sztucznych, a bioodpady z zabudowy wielorodzinnej z reguły zbierane są w pojemnikach z tworzyw sztucznych.

W przypadku bioodpadów dostarczanych w workach pierwszą operacją w procesie ich przetwarzania musi być opróżnienie worków. W tym celu konieczne jest rozerwanie worków i usunięcie z nich możliwie jak największej ilości bioodpadów. W małych instalacjach (w tym obecnie w ŁCR Marszów) rozrywanie i opróżnianie worków z bioodpadów wykonywane jest ręcznie. Działanie to jest mało wydajne i bardzo uciążliwe dla pracowników wykonujących tą pracę.

Przetwarzanie bioodpadów usuniętych z worków i z pojemników stanowi wyzwanie ze względu na wysoki udział w nich zanieczyszczeń. W bioodpadach, poza fragmentami worków, w których są one zbierane, znajdują się też worki i torby wykonane z nierozkładalnych i biodegradowalnych tworzyw sztucznych, które są popularne do zbierania odpadów biodegradowalnych, takich jak żywność, odpady kuchenne, a nawet ogrodowe, ponieważ są wodoodporne. W bioodpadach znajdują się również inne tworzywa sztuczne oraz metale, szkło, tekstylia, odpady mineralne i inne zanieczyszczenia (Lopes i in., 2019). W literaturze podaje się, że udział zanieczyszczeń w bioodpadach segregowanych u źródła waha się od 2 do 18% (Silvestre i in., 2015; LUBW, 2018).

Brązowe worki, w których w Polsce zbierane są bioodpady oraz zanieczyszczenia zawarte w bioodpadach, jeśli nie zostaną usunięte z surowca kierowanego do biologicznego przetwarzania, mogą powodować problemy w procesie przetwarzania bioodpadów. Zanieczyszczenia w przypadku instalacji fermentacji mogą być przyczyną awarii urządzeń mechanicznych, ścierania i zatykania rur oraz tworzenia się osadów na dnie komór fermentacyjnych (Kübler i in., 2004; Shen i in., 2015; Jank i in., 2016). Zmniejszenie objętości komory fermentacyjnej spowodowane odkładaniem się osadów negatywnie wpływa na wydajność procesu i zwiększa koszty eksploatacji instalacji (Carlsson i in., 2012; Bayo i in., 2015; Nowak i Ebner, 2016). Przerwy w normalnej pracy instalacji, wynikające z obecności w bioodpadach zanieczyszczeń (awarie, okresowe usuwanie osadów) skutkują również stratami ekonomicznymi (Jank i in., 2017a).

Zanieczyszczenia obecne w bioodpadach obniżają również jakość wytwarzanego produktu końcowego (kompostu, pofermentu), ograniczając jego dalsze wykorzystanie i komercjalizację jako kompost lub płynny nawóz (Puig-Ventosa i in., 2013; Jank i in., 2015).

W 2019 r. UE wprowadziła nowe rozporządzenie w sprawie nawozów, koncentrujące się również na materiałach pochodzących z recyklingu i materiałach organicznych (Rozporządzenie UE, 2019), zgodnie z którym suma zanieczyszczeń o wielkości ziarna >2 mm (np. szkło, metale, tworzywa sztuczne) nie powinna przekraczać 0,5% sm. Ponadto stężenie dopuszczalne każdego rodzaju zanieczyszczenia >2 mm nie powinno przekraczać 0,3% sm. W normowanej grupie zanieczyszczeń pominięto kamienie. Kamienie nie są postrzegane jako

zanieczyszczenia, ponieważ nie stanowią one zagrożenia dla środowiska ani zdrowia ludzi. Kilka państw członkowskich ustanowiło własne, odrębne przepisy ograniczające stężenie zanieczyszczeń w produktach nawozowych na bazie bioodpadów, aby zapobiec przedostawaniu się ich do środowiska. Przykładem takiego kraju jest Austria, która ograniczyła udział frakcji tworzyw sztucznych >2 mm do 0,2% sm. Niemcy mają jeszcze bardziej surowe kryteria. Rozporządzenie w sprawie nawozów (DüMV, 2023) dopuszcza obecność cząstek tworzyw sztucznych >1 mm (do 2021 r. >2 mm, aktualny limit UE), w kompostach produkowanych przemysłowo, w ilości do 0,5% wag. (5 µg/mg), w tym fragmentów folii (plastycznie odkształcalnych tworzyw sztucznych) do 0,1% sm (1 µg/mg). Rozporządzenie w sprawie bioodpadów (BioAbfV, 2013), które nadal reguluje jakość biomateriału przeznaczonego do kompostowania/fermentacji, warunki prowadzenia procesu i jakość końcowych produktów, dopuszcza zawartość zanieczyszczeń w surowcu (w tym tworzyw sztucznych) do 0,5% wag. Również suma powierzchni zanieczyszczeń >2 mm nie może przekraczać 15 cm²/dm³ m/m (Alessi i in., 2020).

Informacje z Niemiec sugerują, że dużą część ciał obcych zawartych w bioodpadach można usunąć poprzez przesiewanie kompostu podczas przygotowywania produktu końcowego. Z reguły osiągnięta jest wydajność na poziomie około 95% wagowo, co oznacza, że jeśli zebrane bioodpady (odpady kuchenne z gospodarstw domowych i odpady ogrodowe) zawierają 3% zanieczyszczeń, przesiany i oczyszczony kompost będzie ich zawierał około 0,45%sm. Obowiązująca wartość graniczna z rozporządzenia w sprawie nawozów, wynosząca 0,5% sm w produkcie końcowym, będzie spełniona (Bundesgütegemeinschaft Kompost, 2016).

Tworzywa sztuczne w środowisku od lat znajdują się w centrum uwagi opinii publicznej, polityki, normalizacji (ISO, 2020) i nauki, zwłaszcza mikroplastiki (MP) (Rios Mendoza i in., 2021). Nadal jednak niewiele wiadomo na temat „losu” zanieczyszczeń z tworzyw sztucznych w zakładach przetwarzania bioodpadów. W nawozach z bioodpadów może występować dużo konwencjonalnych rodzajów polimerów, takich jak PE, PP, PS czy PET (Gui i in., 2021). Weithmann i inni (2018) badali obecność mikroplastików (wielkość cząstek w zakresie od 1 µm do 5 mm) w produktach wytworzonych z bioodpadów, takich jak komposty, pofermenty (płynny produkt fermentacji) i perkolaty. Badanie wykazało, że stężenie mikrodrobin plastiku waha się od 20 do 146 cząstek na kg suchej masy. Ekstrapolacja wyników badań na całe Niemcy wykazała, że każdego roku do środowiska uwalnianych jest od 35 miliardów do 2,2 bilionów cząstek mikroplastiku.

W przypadku przetwarzania zanieczyszczonych bioodpadów w kompost, małe cząsteczki tworzyw, które pozostały w nawozie mogą rozproszyć się w środowisku i negatywnie wpłynąć na ekosystemy (Souza Machado i in., 2018). Ostatnio coraz częściej przedmiotem badań jest występowanie, drogi transportu i los lub zagrożenia, jakie stwarzają te małe cząsteczki plastiku w glebach rolnych po bezpośrednim wprowadzaniu tworzyw sztucznych do gleb, w formie folii ściółkowej oraz nawozach takich jak kompost i osady ściekowe (Weithmann i in., 2018; Van Schothorst i in., 2021).

Zanieczyszczenie tworzywami sztucznymi jest ważnym aspektem wprowadzania kompostu na rynek, a kilka krajów wymienia tworzywa sztuczne jako kluczowe zanieczyszczenie, którym należy się zająć (Eionet, 2019). Obecnie trwa dyskusja, czy istniejące systemy oczyszczania są

w stanie usunąć zanieczyszczenia, zwłaszcza tworzywa sztuczne, z bioodpadów na tyle skutecznie, aby wyprodukowany kompost był zgodny z obowiązującymi przepisami prawa. Wydaje się, że zagwarantowanie wytwarzanym kompostom jakości spełniającej kryteria utraty statusu odpadu, które dla nawozów z odpadów są bardzo ostre, będzie trudne. W większości przypadków wymagać to będzie dużego wysiłku technicznego przy zastosowaniu zaawansowanych technik separacji.

Reasumując, wady systemów zbierania, jak również potencjalne błędne sortowanie ze strony mieszkańców gospodarstw domowych, powodują, iż bioodpady wymagają pewnego rodzaju mechanicznej obróbki wstępnej (WOM) zanim trafią one do zakładu przetwarzania, zwłaszcza w przypadku fermentacji mokrej, obecnie najczęściej stosowanej technologii przetwarzania odpadów kuchennych (Carlsson i in., 2015).

Cele mechanicznego przetwarzania bioodpadów według Bernstad i innych (2013) to:

- separacja źle posortowanych materiałów, np. woreczków do zbierania bioodpadów w kuchniach i innych ciał obcych (tzw. błędnych wrzutów);
- separacja opakowań żywności z supermarketów;
- zmniejszenie wielkości cząstek do <12 mm;
- mieszanie różnych substratów organicznych (optymalizacja suchej masy i stosunku C/N).

Zmniejszenie wielkości cząstek zwiększa biodostępność odpadów i zapewnia uzyskanie jednorodnego surowca, co w konsekwencji zwiększa potencjał produkcji metanu (Agyeman i Tao, 2014; Bernstad i in., 2013) i spełnienia wymagania sanitarne (rozporządzenie (UE), 2019).

Z literatury wiadomo o kilku rozwijanych technologiach WOM, ale dostępne są jedynie ograniczone informacje na temat ich działania (Bernstad i in., 2013; Hansen i in., 2007; Jank i in., 2015). Ogólnie rzecz biorąc, znane procesy WOM można scharakteryzować jako procesy mokre, suche lub opcjonalne kombinacja tych metod (mokre/suche) (Meirer, 2018). Zwykle systemy te generują następujące produkty: frakcję odrzucaną (balast), która zawiera zanieczyszczenia (tworzywa sztuczne, metale, tekstylia, kamienie itp.) oraz frakcję substratu bogatą w materię organiczną, która poddawana jest fermentacji lub kompostowaniu. Procesy te różnią się dodatkiem wody służącej do wypłukania materiału organicznego i przenoszenia go do frakcji wyjściowej przeznaczonej do biologicznego przetwarzania. Typowe urządzenia stosowane w systemach mokrych to prasy do segregacji bioodpadów (PdSB), suspensery i hydrocyklony; a w systemach suchych: rozdrabniacze, sita, separatory powietrzne, separatory magnetyczne i wiropędowe oraz separatory optyczne.

Optymalna WOM powinna generować substrat bez zanieczyszczeń (czysty) przy niewielkich stratach materii organicznej, o odpowiednich właściwościach fizycznych, gotowy do przetransportowania do instalacji kompostowania lub do komory fermentacyjnej.

Przegląd zautomatyzowanych technik sortowania segregowanych u źródła stałych odpadów komunalnych w celu recyklingu przedstawili Gundupalli i inni (2016). Doddiba i Fujita (2004) dokonali przeglądu techniki sortowania odpadów stosowanych do oddzielania tworzyw sztucznych. Przegląd skupiał się głównie na projektowaniu, opracowywaniu i testowaniu technik sortowania odpadów na mokro i na sucho, które nie wykorzystują czujników. Z kolei

Shapiro i Galperin (2005) przedstawili zasady działania, cechy i parametry (takie jak wielkość cięcia, poziom czystości i odzysku) różnych technik klasyfikacji cząstek stałych w strumieniu powietrza.

Obróbka mechaniczna bioodpadów może powodować dwa problemy: po pierwsze, zanieczyszczenia, takie jak tworzywa sztuczne i szkło, mogą zostać postrzępione i/lub pokruszone co może uniemożliwiać ich wydzielenie, w konsekwencji zanieczyszczając produkt, a po drugie, materia organiczna zawarta w nieotwartych plastikowych workach i torebkach jest tracona w balaście.

W systemach mokrych ważnym celem, poza usuwaniem niepożądanych materiałów, takich jak tworzywa sztuczne i metale, jest ekstrakcja ze strumienia odpadów frakcji organicznych, które najłatwiej ulegają biodegradacji. Ilość odzyskiwanej frakcji biodegradowalnej w procesach przetwarzania przez sito zależy od ciśnienia tłoczenia oraz ilości cieczy dodawanej do bioodpadów (stosunek wagowy cieczy do substancji stałych). Zaobserwowano, że zwiększenie stosunku cieczy do fazy stałej w fazie WOM pozwalało na zwiększenie udziału biodegradowalnej materii organicznej ekstrahowanej z bioodpadów i w konsekwencji powodowało wyższą produkcję metanu (de Oliveira i in., 2022).

W literaturze zwraca się uwagę na często wysoką utratę biodegradowalnej materii organicznej podczas etapów WOM (Ponsá i in., 2010). Co więcej, procesy te są czasochłonne, często energochłonne (Tonini i in., 2014) i generalnie nie pozwalają na osiągnięcie wysokiej wydajności usuwania materiałów obojętnych, takich jak małe kawałki tworzyw sztucznych i drobnych, ciężkich materiałów (potłuczone szkło, muszle, piasek). Do zalet WOM zalicza się łatwość wdrożenia, a w przypadku procesów mokrych lepszą odwodnialność pofermentu oraz umiarkowane zużycie energii (Ariunbaatar i in., 2014).

Zwykle pierwszym etapem WOM jest rozerwanie brązowych worków i/lub rozdrobnienie odpadów, w celu wydzielenia bioodpadów uwięzionych w plastikowych torebkach i uczynienie ich bardziej jednorodnymi.

Najprostszą metodą wstępnej obróbki bioodpadów jest użycie rozdrabniacza i elektromagnesu. Technika ta nadaje się jednak tylko do czystych bioodpadów, ponieważ nie pozwala usunąć tworzyw sztucznych oraz odpadów szkła. W przypadku, gdy w bioodpadach znajdują się cząstki szkła i tworzyw sztucznych stosowaną praktyką usuwania zanieczyszczeń jest połączenie przesiewania na pokładzie o prześwicie około 60 mm z dodatkowym ręcznym sortowaniem frakcji podsitowej. Jest to jednak proces uciążliwy, którego wydajność jest ograniczona. W związku z tym istnieje zapotrzebowanie na bardziej dostosowane opcje przetwarzania, które uwzględniają specyficzne wymagania dotyczące bioodpadów.

Hansen i in. (2007) zbadali trzy różne rozwiązania mechanicznego sortowania selektywnie zbieranych bioodpadów:

1. PdSB (ślimakowa), w której bioodpady są przeciskane przez szczeliny, w wyniku czego miękkie i mokre części oddzielane są od tworzyw sztucznych, elementów drewnianych, kamieni lub kości;
2. sito dyskowe, które oddziela lekkie i duże obiekty od mniejszej i cięższej materii organicznej;

3. rozdrabniacz + separator magnetyczny.

Podział strumienia bioodpadów w dwóch pierwszych systemach w porównaniu z zastosowaniem typowej rozrywarki worków i obróbki magnetycznej (rozwiązanie 3) przedstawiono w tabeli 4. Ubytek masy w formie balastu był wysoki w przypadku dwóch pierwszych systemów, 41 i 34% masy wsadu (w przeliczeniu na masę moką). Balasty składały się głównie z materiału organicznego (ponad 80% w przeliczeniu na moką masę). W przypadku stosowania przesiewacza dyskowego małe i ciężkie cząstki (kamienie) wpadają do frakcji organicznej, natomiast zastosowanie prasy ślimakowej sprawia, że z dużym prawdopodobieństwem, większa ich ilość trafia do balastu.

Tabela 4. *Podział mokrej masy frakcji organicznej i balastu oraz suchej masy frakcji organicznej i zawartość w niej substancji organicznej po zastosowaniu prasy ślimakowej, przesiewacza dyskowego i rozdrabniacza z elektromagnesem (Hansen i in., 2007)*

Strumień odpadów	PdSB	PD	R+EM
Frakcja organiczna (% m/m)	59	66	<100
Balast (% m/m)	41	34	0
Sucha masa frakcji organicznej (%)	26	31	31
Zawartość substancji organicznej we frakcji organicznej (% sm)	88	85	92

m/m – masa mokra, PdSB – prasa do segregacji bioodpadów (prasa ślimakowa), PD – przesiewacz dyskowy i R+EM – rozdrabniacz i elektromagnes

Jank i in. (2015) przetestowali prasę mechaniczną do usuwania zanieczyszczeń z bioodpadów składających się z odpadów żywności i odpadów ogrodniczych. Badano dwa warianty obróbki: wariant I – strumień bioodpadów poddano obróbce za pomocą PdSB oraz wariant II – bioodpady przesiano przez sito o prześwicie 60 mm i jedynie frakcję nadsitową poddano obróbce za pomocą PdSB. Badanie wykazało, że przy przetwarzaniu całości bioodpadów za pomocą PdSB (wariant I) około 87% całości bioodpadów przechodzi do frakcji organicznej, z czego około 90% stanowi materia organiczna. Do frakcji organicznej przechodzi też 33% folii z tworzywa sztucznego (folia jest przetłaczana przez otwory cylindra) i 8% szkła. Separator magnetyczny nie jest konieczny przy stosowaniu PdSB ze względu na dość wysoki stopień separacji w prasie metali od substancji organicznych. W wariantcie II – do frakcji organicznej przechodzi 70% masy frakcji nadsitowej, z czego około 68% stanowi materia organiczna. Do frakcji organicznej przechodzi też 14% folii z tworzywa sztucznego i 12% szkła.

Bezawaryjny przebieg procesu fermentacji wymaga usunięcia z bioodpadów nie tylko dużych, ale też drobnych zanieczyszczenia mineralnych typu, szkło, kamienie czy piasek. Ich obecność we wsadzie powoduje awarie instalacji, zwiększone zużycie sprzętu i zatykanie rur. Jank i inni (2017b) badali usuwanie tych zanieczyszczeń w hydrocyklonach w dwóch różnych zakładach pod kątem ich zdolności do oddzielania małych, obojętnych zanieczyszczeń z wstępnie oczyszczonych bioodpadów segregowanych u źródła. Proces wstępnego oczyszczania bioodpadów obejmował ich rozdrobnienie w młynie młotkowym, a następnie przesianie odpadów przez sito o oczku 8 mm. W zakładzie A hydrocyklon był częścią linii

recyrkulacyjnej komory fermentacyjnej wyposażonej w rurę recyrkulacyjną, która służyła do podgrzewania i mieszania odpadów w komorze fermentacyjnej. Frakcję >8 mm wprowadzano do linii recyrkulacji, gdzie mieszana była z osadem z komory fermentacyjnej i w ten sposób upłynniwana. W zakładzie B hydrocyklon był oddzielną jednostką i stanowił część linii wstępnej obróbki bioodpadów (po młynie i sicie) przed komorą fermentacją. Frakcję >8 mm wprowadzano do zbiornika magazynowego hydrocyklonu. Hydrocyklon w zakładzie A wykazał skuteczność oddzielania około 70–80% zanieczyszczeń >2 mm, około 40% zanieczyszczeń o ziarnie w zakresie wielkości 1–2 mm i do 10% cząstek o średnicy 0,5–1 mm. W przypadku instalacji B w hydrocyklonie usuwano ponad 90% zanieczyszczeń >0,5 mm. W instalacji A około 65% wydzielonych zanieczyszczeń >4 mm stanowiły kamienie, szkło i metale. We frakcji 2–4 mm przeważały kamienie (ok 50%) i szkło (>40%). W przypadku instalacji B wydzielone zanieczyszczenia >4 mm składały się z kamieni – 45%, muszli – 41%, szkła – 8% i metali – 5%. Frakcja ziarnowa 2–4 mm charakteryzowała się podobnym rozkładem, lecz z większym udziałem szkła i mniejszą zawartością metali.

Novarino i Zanetti (2012) przetestowali mechaniczny system obróbki oparty na PdSB. W tym procesie materiał tłoczony był przez kratę z otworami o średnicy 8 mm. Wytlaczana frakcja organiczna stanowiła 85% m/m wsadu, podczas gdy pozostałe 15% m/m składało się głównie z tworzyw sztucznych, szkła i materiału biodegradowalnego (gałęzie). W artykule nie podano jednak szczegółowych informacji dotyczących stężenia pozostałych zanieczyszczeń w ekstrudowanej frakcji organicznej.

Wykorzystanie PdSB do przygotowania odpadów ulegających biodegradacji kierowanych do procesu fermentacji było prezentowane w wielu pracach (Nayono i in., 2010; Micolucci i in., 2016; Lopes i in., 2019).

Lopes i in. (2019) przetestowali dwa układy mechanicznej obróbki wstępnej na mokro bioodpadów (zmieszanych odpadów spożywczych i ogrodowych z gospodarstw domowych) pod kątem ich skuteczności w usuwaniu zanieczyszczeń. Proces I składał się z młyna śrubowego (otwieranie worków z bioodpadami), przesiewacza gwiaździstego (prześwit 80 mm) oraz maszyny do rozpakowywania żywności (młyn młotkowy i sito o oczkach 12 mm). Uzyskiwano dwie frakcje: 12–80 mm i <12 mm. Frakcja 12–80 mm stanowiła substrat do suchej fermentacji natomiast frakcja <12 mm po wymieszaniu z wodą, w celu jej upłynnienia, stanowiła substrat do fermentacji mokrej. Frakcja >80 mm (balast) składała się głównie z toreb foliowych i innych dużych przedmiotów.

Drugi układ (proces II) składał się z rozdrabniacza i prasy tłokowej o wielkości otworów 12 mm. Do bioodpadów przed prasą dodawano wodę (0,35 tony na tonę bioodpadów). Frakcja >12 mm stanowiła balast. Proces I okazał się lepszym rozwiązaniem do separacji tworzyw sztucznych niż proces II (prasa tłokowa). Poziom usunięcia tworzyw sztucznych znajdujących się we wsadzie sięgał 99%, natomiast w procesie II tylko 49%. Mimo to w procesie I nie udało się uzyskać kompostu o jakości wymaganej dla tworzyw sztucznych przez niemieckie prawo (BGK, 2018). Skuteczność usuwania cząstek szkła była niska w przypadku obu procesów: co najmniej 80% wchodzących cząstek zostało przeniesionych do mokrego materiału wyjściowego.

Alessi i in. (2020) określili wydajności usuwania zanieczyszczeń w czterech instalacjach WOM w rzeczywistej skali:

- WOM1 – sito bębnowe (80 mm) + rozdrabniacz + prasa tłokowa;
- WOM2 – rozdrabniacz + prasa tłokowa (<12 mm) + prasa śrubowa;
- WOM3 – młyn separacyjny (<10 mm) oraz
- WOM4 – rozwłóknierz (pulper) + sito bębnowe (12 mm).

W WOM1 przetwarza się bioodpady (zmieszane odpady spożywcze i ogrodowe), podczas gdy w WOM2, 3 i 4 przetwarza się głównie odpady żywnościowe. Rodzaj podczyszczanych bioodpadów miał wpływ na efektywność systemów wstępnej obróbki. Odzyskiwanie substancji organicznych przez prasę było bardziej wydajne w przypadku wstępnej obróbki odpadów żywnościowych (WOM2, 93%) niż w przypadku przetwarzania zmieszanych odpadów spożywczych i ogrodowych (WOM1, 77%). W WOM3 odzysk biogazu był najwyższy (do 98%), ale także najwięcej frakcji obojętnych (rozdrobione TS i inne zanieczyszczenia) przechodziło do pofermentu. Przeciwnie, w WOM4 najbardziej skutecznie usuwa się składniki obojętne z surowca, jednak wiąże się to z dużymi stratami biogazu (prawie 20% potencjału).

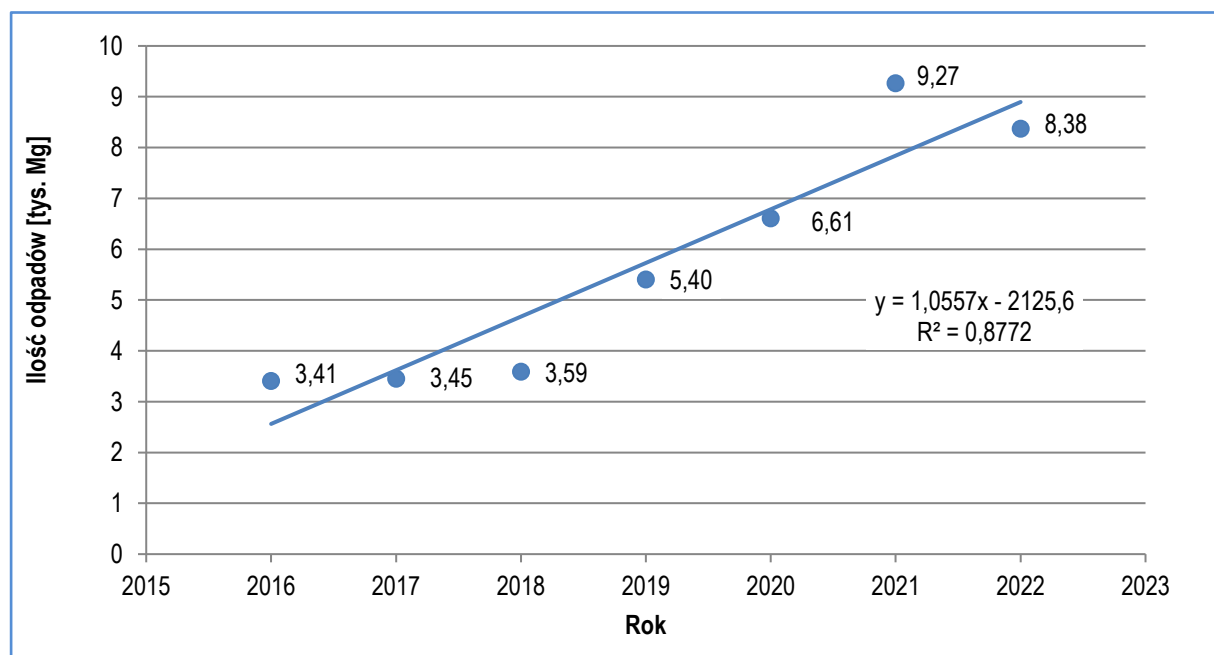
4. Uzasadnienie wyboru tematu pracy

4.1. Aktualny system przygotowywania odpadów do procesu kompostowania w Instalacji Komunalnej w Marszowie

Łużyckie Centrum Recyklingu w Marszowie gmina Żary zagospodarowuje odpady komunalne wytwarzane na obszarze 22 gmin zamieszkałych przez blisko 200 tys. mieszkańców. Obecnie na terenie Zakładu eksploatowana jest kompostownia bioodpadów o wydajności 14 000 Mg/rok. Do instalacji dostarcza się trzy rodzaje odpadów biodegradowalnych zgodnie z katalogiem odpadów (Rozporządzenie (MK), 2020):

- 20 02 01 – odpady ulegające biodegradacji
- 20 01 08 – odpady kuchenne ulegające biodegradacji
- 02 02 08 – odpadowa masa roślinna.

Ilość odpadów biodegradowalnych dostarczanych do instalacji w latach 2016-2022 przedstawiono na rysunku 7. W analizowanym okresie ilość odpadów przywożonych w ciągu roku na instalację wzrosła prawie trzykrotnie, z niespełna 3,5 tys. Mg w roku 2016 do 8,5 tys. Mg w roku 2022.



Rys. 7. Ilości odpadów biodegradowalnych dostarczanych do instalacji w Marszowie, w latach 2016 – 2022

Spółka w roku 2016 uzyskała decyzję na wprowadzanie do obrotu gospodarczego środka poprawiającego właściwości gleby „Kompo ZZO Marszów”. Produkcja kompostu wymaga surowca o wysokiej jakości. Z tego względu strumień bioodpadów kierowany do procesu biologicznego jest oczyszczany, ponieważ nawet drobne zanieczyszczenia takie jak resztki

opakowań mogą skutecznie utrudniać jego przetworzenie lub zdeklasifikować wytworzony produkt.

Dostarczane bioodpady wyładowuje się z pojazdów na płycie kompostowej. Formuje się z nich wstępną pryzmę ładowarką kołową, której ostateczny kształt nadaje się przy pomocy przerzucarki do kompostu. Pracownicy usuwają ręcznie z powierzchni pryzm rozerwane worki i inne widoczne ciała obce (fot. 1). Zdejmowanie ręczne zanieczyszczeń odbywa się po każdym przejeździe przerzucarki. Proces trwa do momentu usunięcia wszelkich widocznych zanieczyszczeń. Przygotowanie bioodpadów do przetwarzania wykonuje brygada licząca 5 osób.



Fot. 1. *Manualne usuwanie zanieczyszczeń ze strumienia bioodpadów dostarczanych na instalację oraz proces formowania pryzm przez przerzucarkę*

4.2. Strategia rozwoju instalacji

W roku 2022 na terenie związku gmin obsługiwanych przez Instalację Komunalną wytworzono 67,46 tys. Mg odpadów komunalnych. Do instalacji skierowano około 8,5 tys. Mg bioodpadów. Udział bioodpadów w łącznej masie odpadów komunalnych wynosił około 12,5%

Poddanie recyklingowi i PdPU 65% masy wytworzonych odpadów komunalnych w roku 2035 oznacza, że wszystkie składniki materiałowe (w tym zwłaszcza bioodpady – główny składnik OK) powinny być zbierane selektywnie z efektywnością przynajmniej 76% (przy uwzględnieniu wskaźnika zanieczyszczenia selektywnie odpadów).

Przyjmując średni udział bioodpadów w OK na terenie 22 gmin 29,1% (Jędrzak i Butrymowicz, 2020), wymagany poziom selektywnego zbierania bioodpadów – 76%, prognozowany wzrost liczby mieszkańców regionu i wskaźnika wytwarzania odpadów kuchennych i ogrodowych w latach 2024-2035 – średnio 1,2% rocznie, do instalacji w 2035 roku trafi 17,22 tys. Mg bioodpadów ($67460 \times 29,1/100 \times 76/100 \times (1,2/100)^{12}$). Przepustowość obecnie eksploatowanej kompostowni bioodpadów o wydajności maksymalnej 14,0 tys. Mg/rok będzie niewystarczająca. Od 2023 roku Zakład realizuje projekt, którego celem jest budowa instalacji fermentacji wraz z modułem mechanicznego otwierania worków i oczyszczania bioodpadów. Wydajność instalacji fermentacji będącej przedmiotem projektu planowana jest na 5,6 tys. Mg/rok. Nowa instalacja do fermentacji bioodpadów będzie współpracować z instalacją istniejącą. Planowana instalacja fermentacji bioodpadów oraz wytworzenie z pofermentu kompostu wymaga surowca o najwyższej jakości. Przepustowość linii do wstępnego mechanicznego podczyszczania bioodpadów powinna wynosić 17,5 tys. Mg/rok.

Rosnący strumień odpadów oraz konieczność utrzymania wysokiej jakości produktu z jednej strony, a z drugiej rosnące koszty osobowe jak również niewystarczające zasoby ludzkie były impulsem do podjęcia działań związanych z opracowaniem linii technologicznej wstępnego oczyszczania bioodpadów.

5. Tezy pracy

1. Możliwe jest wybudowanie linii technologicznej, wykorzystując maszyny i urządzenia powszechnie dostępne na rynku, przy stosunkowo niewielkich nakładach inwestycyjnych oraz kosztach eksploatacji, która pozwoli na skuteczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów.
2. Obróbka mechaniczna bioodpadów podczas opróżniania worków nie wpływa negatywnie na przebieg i wydajność przetwarzania bioodpadów.

6. Cel pracy i zakres pracy

6.1. Cel pracy

Celem pracy była ocena technicznej wykonalności procesu oczyszczania bioodpadów na linii technologicznej wykorzystującej procesy powszechnie stosowane w sortowniach odpadów. Dla realizacji tego celu istotne było:

- uzyskanie informacji na temat zmian składu morfologicznego i poziomu zanieczyszczenia bioodpadów selektywnie zbieranych na terenie miast i wsi;
- opracowanie koncepcji technologicznej (optymalnego rozwiązania) linii wstępnej obróbki bioodpadów umożliwiającej wydzielenie występujących w nich zanieczyszczeń (ciał obcych) w stopniu zapewniającym produkcję kompostu i/lub pofermentu, przy niewielkich stratach materiału organicznego;
- ocena technicznej wykonalności procesu oczyszczania bioodpadów na linii wstępnej obróbki bioodpadów.

Zakres pracy obejmował:

- określenie zmian składu morfologicznego i zawartości zanieczyszczeń (ciał obcych) w bioodpadach zbieranych selektywnie w pojemnikach w zabudowie wielorodzinnej oraz w workach w zabudowie jednorodzinnej, na terenie miast i wsi, w ciągu roku;
- pogrupowanie zanieczyszczeń ze względu na właściwości fizyczne, które będą podstawą doboru urządzeń do ich skutecznego usunięcia z bioodpadów;
- zebranie informacji o dostępnych na rynku maszynach i urządzeniach do usuwania wyodrębnionych rodzajów zanieczyszczeń;
- badanie wydajności urządzeń mechanicznych zastosowanych w koncepcji linii technologicznej do wstępnej obróbki bioodpadów (badania będą prowadzone w Marszowie po wypożyczeniu urządzeń do zakładu lub na terenie instalacji, gdzie pracują wybrane urządzenia, na odpadach dostarczonych z Marszowa);
- opracowanie koncepcji technologicznej instalacji do oczyszczania bioodpadów wykorzystującej procesy powszechnie stosowane w sortowniach odpadów;
- wykonanie badań składu materiałowego bioodpadów po obecnie stosowanym procesie ich podczyszczania oraz po przejściu przez zaprojektowany i wybudowany ciąg technologiczny (2 warianty) w celu oceny jego wydajności w oddzielaniu zanieczyszczeń, szczególnie tworzyw sztucznych i materiałów obojętnych, od materiałów organicznych;
- ustalenie niezbędnego poziomu usunięcia zanieczyszczeń z bioodpadów w procesie mechanicznego ich oczyszczania oraz wpływu tych operacji na właściwości bioodpadów i jakość wytwarzanego kompostu;
- opracowanie bilansów materiałowych procesów wstępnej obróbki bioodpadów.

6.2. Zadania badawcze

W ramach pracy zrealizowano dwa zadania badawcze:

- Zadanie 1 – wykonanie rocznych badań w cyklu miesięcznym zmian składu morfologicznego i poziomu zanieczyszczenia bioodpadów selektywnie zbieranych na terenie miast i wsi, metodą od drzwi do drzwi i metoda donoszenia.
- Zadanie 2 – opracowanie koncepcji technologicznej (optymalnego rozwiązania) linii wstępnej obróbki bioodpadów umożliwiającej wydzielenia z nich zanieczyszczeń (ciał obcych) w stopniu uniemożliwiającym produkcję kompostu i/lub pofermentu, przy niewielkich stratach materiału organicznego oraz ocena technicznej wykonalności procesu.

Realizacja zadania 2 wymaga wiedzy uzyskanej z realizacji badań zadania 1. Z powyższych względów dalsza część rozprawy została opracowana niestandardowo. Składa się ona z dwóch rozdziałów (7 i 8), z których każdy zawiera podrozdziały „Metodyka prowadzenia badań”, „Wyniki badań” i „Dyskusja wyników”. W klasycznym układzie praca powinna mieć po jednym rozdziale „Metodyka prowadzenia badań”, „Wyniki badań” i „Dyskusja wyników”.

7. Zadanie 1: Skład morfologiczny bioodpadów dostarczanych na instalację

7.1. Metodyka badań morfologii bioodpadów

7.1.1. Rodzaje badanych odpadów

Badania prowadzono dla strumienia bioodpadów zbieranych selektywnie na terenie gmin będących udziałowcami Instalacji Komunalnej mieszczącej się w Marszowie. Do badań wytypowano:

- 4 gminy wiejskie (W – zabudowa jednorodzinna): Żary (liczba mieszkańców (stan na koniec 2021 r.) – 12366), Żagań (7178), Trzebiel (5543) i Wymiarki (2134);
- 4 miasta: Żary (35673), Żagań (24130), Gozdnicza (2812) i Łęknica (2290).

W miastach badano bioodpady zbierane w dzielnicach z zabudową jednorodziną (MJ) i wielorodziną (MW). Łącznie badano 12 strumieni bioodpadów. Na terenach z zabudową jednorodziną (w gminach wiejskich i w gminach miejskich) bioodpady zbiera się w workach, systemem od drzwi do drzwi. W dzielnicach miast z zabudową wielorodziną bioodpady zbiera się w pojemnikach zbiorczych, o pojemności 1100 dm³, ustawionych w altanach śmietnikowych zlokalizowanych w pobliżu budynków.

7.1.2. Pobór próbek odpadów

Pobieranie próbek i analizy odpadów wykonano zgodnie z procedurami obowiązującymi w Centralnym Laboratorium Instytutu Inżynierii Środowiska. Laboratorium posiada akredytację w zakresie poboru próbek i badań odpadów ważną do dnia 02.01.2027 r. (Accreditation For Testing Laboratory No AB772).

Próbkę ogólną bioodpadów stanowiły:

- zabudowa jednorodzinna: odpady zawarte w 10 losowo wybranych workach dostarczonych z każdej objętych kontrolą 4 gmin wiejskich i z 4 miast;
- zabudowa wielorodzinna: odpady pobrane w ilości po około 10-15 kg z każdego z 10 losowo wybranych pojemników rozmieszczonych w każdym z 4 miast.

Średnia, łączna masa każdej próbki do badań wynosiła około 100 kg. Analizy próbek bioodpadów, w każdej serii z każdego miejsca powstawania, wykonywano w trzech powtórzeniach [Dronia i in., 2023].

Wybór worków z bioodpadami do badań prowadzono na Instalacji Komunalnej w Marszowie, w miejscu rozładunku pojazdów. Próbki w każdej serii pomiarowej pobierano z tego samego obszaru zbierania bioodpadów. W tym celu trasy przejazdów „śmieciarek” zmodyfikowano w taki sposób (w porozumieniu z operatorami realizującymi usługę odbioru bioodpadów), aby nie dochodziło do mieszania bioodpadów pochodzących z różnych gmin oraz różnych rodzajów zabudowy.

7.1.3. Częstotliwość i zakres badań

Badania przeprowadzono w cyklu raz na miesiąc, przez kolejne 12 miesięcy, w okresie od listopada 2021 do października 2022 r. Łącznie wykonano analizy 144 próbek. Zakres badań obejmował wyznaczenie składu morfologicznego bioodpadów. Zbierano również dane o ilości bioodpadów odbieranych z gmin objętych badaniami.

Metodologia badań składu materiałowego bioodpadów polegała na manualnym wysortowywaniu z bioodpadów określonych składników, aż maksymalna wielkość cząstek pozostałych była mniejsza niż 10 mm. Rodzaje składników, na które rozsortowywano bioodpady przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Zakres analizy materiałowej bioodpadów

L.p.	Kategoria główna	Podkategoria	L.p.	Rodzaje	Przykłady produktów spożywczych należących do kategorii odpadów spożywczych
I	Odpady żywności (kuchenne)	Odpady żywności (jadalne), których marnotrawstwa można uniknąć	1	Chleb i pieczywo	chleb, tortille, wypieki, pizza
			2	Mięso i ryby	drób, wołowina, owoce morza, jajka
			3	Nabiał	mleko, jogurt, ser, lody
			4	Suszona żywność	ryż, makarony, płatki zbożowe
			5	Owoce i warzywa	jabłka, jagody, sałata, ziemniaki
			6	Inne resztki	słodycze,
		Odpady żywności (niejadalne)	7	Chleb i pieczywo	nie dotyczy
			8	Mięso i ryby	kości rybne, skorupki jajek,
			9	Nabiał	skórki sera mlecznego
			10	Suszona żywność	nie dotyczy
			11	Owoce i warzywa	pestki, skórki, łodygi, nasiona
			12	Inne resztki	fusy z kawy, torebki z herbatą
II	Odpady ogrodowe	-	13	Trawa	-
			14	Liście	-
			15	Gałęzie	brązowe części roślin
			16	Inne odpady	-
III	Zanieczyszczenia	Papier i tektura	17	Opakowania	worki, torby
			18	Inny papier i tektura	-
		Tworzywa sztuczne	19	Opakowania	worki, torby
			20	Inne tworzywa sztuczne	-
		Metale	21	Żelazne	-
			22	Nieżelazne	-
		Inne	23	Szkło	-
			24	Tekstylia	-
			25	Odpady wielomateriałowe	-
			26	Odpady mineralne	gruz, kamienie
			27	Fracja < 10 mm	-

Wyróżniono 3 kategorie główne składników: odpady żywności, odpady ogrodowe oraz zanieczyszczenia. Odpady żywności podzielono na dwie podkategorie odpady jadalne i niejadalne, bazując na definicji marnotrawstwa żywności: *wszelkie produkty lub części produktów, przetworzonych, częściowo przetworzonych lub nieprzetworzonych,*

przeznaczonych do spożycia przez ludzi, które zostałyby spożyte, gdyby były inaczej przetwarzane lub przechowywane. W odpadach żywności wyróżniono 6 rodzajów odpadów. W kategorii odpady ogrodowe wyróżniono 4 rodzaje składników, a w kategorii zanieczyszczenia 4 podkategorie i 11 rodzajów składników niepożądanych. Kategoria zanieczyszczenia nie obejmowała worków, w których zbiera się bioodpady z gospodarstw jednorodzinnych. Worki te wyodrębniono jako osobną kategorię zanieczyszczenia.

W próbkach bioodpadów pobranych 24 stycznia, 14 kwietnia, 25 czerwca i 20 września 2022 r., oznaczono wilgotność i straty prażenia składników tworzących bioodpady oraz skład morfologiczny frakcji <10 mm.

Do oznaczania wilgotności i straty prażenia pobierano około 2 kg każdego wysortowanego składnika, a w przypadku składników występujących w próbce bioodpadach w ilości <2 kg całą wydzieloną ich ilość. Analizy wykonywano zgodnie z procedurami akredytowanego Centralnego Laboratorium Instytutu Inżynierii Środowiska.

Odpady dostarczone do laboratorium zostały wysuszone w temperaturze 105° C, a następnie rozdrobnione na młynku nożowym. Stężenie części lotnych (VS) oznaczano jako stratę prażenia w próbkach przetrzymywanych w temperaturze 550 ° C przez 12 godzin.

Skład morfologiczny oznaczano w całej masie frakcji <10 mm wydzielonej z bioodpadów, jeżeli była ona mniejsza niż 2 kg lub w próbce o masie około 2 kg wydzielonej z frakcji <10 mm metodą ćwiartowania. Z próbki wysortowywano organiczne składniki biodegradowalne, papier, tworzywa sztuczne, metale, szkło, tekstylia, przetworzone drewno oraz kamienie i gruz o cząstkach >2 mm. Pozostałe odpady >2 mm i pozostałość <2 mm traktowano jako odpady mineralne.

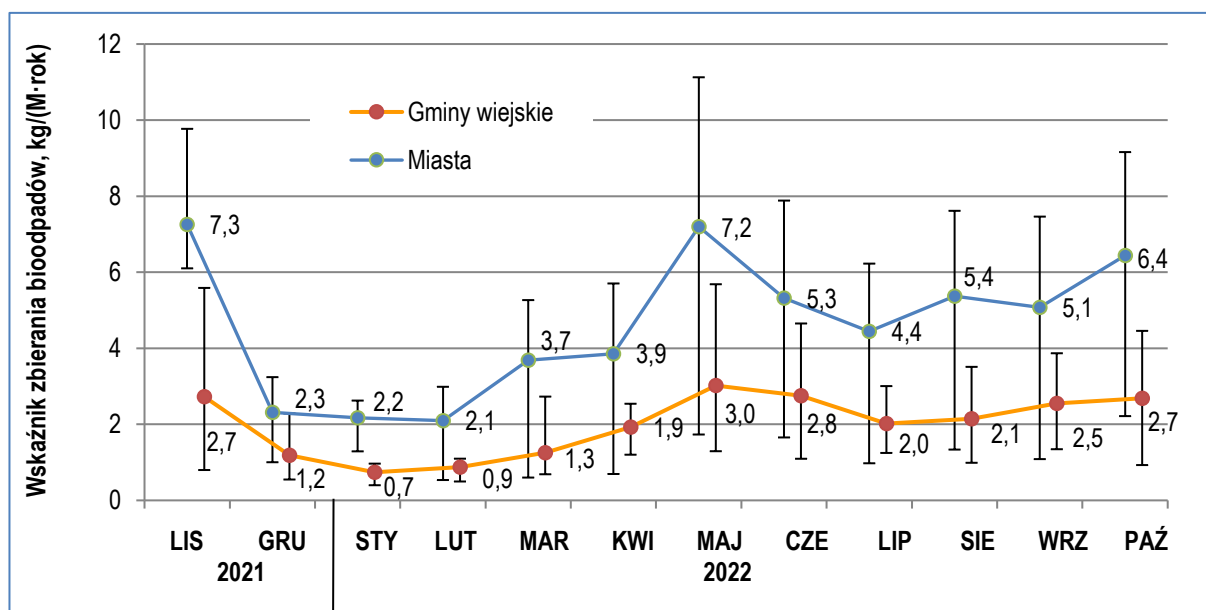
7.2. Wyniki badań

7.2.1. Ilość zbieranych odpadów

Statystyczny mieszkaniec w gminach miejskich objętych badaniami wytwarzał średnio 334 kg/(M·rok) (od 304 do 374 kg/(M·rok)) odpadów komunalnych, a mieszkaniec gmin wiejskich 277 kg/(M·rok) (od 225 do 294 kg/(M·rok)). Bioodpady stanowiły średnio 45,3% masy OK w miastach i ok. 32,6% na terenach wiejskich. W miastach selektywnie zbierano 45,1% masy bioodpadów zawartych w MSW, a na terenach wsi 29,8%.

W okresie od listopada 2021 do października 2022 r. mieszkańcy gmin wiejskich zbierali średnio 2,0 kg/(M·miesiąc) bioodpadów, a mieszkańcy miast 4,6 kg/(M·miesiąc) (z zabudową jednorodziną w miastach 7,3 kg/(M·miesiąc), a z zabudową wielorodzinną 3,5 kg/(M·miesiąc). Ilość bioodpadów selektywnie zbieranych w grudniu, styczniu i lutym była wyraźnie niższa niż w pozostałych miesiącach (rys. 8). Największe ilości bioodpadów na terenie wiejskim zbierano w maju 3,0 kg/(M·miesiąc) oraz w październiku i listopadzie po 2,7 kg/(M·miesiąc), a w miastach również w maju 7,2 kg/(M·miesiąc) oraz w listopadzie 7,3 kg/(M·miesiąc). Podkreślić należy duże zróżnicowanie wyników uzyskiwanych dla bioodpadów z badanych miast i gmin wiejskich. Przykładowo w maju wskaźniki zbierania bioodpadów w 4 objętych

badaniami miastach mieściły się w zakresie od 1,7 (Łęknica) do 11,1 kg/(M·miesiąc) (Żary-Miasto).



Rys. 8. Miesięczne zmiany wskaźnika ilości bioodpadów na mieszkańca zbieranych selektywnie w miastach i na terenach wiejskich w okresie od listopada 2021 do października 2022 r.

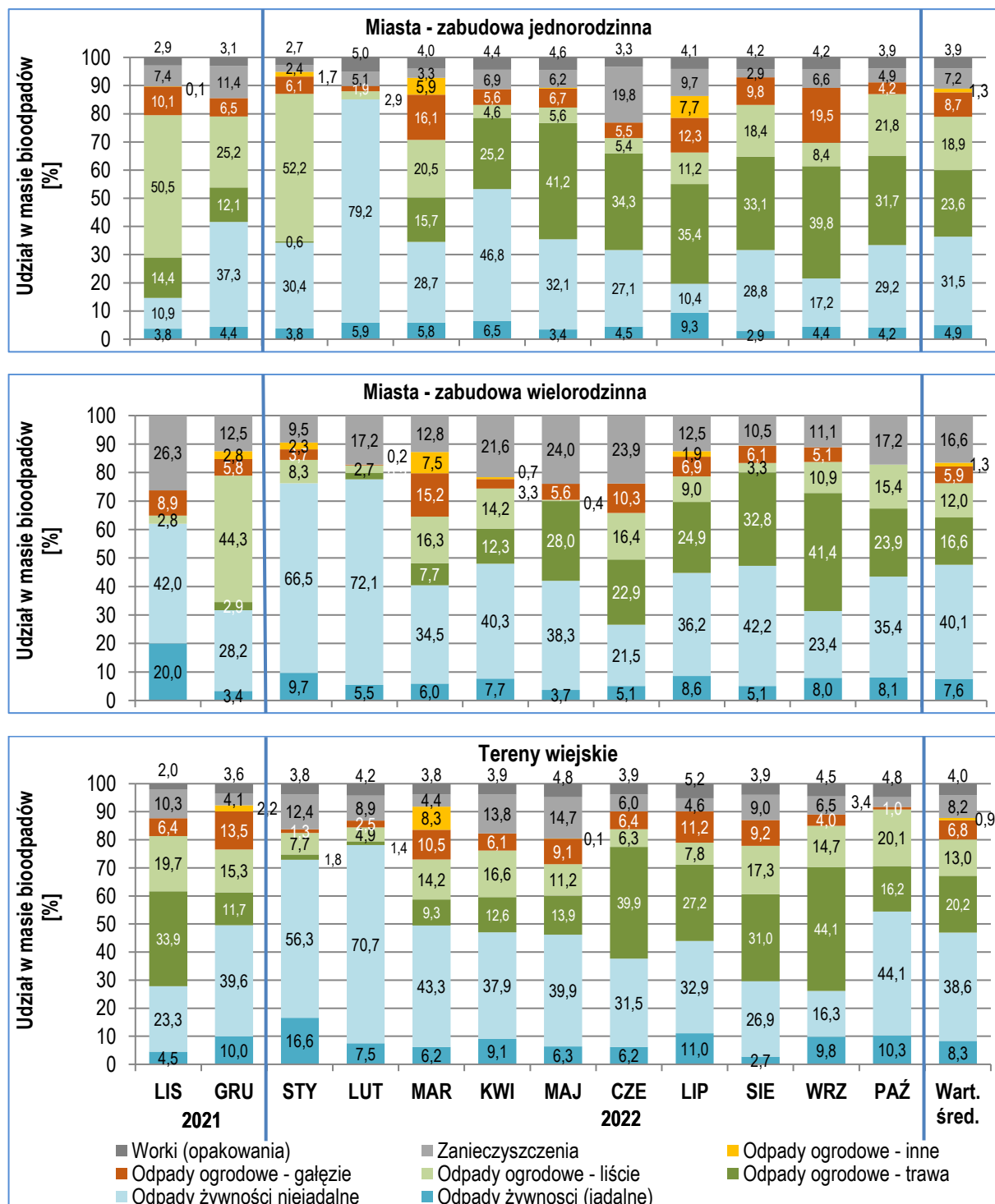
7.2.2. Skład morfologiczny bioodpadów

Średni miesięczny skład materiałowy bioodpadów zbieranych selektywnie na terenie miast i wsi objętych badaniami, w okresie od listopada 2021 do października 2022 r., przedstawiono w załączniku, w tabelach Z1-Z12 oraz na rysunku 9. W tabelach Z13-Z15 w załączniku podano wilgotności i straty prażenia składników tworzących bioodpady.

Skład morfologiczny bioodpadów był bardzo zróżnicowany (rys. 9). Można jednak zaobserwować pewne interesujące cechy tych zmian.

- Bioodpady z zabudowy wielorodzinnej (zbierane w pojemnikach typu MGB 1100 dm³ lub w kontenerach) były bardzo zanieczyszczane; udział zanieczyszczeń w ich masie tylko w jednym miesiącu (styczeń) był mniejszy niż 10% i aż w 4 miesiącach przekraczał 20%. Udział zanieczyszczeń w bioodpadach zbieranych na terenie wsi >10% wystąpił w 4 miesiącach, a w bioodpadach z zabudowy jednorodzinnej w miastach tylko w 2 miesiącach. Jakość bioodpadów jest kwestią kluczową: bioodpady zawierające ponad 10% zanieczyszczeń sprawiają, że ich waloryzacja jest bardzo utrudniona lub może być nawet niemożliwa (Dubois i in., 2020).
- Bioodpady odbierane w miastach z zabudowy wielorodzinnej i z terenów wiejskich w styczniu i w lutym, a z zabudowy jednorodzinnej w miastach w lutym, zawierały bardzo małe ilości odpadów ogrodowych; składnikiem dominującym były odpady żywności (udział >50%).

- Bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach oraz z terenów wiejskich zawierały w listopadzie najwięcej odpadów ogrodowych, podczas gdy w bioodpadach z dzielnic miast z zabudową wielorodzinną udział tej frakcji był bardzo mały.



Rys. 9. Średnie wartości roczne oraz miesięczne zmiany udziałów w bioodpadach: odpadów ogrodowych, jadalnych i niejadalnych odpadów żywności, zanieczyszczeń oraz worków do ich selektywnego zbierania, na kontrolowanych obszarach

Wyniki badań – wartości średnie z okresu roku jednoznacznie wskazują, iż odpady spożywcze, w których dominują owoce i warzywa, stanowią główny składnik bioodpadów wytwarzanych w gospodarstwach domowych na terenach gmin wiejskich oraz w miastach w dzielnicach z zabudową wielorodzinną ($46,9 \pm 16,3$ i $47,7 \pm 16,5\%$). W bioodpadach odbieranych od mieszkańców z domów jednorodzinnych w miastach, zazwyczaj z małymi ogrodami, odpady spożywcze stanowiły $36,6 \pm 18,4\%$ masy bioodpadów (rys. 9).

Odpady jadalne stanowiły od 4,9 (MJ) do 8,4% (W) masy bioodpadów. W odpadach żywności jadalnej przeważały odpady owoców i warzyw, których udział w tej frakcji wahał się w zakresie od 61,5% (MW) do 72,8% (W). Wysoki był też udział chleba i pieczywa, od 18,8% (W) do 30,1% (MW). W odpadach żywności niejadalnych odpady owoców i warzyw stanowiły od 98,1 do 99,4% ich mokrej masy. Łącznie odpady „owoców i warzyw” stanowią główną część bioodpadów zbieranych z gospodarstw domowych, odpowiednio 35,4% (MJ), 45,3% (MW) i 46,1% (W), podobnie jak w innych krajach europejskich (Hanc i in., 2011).

Zawartość odpadów ogrodowych w strumieniu bioodpadów pochodzących z miast wynosiła średnio $35,8 \pm 17,3\%$ (MW) i $52,9 \pm 18,4\%$ (MJ), a w bioodpadach zbieranych na terenach wiejskich $41,6 \pm 17,3\%$. Duży udział tych odpadów w strumieniu bioodpadów pochodzącym z zabudowy jednorodzinnej w miastach jest uzasadniony. Nieruchomości te z reguły posiadają ogródki, które zazwyczaj zagospodarowywane są jako niewielkie sady, ogrody kwiatowe lub zwykłe trawniki. Łagodna zima w roku 2021/2022 umożliwiała prowadzenie drobnych prac ogrodowych (Boldrin i Christensen, 2010).

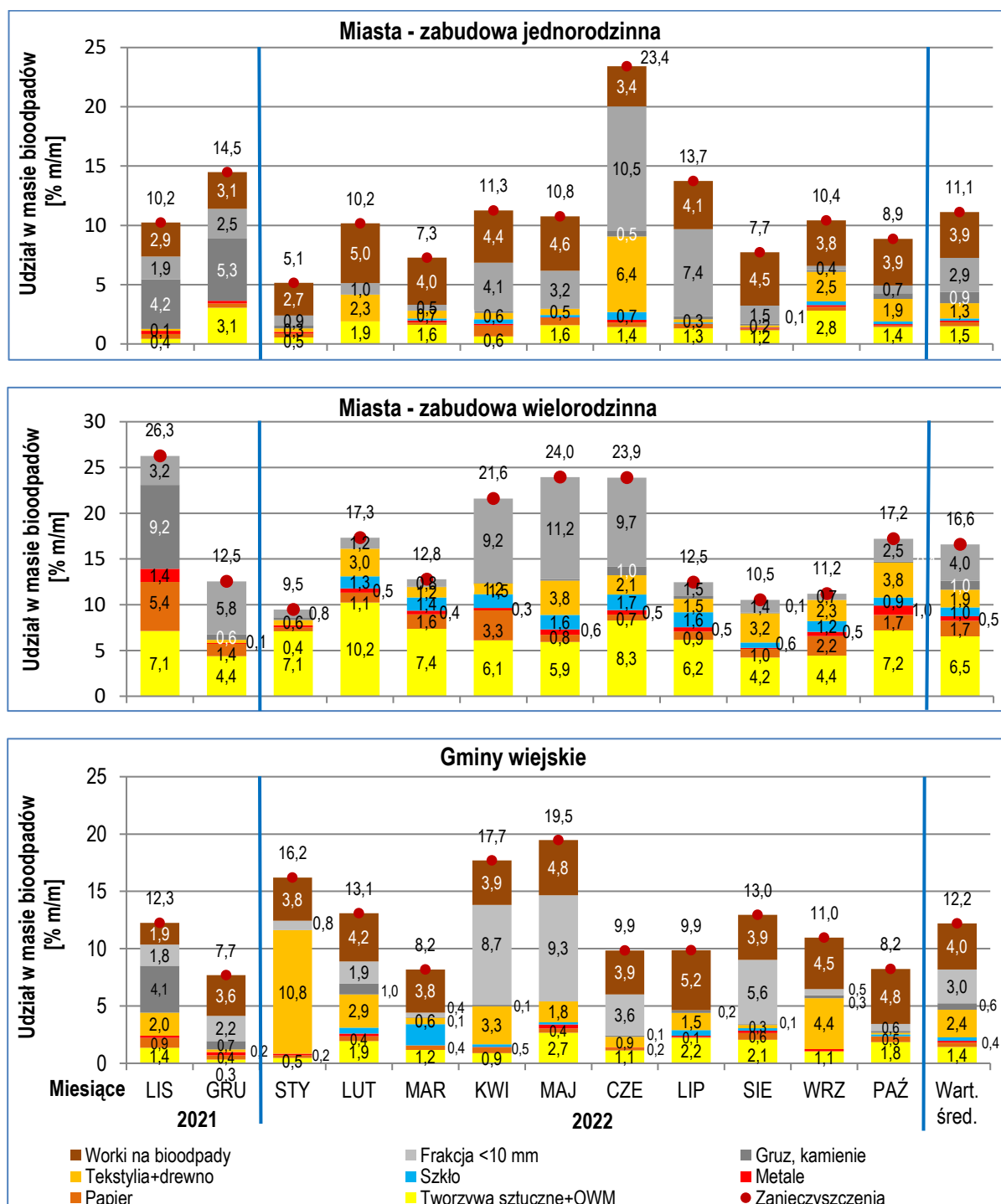
Głównym składnikiem odpadów ogrodowych była trawa niezależnie od miejsca powstawania odpadów (od 16,6 do 24,0% masy odpadów ogrodowych). Liście stanowiły od 12,0 do 18,9% odpadów, a gałęzie od 5,9 do 8,7%.

Na rysunku 10 przedstawiono skład materiałowy kategorii zanieczyszczenia, występującej w badanych bioodpadach, w kolejnych miesiącach roku (od listopada 2021 do października 2022 r.). Obserwowany przebieg zmian tych wartości pozwala na następujące stwierdzenia:

- bioodpady odbierane w listopadzie oraz od kwietnia do czerwca zawierały więcej zanieczyszczeń niż w pozostałych miesiącach;
- w grupie składników określanych jako zanieczyszczenia bioodpadów największy udział miały tworzywa sztuczne i frakcja <10 mm;
- w bioodpadach z zabudowy jednorodzinnej w miastach i z terenów wiejskich udziały papieru, metali, szkła (poza próbą pobraną z gmin wiejskich w marcu) oraz gruzu i kamieni >10 mm (poza miesiącami listopadem i grudniem) były mniejsze niż 1% m/m.

Średni roczny udział zanieczyszczeń w masie bioodpadów pochodzących z terenów wiejskich (z wyłączeniem worków, przeznaczonych do ich zbierania) wynosił $8,2 \pm 3,9\%$ (rys. 10). Worki po ich opróżnieniu stanowiły $4,0 \pm 0,8\%$ masy bioodpadów. Zanieczyszczenia w bioodpadach pochodzących z zabudowy jednorodzinnej z miast stanowiły średnio $7,2 \pm 2,6\%$ ich masy, a worki $3,9 \pm 0,7\%$. W przypadku zabudowy wielorodzinnej w miastach, gdzie bioodpady są zbierane w dużych pojemnikach, udział zanieczyszczeń był najwyższy i wynosił średnio $16,6 \pm 6,0\%$. Wysoki udział zanieczyszczeń w bioodpadach zbieranych w pojemnikach

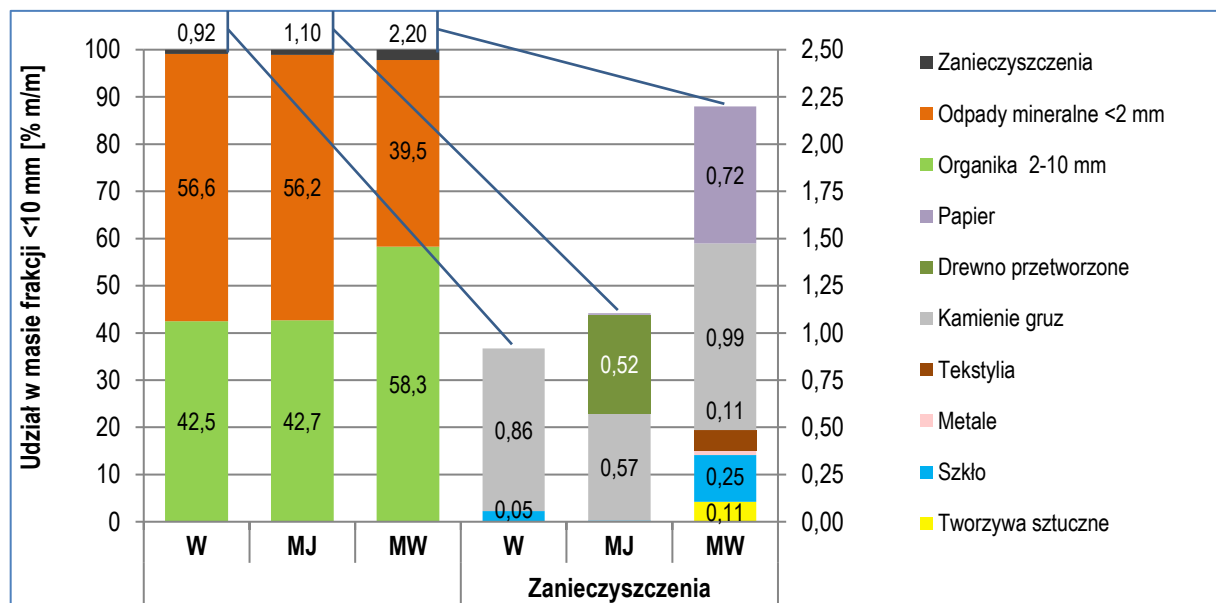
może dyskwalifikować ten strumień odpadów do produkcji wysokiej jakości kompostu (Dubois i in. 2020).



Tworzywa sztuczne: worki+OWM, torby + inne tworzywa + OWM; OWM – odpady wielomateriałowe, Papier: worki, torby + inny papier; Metale: żelazne i nieżelazne; drewno – drewno przetworzone

Rys. 10. Wartości średnie dla okresu od listopada 2021 do października 2022 r. oraz miesięczne zmiany udziałów składników zaliczanych do zanieczyszczeń w bioodpadach zbieranych selektywnie na terenach gmin wiejskich oraz w miastach z zabudowy jednorodzinnej i wielorodzinnej

Głównym składnikiem frakcji <10 mm, zakwalifikowanej wstępnie do grupy składników określanych jako zanieczyszczenia bioodpadów, były biodegradowalne odpady organiczne >2 mm (MJ: $42,7 \pm 5,5\%$, W: $42,5 \pm 13,5\%$ i MW: $58,3 \pm 2,2\%$ m/m) (rys. 11). Udział ciał obcych >2 mm we frakcji <10 mm był niewielki. Stanowiły one średnio $1,10 \pm 0,62\%$ masy tej frakcji w przypadku bioodpadów zbieranych w miastach z zabudowy jednorodzinnej, $2,20 \pm 0,60\%$ z zabudowy wielorodzinnej oraz $0,92 \pm 0,21\%$ m/m dla bioodpadów zbieranych na terenach wiejskich. Nie prowadzono szczegółowej analizy materiałowej frakcji <2 mm. Ocena wizualna tej frakcji pozwala na stwierdzenie, iż w zdecydowanej większości są to drobne kamyki i piasek.



Rys. 11. Średni roczny skład materiałowy frakcji <10 mm wydzielonej z bioodpadów zbieranych selektywnie na terenie gmin wiejskich (W) oraz z gospodarstw domowych w miastach z zabudowy jednorodzinnej (MJ) i wielorodzinnej (MW) oraz skład materiałowy zawartych w nich zanieczyszczeń

7.3. Dyskusja wyników

7.3.1. Ilość zanieczyszczeń w zbieranych bioodpadach

W tabeli 6 przedstawiono średnie roczne ilości wytworzonych bioodpadów i zawartych w nich zanieczyszczeń w przeliczeniu na mieszkańca oraz udziały zanieczyszczeń w bioodpadach, wagowo, na kontrolowanych obszarach.

Łączna ilość zanieczyszczeń w zbieranych bioodpadach na terenach wiejskich wynosiła $0,24 \text{ kg}/(\text{M} \cdot \text{miesiąc})$, a w miastach, w dzielnicach z zabudową jednorodzinną $0,83 \text{ kg}/(\text{M} \cdot \text{miesiąc})$ i z zabudową wielorodzinną $0,64 \text{ kg}/(\text{M} \cdot \text{miesiąc})$. Ilość zanieczyszczeń w bioodpadach bez frakcji <10 mm wynosiła kolejno: $0,18$, $0,75$ i $0,47 \text{ kg}/(\text{M} \cdot \text{miesiąc})$.

Średnie udziały zanieczyszczeń bez frakcji <10 mm w masie mokrej bioodpadów zbieranych w workach wynosiły: $5,2$ (W) i $4,4\%$ m/m (MJ), a w miastach z zabudową wielorodzinną, gdzie zbierane są w pojemnikach - $12,8\%$ m/m. Są to wartości podobne do podawanych w literaturze (Silvestre i in., 2015; LUBW, 2018).

Średni udział zanieczyszczeń, bez frakcji <10 mm, w bioodpadach zbieranych na terenie wiejskim i na terenie miast, w dzielnicach zabudową jednorodzinną, w procentach suchej masy, był podobny i wynosił 12,1 (W) i 13,3% sm (MJ). W miastach z zabudową wielorodzinną udział zanieczyszczeń bez frakcji <10 mm w bioodpadach był dwukrotnie wyższy (26,1% sm).

Tabela 6. Średnie miesięczne ilości wytworzonych bioodpadów i zawartych w nich zanieczyszczeń na mieszkańca oraz udział zanieczyszczeń w bioodpadach wagowo na kontrolowanych obszarach (2022 r.)

Parametr		W		MJ		MW	
		Wartość średnia	Zakres wartości	Wartość średnia	Zakres wartości	Wartość średnia	Zakres wartości
Ilość wytworzonych bioodpadów [kg/(M·miesiąc)]		2,0	0,74 - 3,0	7,3	3,4 - 12,3	3,5	1,6 - 5,9
Ilość zanieczyszczeń w bioodpadach [kg/(M·miesiąc)]		0,24	0,09 - 0,59	0,83	0,18 - 2,01	0,64	0,16 - 1,61
Ilość zanieczyszczeń w bioodpadach bez frakcji <10 mm [kg/(M·miesiąc)]		0,18	0,07 - 0,31	0,75	0,17 - 1,47	0,47	0,12 - 1,34
Udział zanieczyszczeń w bioodpadach	[% m/m]	8,2	3,4 - 14,7	7,3	2,4 - 20,1	16,6	9,5 - 26,3
	[% sm]	19,6	6,8 - 41,2	19,3	6,5 - 43,4	32,5	16,4 - 51,2
Udział zanieczyszczeń w bioodpadach bez frakcji <10 mm	[% m/m]	5,2	1,9 - 11,6	4,4	1,5 - 9,5	12,8	6,8 - 16,1
	[% sm]	12,1	6,5 - 33,9	13,3	1,6 - 34,0	26,1	14,4 - 52,3

7.3.2. Główne grupy zanieczyszczeń

Dla każdego kontrolowanego obszaru wyznaczano 5 składników uznanych za zanieczyszczenie, których udział w bioodpadach był największy wagowo. Wykorzystano dwie metody do oceny tych składników. Pierwsza metoda (M-I) polegała na wyznaczeniu dla każdego składnika uznanego za zanieczyszczenie wartości średniej miesięcznej jego udziału masowego w bioodpadach (% m/m) w okresie badań i wytypowaniu pierwszej piątki materiałów o najwyższych wartościach wskaźnika.

Druga metoda (M-II) polegała na wyznaczeniu dla każdego zanieczyszczenia średniej wartości miesięcznej jego zawartości w bioodpadach na mieszkańca (kg/(M·miesiąc)) i wytypowaniu pierwszej piątki składników o najwyższych wartościach wskaźnika.

W tabeli 7 przedstawiono średnie miesięczne ilości w bioodpadach wszystkich zanieczyszczeń (bez frakcji <10 mm) oraz pięciu głównych składników na mieszkańca (kg/(M·miesiąc)) i ich udziały wagowe w bioodpadach (% m/m) na kontrolowanych obszarach. Dla każdego obszaru badań podano zakresy wartości parametrów (min. i maks.) oraz wartość średnią.

Zanieczyszczeniami występującymi w bioodpadach w największych ilościach były:

- o na terenie gmin wiejskich pierwsze cztery składniki niezależnie od zastosowanej metody to: drewno przetworzone < tworzywa sztuczne < odpady mineralne < papier. Piąty składnik to szkło według metody I lub tekstylia – metoda II; pięć głównych zanieczyszczeń stanowiło 88% wszystkich zanieczyszczeń w ocenie metodą I i II;

- o w miastach w dzielnicach z zabudową jednorodzinną, gdzie bioodpady zbierane były w workach z tworzyw sztucznych, według metody-I kolejność była następująca: tworzywa sztuczne < papier < drewno przetworzone < szkło < tekstylia, a według metody II - tworzywa sztuczne < drewno przetworzone < odpady mineralne (kamienie, gruz) < papier < szkło; pięć głównych zanieczyszczeń stanowiło ponad 92% wszystkich zanieczyszczeń w ocenie metodą I i 94% metodą II;
- o w miastach w dzielnicach z zabudową wielorodzinną, gdzie bioodpady zbierane były w pojemnikach 1100 dm³ lub w kontenerach, pierwsze dwa miejsca, niezależnie od zastosowanej metody, zajmowały tworzywa sztuczne < papier, a kolejne trzy: metoda I: drewno przetworzone < odpady mineralne < szkło i metoda II: odpady mineralne < szkło < drewno przetworzone; pięć głównych zanieczyszczeń stanowiło kolejno 86 i 79% wszystkich zanieczyszczeń.

Tabela 7. Średnie miesięczne ilości w bioodpadach wszystkich zanieczyszczeń bez frakcji <10 mm i 5 głównych składników na mieszkańca [kg/(M·miesiąc)] oraz średnie miesięczne udziały zanieczyszczeń w bioodpadach jako procent ich masy [% m/m] na kontrolowanych obszarach, w 2022 r.

Teren badań	Metoda	Ilość zanieczyszczeń w bioodpadach bez frakcji <10 mm i worków na bioodpady				Zanieczyszczenia występujące w bioodpadach w największych ilościach, w kolejności zawartości, od największej
		Wszystkie składniki		5 głównych		
		Wartość średnia	Zakres wartości	Wartość średnia	Zakres wartości	
W	M-I [% m/m]	5,25	1,94 - 11,6	4,61	1,66 - 11,4	Drewno przetworzone < Tworzywa sztuczne ¹⁾ < Odpady mineralne < Papier ²⁾ <Szkło
	M-II [kg/(M·miesiąc)]	0,098	0,023 - 0,23	0,086	0,020-0,22	Drewno przetworzone < Tworzywa sztuczne ¹⁾ < Odpady mineralne < Papier ²⁾ <Tekstylia
MJ	M-I [% m/m]	4,40	1,54 - 9,54	4,04	1,30 - 8,71	Tworzywa sztuczne ¹⁾ < Papier ²⁾ < Drewno przetworzone < Szkło < Tekstylia
	M-II [kg/(M·miesiąc)]	0,32	0,053 - 0,82	0,30	0,047 - 0,74	Tworzywa sztuczne ¹⁾ < Drewno przetworzone < Odpady mineralne <Papier ²⁾ < Tekstylia
MW	M-I [% m/m]	12,8	6,76 - 16,1	11,1	6,69 - 21,9	Tworzywa sztuczne ¹⁾ < Papier ²⁾ < Drewno przetworzone < Odpady mineralne < Szkło
	M-II [kg/(M·miesiąc)]	0,47	0,12 - 1,41	0,42	0,12 - 1,33	Tworzywa sztuczne ¹⁾ < Papier ²⁾ < Odpady mineralne < Szkło < Drewno przetworzone

¹⁾ Tworzywa sztuczne: worki, torby + inne tworzywa; ²⁾ Papier: worki, torby + inny papier

W powyższej ocenie do plastików nie wliczono worków z tworzyw sztucznych, w których zbiera się bioodpady na terenach gmin wiejskich i z zabudowy jednorodzinnej w miastach. Po doliczeniu worków na bioodpady do plastików, są one głównymi zanieczyszczeniami, na wszystkich kontrolowanych obszarach badań, niezależnie od zastosowanej metody.

Na terenach wiejskich i w miastach w dzielnicach z zabudową jednorodzinną, zaskakującą jest wysoka pozycja „drewno przetworzone”. Było to wynikiem, przede wszystkim, błędnego wrzucenia elementów mebli do kontenera na bioodpady (styczeń, W- Żagań) lub do worka (czerwiec, MJ - Gozdnicza). W miastach, w dzielnicach z zabudową jednorodzinną i wielorodzinną (ocena metodą I) pierwsze dwie pozycje zajmowały tworzywa i papier, głównie worki foliowe i papierowe. Wysoka pozycja tworzyw sztucznych jest zgodna

z obserwacjami innych autorów (Lopes i in., 2019). Nie stwierdzono natomiast dużego udziału szkła w zanieczyszczeniach, tak jak w pracach Lopes i innych (2019) i Rawtec (2018). W ocenie metodą I szkło pojawiało się w grupie głównych zanieczyszczeń na piątej lub czwartej pozycji (MJ). Z kolei w ocenie metodą II szkło się pojawiło się tylko w bioodpadach zbieranych w miastach z zabudowy wielorodzinnej.

7.3.3. Korelacje między zawartością zanieczyszczeń a zawartością odpadów kuchennych i ogrodowych w bioodpadach

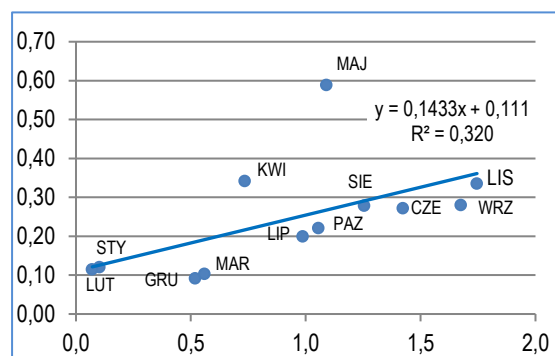
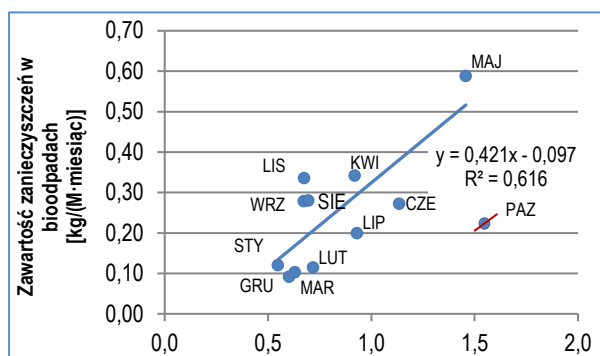
Oceniono korelację pomiędzy zawartościami poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń a udziałem odpadów kuchennych i ogrodowych w bioodpadach w przeliczeniu na mieszkańca, aby uzyskać lepszą ocenę wzajemnych zależności oraz ustalić źródła pochodzenia niektórych zanieczyszczeń (tab. 8). Można je wykorzystać w przypadku innych składów i parametrów bioodpadów oraz w celu odpowiedniego skonfigurowania procesu przetwarzania bioodpadów.

Tabela 8. *Współczynniki determinacji (R^2) regresji liniowej między zawartościami odpadów kuchennych i ogrodowych a składnikami zanieczyszczeń w bioodpadach w [kg/(M·miesiąc)]*

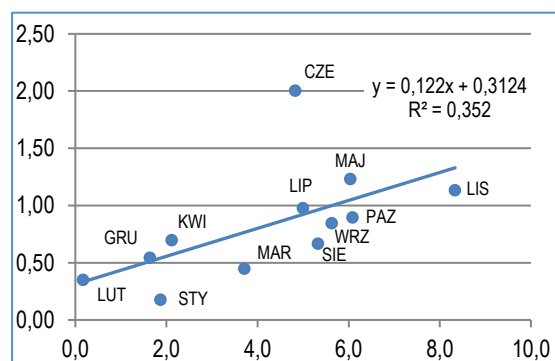
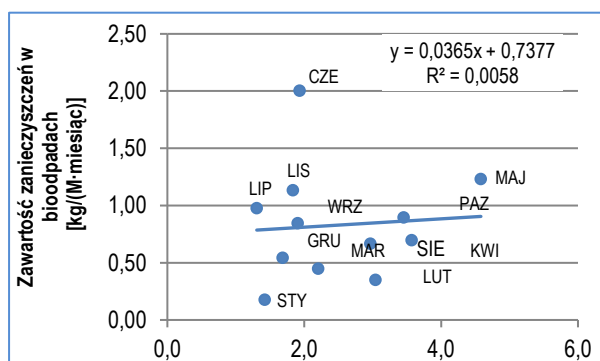
Zanieczyszczenia	Gminy wiejskie		Zabudowa jednorodzinna w miastach		Zabudowa wielorodzinna w miastach	
	Odpady kuchenne	Odpady ogrodowe	Odpady kuchenne	Odpady ogrodowe	Odpady kuchenne	Odpady ogrodowe
Zanieczyszczenia łącznie	0,616	0,320	0,006	0,352	0,679	0,052
Tworzywa sztuczne	0,560	0,290	0,056	0,157	0,629	0,085
Papier	0,077	0,216	0,241	0,136	0,635	0,015
Przetworzone drewno	0,149	0,025	0,001	0,007	0,116	0,167
Szkło	0,000	0,062	0,046	0,055	0,002	0,399
Tekstylia	0,389	0,016	0,003	0,075	0,006	0,536
Metale	0,038	0,189	0,048	0,455	0,773	0,008
Odpady wieloskładnikowe	0,295	0,022	0,000	0,317	0,030	0,321
Odpady mineralne	0,042	0,205	0,091	0,182	0,572	0,068
Frakcja <10 mm	0,245	0,050	0,005	0,068	0,116	0,088

Odpady kuchenne (spożywcze), które są głównym składnikiem bioodpadów, obok odpadów ogrodowych, wykazały bardzo wysokie dodatnie korelacje z łączną zawartością zanieczyszczeń w bioodpadach zbieranych na terenach wiejskich ($R^2=0,62$) oraz w miastach w dzielnicach z zabudową wielorodzinną ($R^2=0,70$) (rys. 12). Nie stwierdzono występowania takiej zależności korelacyjnej dla bioodpadów zbieranych na terenie miast z zabudową jednorodziną. Odpady ogrodowe, drugi główny składnik bioodpadów wykazały zależność korelacyjną z łączną zawartością zanieczyszczeń w bioodpadach zbieranych na terenach wiejskich ($R^2=0,32$) oraz w miastach w dzielnicach z zabudową jednorodziną ($R^2=0,35$), jednak znacznie słabszą, niż obserwowana dla odpadów kuchennych (rys. 12).

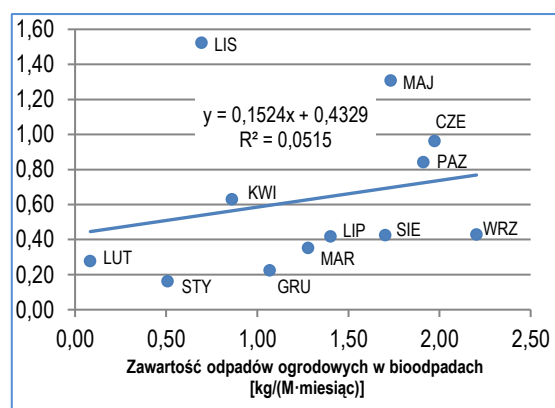
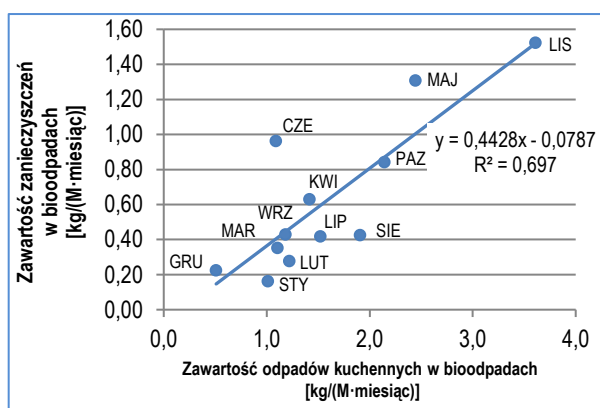
Gminy wiejskie



Miasta - zabudowa jednorodzinna



Miasta - zabudowa wielorodzinna



Rys. 12. Korelacje między zawartością odpadów kuchennych (spożywczych) i ogrodowych w bioodpadach zbieranych na kontrolowanych terenach a łączną zawartością zanieczyszczeń

Najlepsze powiązanie z zawartością odpadów kuchennych w bioodpadach zbieranych na terenie gmin wiejskich i w miastach z zabudową wielorodzinną wykazywały tworzywa sztuczne, kolejno ($R^2=0,56$) i ($R^2=0,63$) (tab. 8). Prawdopodobną przyczyną tak wysokiej korelacji między tymi parametrami jest przejściowe zbieranie mokrych odpadów żywności w woreczkach i torebkach foliowych przed ich wrzuceniem do pojemnika (zabudowa wielorodzinna) lub do worka z tworzywa sztucznego na bioodpady (tereny wiejskie). Na terenie miast z zabudową jednorodzinną najwyższą wartość współczynnika determinacji stwierdzono dla papieru ($R^2=0,24$). Dla tworzyw sztucznych wynosił on zaledwie 0,056. Pozwala to sądzić, że mieszkańcy domów jednorodzinnych w miastach odpady kuchenne wyrzucają zwykle

bezpośrednio do worka na bioodpady ze względu na bliskość jego lokalizacji, a jeżeli przejściowo zbierają odpady kuchenne do worków to są to worki (torebki) z papieru a nie z tworzyw sztucznych.

Na terenach wiejskich odpady kuchenne wykazywały wysoką korelację, poza zawartością tworzyw sztucznych z zawartością tekstyliów ($R^2=0,39$) i odpadami wieloskładnikowymi ($R^2=0,30$). W miastach w dzielnicach z zabudową wielorodzinną również z papierem ($R^2=0,64$), metalami ($R^2=0,77$) i odpadami mineralnymi ($R^2=0,57$). Nie stwierdzono znaczących korelacji z żadnym składnikiem zanieczyszczeń w przypadku bioodpadów zbieranych w miastach w dzielnicach z zabudową jednorodzinną.

Odpady ogrodowe wykazały wysokie korelacje z tworzywami sztucznymi zawartymi w bioodpadach na terenach wiejskich ($R^2=0,29$), z metalami w bioodpadach zbieranych w miastach w dzielnicach z zabudową jednorodzinną ($R^2=0,46$) oraz z szkłem ($R^2=0,40$), tekstyliami ($R^2=0,54$) i odpadami wielomateriałowymi ($R^2=0,32$) w bioodpadach z miast, z dzielnic z zabudową wielorodzinną.

Stwierdzona ścisła dodatnia zależność pomiędzy łączną zawartością zanieczyszczeń w szczególności z plastikami a odpadami kuchennymi w bioodpadach zbieranych w gminach wiejskich i w miastach z zabudowy wielorodzinnej wskazuje, że prawdopodobnie są one głównym źródłem pochodzenia tych zanieczyszczeń. Z drugiej strony stwierdzony brak korelacji odpadów kuchennych i ogrodowych z przetworzonym drewnem, szkłem, metalami, odpadami mineralnymi zawartymi w bioodpadach zbieranych w workach (na terenie gmin wiejskich i w miastach z zabudowy jednorodzinnej) może wskazywać, że ich obecność w bioodpadach wynika na ogół z nie zawsze dobrego rozumienia przez mieszkańców celów selektywnego zbierania lub prowadzenia zbierania we właściwy sposób (Brás, 2022).

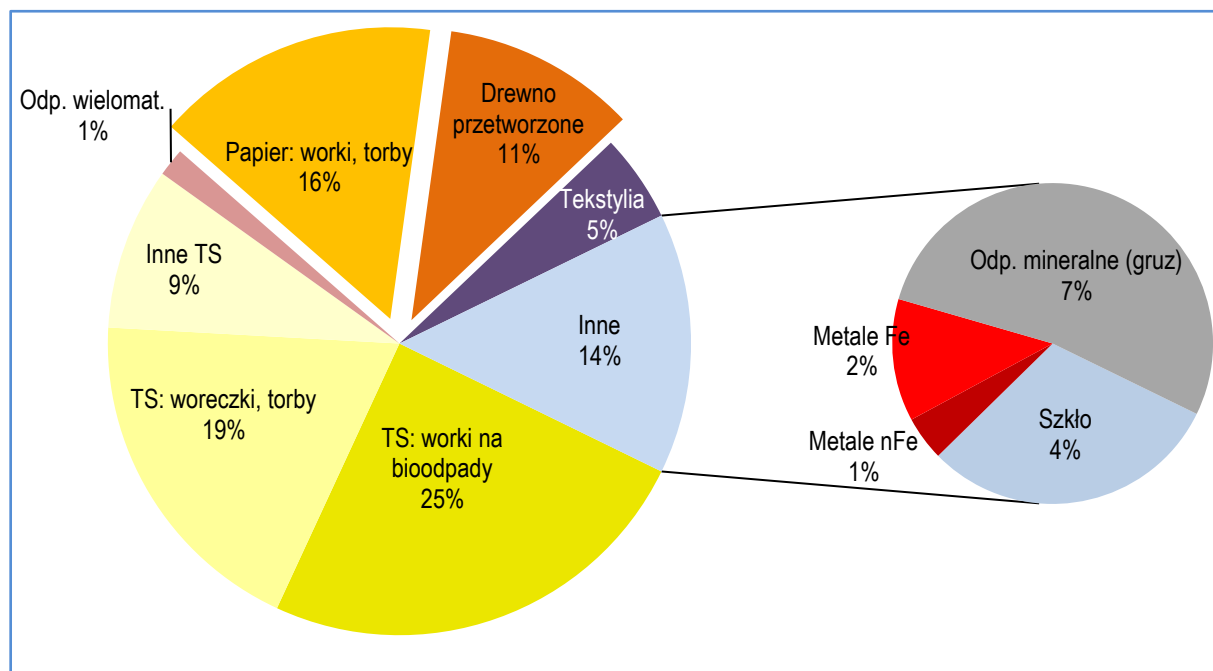
7.4. Wytyczne i zalecenia do zaprojektowania linii do wstępnego oczyszczania bioodpadów

Przeprowadzone badania składu morfologicznego bioodpadów dostarczanych do Instalacji Komunalnej zlokalizowanej w Marszowie potwierdziły przewidywania, iż główną grupę zanieczyszczeń stanowią tworzywa sztuczne, bez względu na fakt w jakim systemie prowadzona jest ich zbieranie.

Tworzywa sztuczne powinny być usunięte z surowca. Ich łączny średni udział w masie mokrej zanieczyszczeń wynosił 58,7% (do podgrupy tej zaszeregowano również opakowania wielomateriałowe) (rys. 13). W czasie przetwarzania bioodpadów, w celu wykorzystania ich jako nawóz, tworzywa sztuczne rozdrabniane są na małe cząsteczki, które zostaną rozproszone w środowisku i będą negatywnie wpływać na ekosystemy (Souza Machado i in., 2018). Progowe stężenie zanieczyszczeń w kompostowanych bioodpadach różni się w zależności od kraju. Na przykład austriackie wytyczne ustalają limit dla tworzyw sztucznych większych niż 2 mm na 0,2% sm (BMNT, 2019). W Niemczech ten próg jest bardziej rygorystyczny (0,1% sm) (Hermann i in., 2017).

Drugą grupą składników zanieczyszczających stanowią częściowo biodegradowalne papier (8,8% m/m) i drewno przetworzone (11,6% m/m). Papier może pozostać w masie bioodpadów. Nie zakłóca on przebiegu fermentacji, jest źródłem biogazu - produkcja jednostkowa biogazu

około 0,25 m³/kg smo. Odpady drewna ze względu na wysoką zawartość celulozy i lignin nadają się bardziej do procesu kompostowania niż do fermentacji. Większe elementy powinny być usunięte z bioodpadów i poddane rozdrobnieniu. Trzecia grupa to odpady mineralne - gruz (8,3%), tekstylia (5,3%), szkło (4,8%) i metale (2,7%). Są to składniki niepożądane w surowcach do biologicznego przetwarzania (zarówno kompostowania jak i fermentacji) i powinny być z nich usunięte.

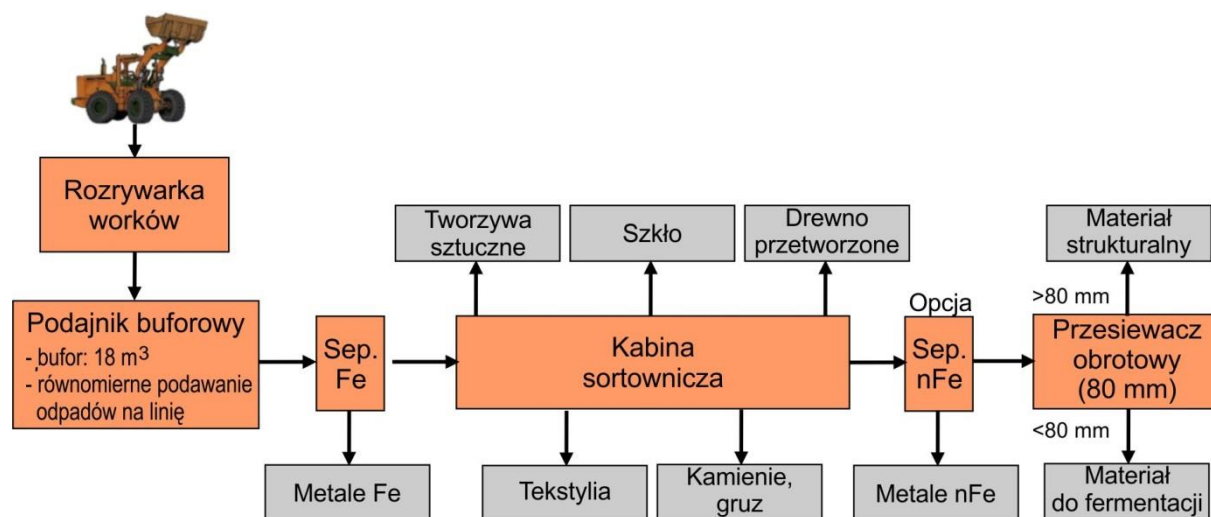


Rys. 13. Udział głównych grup zanieczyszczeń w bioodpadach – wartości średnie dla wszystkich typów zabudowy dla okresu od listopada 2021 do października 2022 r.

Frakcji mineralnej <10 mm nie uznano za zanieczyszczenie, które należy usunąć na etapie przygotowywania wsadu do procesu. Zawiera ona bardzo mało zanieczyszczeń (punkt 7.2.2, rys. 11) i jest bogata w składniki biodegradowalne. Straty prażenia wynoszą średnio 37,8% sm, a jednostkowa produkcja biogazu waha się od 0,07 do 0,25 m³/kg smo (średnio 0,25 m³/kg smo) (Dronia i in. 2024).

Optymalne rozwiązanie linii wstępnej obróbki bioodpadów powinno zapewnić maksymalne usunięcie z bioodpadów tworzyw sztucznych, tekstyliów, szkła i metali, przy niewielkich stratach materiału organicznego. Pierwszym urządzeniem linii obróbki mechanicznej powinna być rozrywarka worków, której zadaniem będzie nie tylko rozerwanie worków w jakich gromadzone są odpady, ale również uwolnienie z nich jak największej ilości materiału biologicznego. Kolejną istotną funkcją rozrywarki (rozdrabniacza) jest równomierne rozłożenie (dozowanie) materiału na taśmociągu doprowadzającym bioodpady na drugi element układu jakim powinna być kabina sortownicza. W kabinie sortowniczej, w sposób manualny, będą usuwane rozerwane worki, inne tworzywa sztuczne, szkło, ewentualnie tekstylia, gruz i duże kamienie oraz inne zidentyfikowane przez personel „ciała obce” w postaci dużych kawałków przetworzonego drewna, zwykle w postaci płyt wiórowych i korzeni, które można wyeliminować, z reguły, bez trudu. Zaprojektowany układ powinien obejmować (rys. 14):

- rozrywarkę worków;
- kabinę sortowniczą minimum 3 stanowiskową z 6 zsypami;
- separatory Fe i opcjonalnie nFe;
- przesiewacz obrotowy o sicie 80 mm.



Rys. 14. Schemat blokowy układu modułu przygotowania wsadu do procesu fermentacji i kompostowania

8. Zadanie 2: Opracowanie linii technologicznej do wstępnej obróbki bioodpadów

8.1. Urządzenia do mechanicznego oczyszczania bioodpadów

8.1.1. Maszyny i urządzenia do rozrywania worków

Podstawą prawidłowego wyboru urządzenia jest zdefiniowanie jaki rodzaj odpadów będzie przetwarzany i jaki efekt po przetwarzaniu należy uzyskać. Istotnymi informacjami są także sposób napełniania komory załadunkowej (taśmociąg, ładowarka, załadunek ręczny), pożądana wydajność, uziarnienie odpadu na wejściu, a także ograniczenia dostępnej mocy lub przestrzeni w miejscu instalacji. Cennym źródłem informacji na temat urządzeń danej marki są ich użytkownicy. Duża różnorodność rozdrabniaczy pod względem liczby wałów oraz możliwości zastosowania różnych konfiguracji noży, sit i rodzajów napędu ułatwiają dopasowanie maszyny pod konkretny rodzaj surowców, uwzględniając inne uwarunkowania.

Na polskim rynku działa wiele firm będących przedstawicielami wiodących producentów maszyn i urządzeń wśród których należy wymienić niemieckiego lidera firmę Eggersmann oraz przedstawiciela austriackiego rynku komunalnego firmę Komptech, a także krajowych producentów między innymi firmę Pronar i Test z Krapkowic.

Przy wyborze urządzeń do testów wzięto pod uwagę nie tylko klasyczne rozrywarki do worków, lecz również rozdrabniacze odpadów. Przeprowadzone badania miały zweryfikować obiegową opinię o możliwości zastosowania tego rodzaju urządzeń do otwierania i opróżniania worków i przenoszenia ich zawartości na przenośnik taśmowy, przy możliwie małych stratach bioodpadów, oraz jako opcja, do rozdrobnienia większych gabarytowo frakcji. Pod uwagę brano także niezawodność, wydajność i koszty eksploatacyjne. Ważnym kryterium wyboru urządzeń było posiadanie specjalistycznego serwisu na terenie kraju. Do przeprowadzenia testów wytypowano następujące maszyny i urządzenia:

- mobilny rozdrabniacz wolnoobrotowy MRW 2.85 firmy PRONAR Sp. z o.o. (Polska);
- stacjonarna rozrywarka worków LIS firmy TEST Krapkowice Sp. z o.o. (Polska);
- mobilny przesiewacz gwiazdzisty STAR SELECT S60 firmy EGGERSMANN GmbH (Niemcy);
- mobilny rozdrabniacz jednowałowy Teuton Z50 firmy EGGERSMANN GmbH;
- mobilny rozdrabniacz jednowałowy TERMINATOR 5000S KOMPTECH GmbH (Austria);
- stacjonarna rozrywarka worków Matthiessen SFIII AKR Matthiessen Lagertechnik GmbH (Niemcy).

8.1.1.1 Mobilny przesiewacz wolnoobrotowy MRW 2.85 PRONAR

Budowa

Rozdrabniacz wolnoobrotowy MRW 2.85 firmy **PRONAR Sp. z o.o.** (Polska) przeznaczony jest do wstępnego przetwarzania wszelkiego rodzaju materiałów takich jak odpady komunalne, budowlane, drzewne, wielkogabarytowe i biodegradowalne. Niewątpliwą

zaletą maszyny, oprócz szerokiej palety odpadów jakie mogą być przetwarzane, jest jej mobilność, czyli możliwość szybkiego przetransportowania w dowolne miejsce instalacji w zależności od potrzeb. Maszyna wyposażona jest w silnik wysokoprężny o mocy 310 kW. Proces rozdrabniania odbywa się poprzez dwa, synchronicznie pracujące wały rozdrabniające umieszczone w komorze. Stalowe elementy robocze wałów wykonane zostały z wysokowytrzymałościowych, trudnościeralnych materiałów, co zapewnia długie i bezawaryjne funkcjonowanie maszyny.

Urządzenie składa się z następujących elementów (fot. 2 i 3):

1. wanna zasypowa unoszona hydraulicznie o pojemności 3 m³;
2. wały rozdrabniające – 2 szt.;
3. belka przełamująca umieszczona pod wałami;
4. taśmociąg odprowadzający uzyskany materiał;
5. separator metali żelaznych;
6. wysokoprężny układ napędowy;
7. pulpit sterowniczy.



Fot. 2. Mobilny dwuwałowy rozdrabniacz MRW 2.85H (1 - wanna zasypowa, 2 - wały rozdrabniające – 2 szt., 3 - belka przełamująca, 4 - taśmociąg odprowadzający uzyskany materiał, 5 - separator metali żelaznych, 6 - układ napędowy, 7 - pulpit sterowniczy)

Opis procesu otwierania worków

Proces rozdrabniania w urządzeniu MRW 2.85 H składa się z 3 faz. Pierwsza faza rozpoczyna się z chwilą umieszczenia materiału przy pomocy ładowarki w wannie zasypowej. Po jej napełnieniu i hydraulicznym podniesieniu materiał dozowany jest do komory rozdrabniającej (fot. 3A). Maksymalna jednorazowa porcja materiału nie powinna przekraczać 3 m³. Faza druga to proces rozdrabniania/rozrywania materiału (worków) na dwóch wałach pracujących synchronicznie wyposażonych w 80 noży tnących (40 szt. na każdym wale) (fot. 3B). Wały posiadają możliwość płynnej regulacji prędkości obrotowej. Parametry uzyskiwanej frakcji uzależnione są od:

- liczby noży;
- prędkości obrotowej wałów rozdrabniających;
- zastosowanej belki rozdrabniającej umieszczonej pod wałem roboczym.

A



B



Fot. 3. Dwuwałowy rozdrabniacz PRONAR MRW 2.85H: A– wanna zasypowa, B – wały rozdrabniające

Faza trzecia to wyrzut rozdrobnionej frakcji za pomocą podajnika taśmowego, który ma możliwość regulacji prędkości przesuwu. Podczas wyrzutu materiału istnieje możliwość oddzielenia metali żelaznych za pomocą separatora magnetycznego.

Wydajność układu w zależności od konfiguracji i regulacji parametrów pracy, a także rozdrabnianego materiału, może osiągnąć około 30 Mg/h.

8.1.1.2 Rozrywarka worków LIS

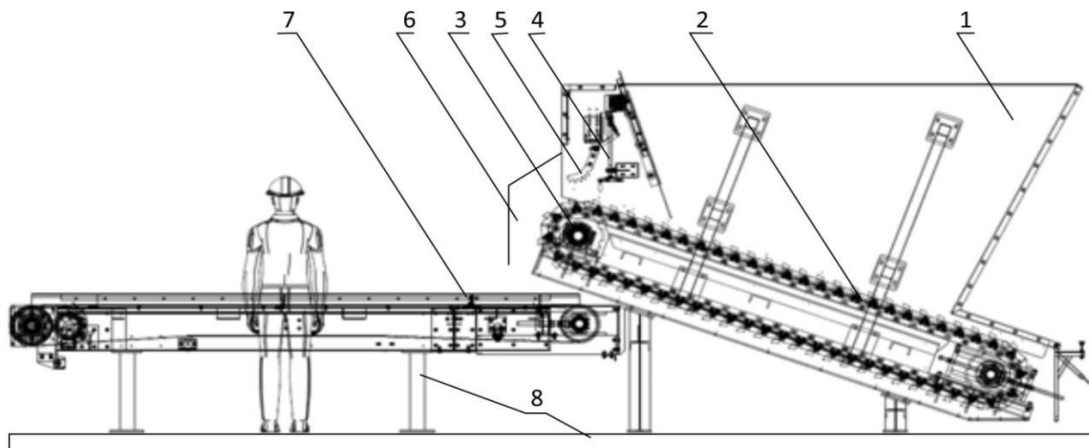
Budowa

Rozrywarka LIS umożliwia skuteczne rozrywanie i opróżnianie worków z odpadami różnej wielkości, bez naruszania ich zawartości. Urządzenie wyposażone jest w układ sterowania. W przypadku odpadów niejednorodnych, które zawierają frakcje o większych gabarytach (np. gałęzie żywopłotów) wymagane jest ich rozdrobnienie na rozdrabniaczu wolnoobrotowym. Zapewnia to ujednolicenie odpadów biodegradowalnych pod względem uziarnienia i składu materiałowego.

Urządzenie składa się z następujących elementów (rys. 15, fot. 4):

1. komora załadunkowa, umożliwiająca załadunek do 4 m³ odpadów;
2. przenośnik płytowy z wymiennymi zabierakami stalowymi, który umożliwia transport odpadów o dużej gęstości oraz wspomaga rozrywanie worków z odpadami;
3. bęben zwrotny o regulowanej wysokości – zapobiega nadmiernemu naporowi odpadu na układ rozrywania worków oraz wstępnie rozrywa worki z odpadami;
4. regulowana ściana oporowa, ustalająca grubość warstwy podawanej na noże rozrywarki;
5. układ rozrywania worków;
6. lej zasypowy;

7. przenośnik sortowniczy (standardowo stosuje się przenośnik 4 osobowy, istnieje możliwość jego wydłużenia);
8. rama wsporcza wraz z podestami sortowniczymi.



Rys. 15. Budowa rozrywarki worków LIS (1 - komora załadunkowa, 2 - przenośnik płytowy z wymiennymi zabierakami stalowymi, 3 - bęben zwrotny, 4 - regulowana ściana oporowa, 5 - układ rozrywania worków, 6 - lej zasypowy, 7 - przenośnik sortowniczy, 8 - rama wsporcza wraz z podestami sortowniczymi)

A



B



Fot. 4. Rozrywarka worków LIS: A - układ rozrywania worków, B - przenośnik sortowniczy

Opis procesu otwierania worków

Odpady przy pomocy ładowarki kołowej umieszcza się w komorze zasypowej linii do sortowania. Szybkość opróżniania komory jest regulowana poprzez prędkość przenośnika płytowego. Z kolei prędkość przesuwu przenośnika płytowego (liczba obrotów wału zwrotnego) oraz wielkość przeswitu pomiędzy krawędzią ściany oporowej a przenośnikiem płytowym decydują o grubości warstwy odpadów podawanej na przenośnik i w konsekwencji na skuteczność sortowania.

Odpady z komory zasypowej, po przejściu pod bębniem zwrotnym i ścianą oporową, trafiają pod układ kilkudziesięciu uchylnych noży, który zapewnia efektywne rozerwanie worków. Przesyp odpadów na przenośnik sortowniczy odbywa się w zabudowanym (ze względów

bezpieczeństwa) leju zasypowym. Pracownicy pracujący przy przenośniku sortowniczym wyciągają zanieczyszczenia z odpadów w sposób manualny lub z użyciem haków. Zanieczyszczenia umieszcza się w kontenerach stojących przy podestach sortowniczych. W przypadku nadmiernej ilości zanieczyszczeń każdy z pracowników ma możliwość spowolnienia lub zatrzymania linii, w celu dokładnego przesortowania odpadu.

Układ jest wyposażony maksymalnie w 4 silniki elektryczne o łącznej mocy nieprzekraczającej 8 kW. Wydajność układu w zależności od rodzaju nadawy i ilości pracowników może osiągnąć do 10 Mg/h.

8.1.1.3 Mobilny przesiewacz gwiaździsty STAR SELECT S60

Przesiewacz STAR SELECT S60 producenta EGGERSMANN GmbH (Niemcy) to mobilne urządzenie, w którym zastosowano wydajną i innowacyjną technologię przesiewania, zapewniającą możliwość obróbki materiałów o dużej wilgotności, w tym bioodpadów i kompostu. Przesiewacz rozdziela materiał na trzy frakcje przy zachowaniu przepustowości zbliżonej do standardowych urządzeń, w których materiał rozdzielany jest na dwie frakcje. Gwiazdy, które w zależności od potrzeb mogą być wykonane z metalu lub gumy, pozwalają na uzyskanie przesiewów o granulacji od 6 do 180 mm.

Budowa

Maszyna składa się z leja zasypowego wyposażonego w przenośnik taśmowy. Na jego końcu umieszczona jest rolka klasyfikacyjna odpowiedzialna za rozluźnienie wsadu i rozerwanie worków oraz równomierne rozłożenie odpadów na taśmie podającej je do wnętrza maszyny. Dalej odpady kierowane są kolejno na dwa pokłady gwiaździste. Pokłady te różnią się od siebie rozmiarami zastosowanych gwiazd (fot. 5). Pierwszy, górny pokład gwiazd dużych odsiewa z odpadów frakcję do 120 mm, natomiast pokład gwiazd małych wydziela z niej frakcję o ziarnie do 25 mm. Frakcja 25-120 mm przechodzi do końca pokładu natomiast odpady o wymiarach <25 mm (frakcja podsitowa), poprzez przestrzenie między wałkami, opadają na dół. Frakcja nadsitowa o uziarnieniu >120 mm jest usuwana z układu. Frakcja nadsitowa z pokładu gwiazd małych klasyfikowana jest jako frakcja średnia to głównie zanieczyszczenia (negatywne wrzuty + worki).

Urządzenie składa się z następujących elementów (fot. 5 i 6):

1. komora załadunkowa, umożliwiająca załadunek do 7 m³ odpadu;
2. przenośnik taśmowy;
3. pokład gwiaździsty gwiazd dużych;
4. pokład gwiaździsty gwiazd małych;
5. rolka klasyfikacyjna odpowiedzialna za równomierny rozkład materiału na taśmie;
6. taśmociąg odprowadzający uzyskany materiał;
7. taśmociąg odprowadzający frakcję strukturalną;
8. taśmociąg odprowadzający zanieczyszczenia (worki).

Przeniesienie napędu ma charakter asynchroniczny, wałki są połączone naprzemiennie po dwa za pomocą zębatek na końcach wałków oraz łańcucha. System ten zawiera 4 takie sekcje wyposażone w cztery silniki oraz cztery falowniki.

Utrzymanie pokładów sitowych w ciągłej drożności możliwe jest poprzez zastosowanie elementów czyszczących zamontowanych na każdej z gwiazd. Elementy te oczyszczają przestrzeń pomiędzy wałkiem a końcem ramion gwiazd.



Fot. 5. Mobilny przesiewacz gwiaździsty STAR SELEKT S60 (1 - komora załadunkowa, 2 - przenośnik taśmowy, 3 - pokład gwiaździsty gwiazd dużych, 4 - pokład gwiaździsty gwiazd małych, 5 - rolka klasyfikacyjna, 6 - taśmociąg odprowadzający uzyskany materiał, 7 - taśmociąg odprowadzający frakcję strukturalną, 8 - taśmociąg odprowadzający zanieczyszczenia)



Fot. 6. System oczyszczania pokładu gwiaździstego DURAMAX

Układ jest wyposażony w generator prądotwórczy o mocy 75 kW, który może być opcjonalnie wyposażony w silnik wysokoprężny. Wydajność układu w zależności od konfiguracji i regulacji parametrów pracy może osiągnąć wydajność do 300 m³/h.

Opis procesu otwierania worków

Materiał podawany jest do przesiewacza za pomocą ładowarki kołowej, poprzez zasobnik. Proces przesiewania materiału zachodzi z chwilą jego podania na pokład gwiaździsty. Materiał poprzez ruch gwiazd jest rozluźniany i podawany w kierunku przodu pokładu. Szybkość obrotu wałków pokładu gwiaździstego, regulowany przy pomocy falownika, ma decydujący wpływ na otrzymany finalnie rozmiar frakcji podsitowej.

Fracja podsitowa po przejściu przez dwa pokłady gwiazd stanowi frakcję docelową o uziarnieniu do 25 mm.

8.1.1.4 Rozdrabniacz jednowałowy Teuton Z50

Budowa

Uniwersalny rozdrabniacz jednowałowy TEUTON Z50 produkcji EGGERSMANN GmbH (Niemcy) jest przeznaczony do rozdrabniania szerokiej gamy materiałów, począwszy od odpadów zielonych i karpin, poprzez drewno odpadowe i odpady wielkogabarytowe, aż po odpady budowlane. Trzymetrowy wał rozdrabniający wyposażony jest w 30 zębów w układzie spiralnym wykonanych z materiału o wysokiej odporności na ścieranie, natomiast grzebień przeciwny posiada 19 zębów (fot. 7, poz. 3).

Urządzenie składa się z następujących elementów (fot. 7):

1. komora załadunkowa;
2. przenośnik taśmowy;
3. wał rozdrabniający;
4. grzebień przeciwny;
5. system wymiennych koszy sitowych;
6. separator metali żelaznych;
7. układ sterowania.



Fot. 7. Mobilny rozdrabniacz jednowałowy TEUTON Z50 (1 - komora załadunkowa, 2 - przenośnik taśmowy, 3 - wał rozdrabniający, 4 - grzebień przeciwny, 5 - system wymiennych koszy sitowych, 6 - separator metali żelaznych, 7 - układ sterowania)

Rozdrabniacz dodatkowo, może być wyposażony w kosz sitowy (fot. 7, poz. 5). Konstrukcja układu rozdrabniającego umożliwia szybki montaż wymiennych koszy sitowych. System koszy sitowych umożliwia maszynom z serii TEUTON, wytwarzanie frakcji o określonym ziarnie podczas jednej operacji.

Wał rozdrabniający wyposażony jest w trzy różnego rodzaju zęby do różnego rodzaju materiału. W trakcie procesu rozdrabniania szczelina tnąca pomiędzy wałem a grzebieniem pozostaje niezmienna, co gwarantuje jednorodną granulację produktu końcowego. W odróżnieniu od konkurencyjnych maszyn występujących na rynku, TEUTON posiada układ rozdrabniający umożliwiający stosowanie różnego typu noży rozdrabniających, bez

konieczności zmiany wału rozdrabniającego. Parametry układu rozdrabniającego można zmieniać tak, aby otrzymać produkt końcowy oczekiwanej jakości.

Na potrzeby przeprowadzonych testów urządzenie było wyposażone w zęby typu Multi-Grip (fot. 8), które dedykowane są do rozdrabniania odpadów zielonych, drewna z recyklingu, odpadów wielkogabarytowych.

Rozdrabniacz wyposażony jest w neodymowy magnes nadtaśmowy z możliwością rewersu, który odpowiedzialny jest za eliminację odpadów metalowych z produktu końcowego. Urządzenie wyposażone jest w jednostkę spalinową wysokoprężną o mocy 500 KM.



Fot. 8. Wał rozdrabniający wyposażony w noże Multi Grip

Opis procesu otwierania worków

Odpady umieszcza się w leju zasypowym o pojemności 7 m³ przy użyciu ładowarki kołowej. Z leja odpady taśmociągami transportuje się do strefy rozdrabniania. W zależności od potrzeb wydajnościowych oraz wymaganego rozmiaru frakcji końcowej, materiał klasyfikowany jest za pomocą trzech różnych dystansów wymienianych manualnie na szczeliny przeciwnoży. Po przejściu przez ostrze współpracujące materiał spada na przenośnik wyładowczy. W opcji z koszem materiał po rozdrobnieniu spada najpierw do kosza sitowego, który obejmuje dolną połowę wirnika rozdrabniającego, z którego trafia na przenośnik wyładowczy.

8.1.1.5 Rozdrabniacz jednowałowy *TERMINATOR 5000S*

Budowa

Rozdrabniacz jednowałowy TERMINATOR 5000S produkcji KOMPTECH GmbH (Austria) jest mobilnym wolnoobrotowym rozdrabniaczem jednowałowym, który jest przeznaczony do rozdrabniania materiałów określanych zarówno jako łatwe do rozdrabniania jak i trudne. Za efektywny proces rozdrabniania odpowiada wał rozdrabniający wyposażony w 22 zęby rozdrabniające typu XXF oraz układ 23 przeciwnoży. Zastosowany hydrauliczny napęd wału umożliwia płynną regulację prędkości obrotowej a regulacja szczeliny tnącej

gwarantuje rozmiar frakcji wyjściowej o ziarnie <300 mm. Katalogowa wydajność urządzenia wynosi około 40 Mg/h.

Urządzenie składa się z następujących elementów (fot. 9 i 10):

1. komora załadunkowa o pojemności 7 m³;
2. wysokoprężny układ napędowy;
3. hydrauliczny napęd wału rozdrabniającego (2 pompy + 2 reduktory planetarne);
4. wał rozdrabniający;
5. układ przeciwnoży;
6. regulowana szczelina tnąca o zakresie 0-45 mm
7. przenośnik taśmowy wyładowczy;
8. separator metali żelaznych;
9. układ sterowania.



Fot. 9. Budowa mobilnego rozdrabniacza jednowałowego *TERMINATOR 5000S* (1 - komora załadunkowa, 2 - wysokoprężny układ napędowy, 3 - hydrauliczny napęd wału rozdrabniającego, 7 - przenośnik taśmowy wyładowczy, 8 - separator metali żelaznych, 9 - układ sterowania)

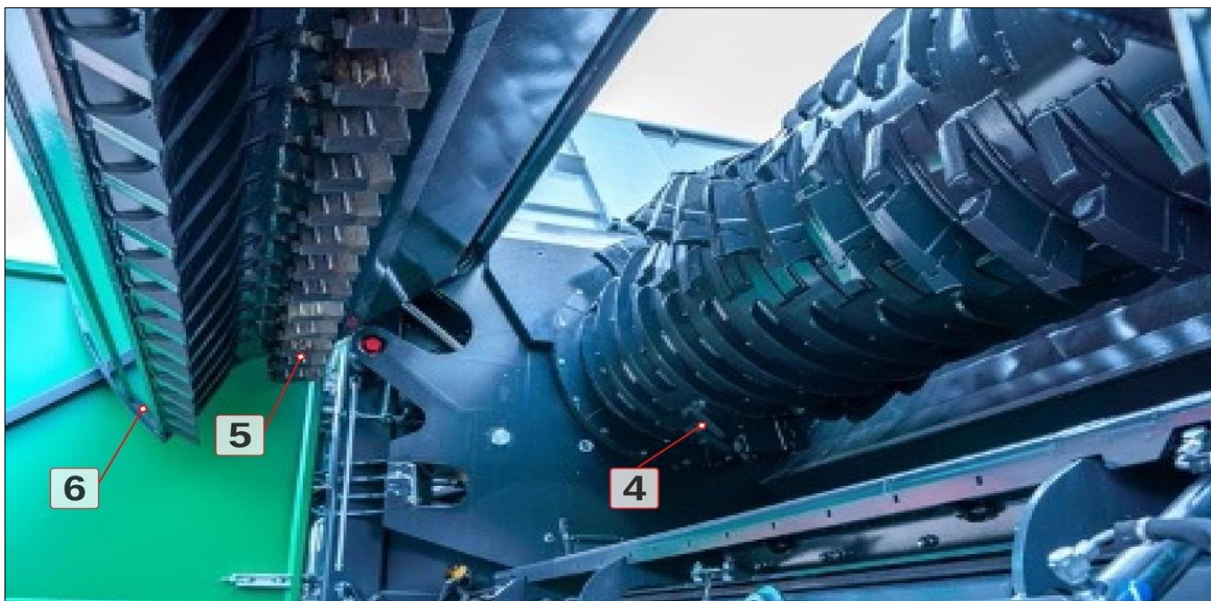
Opis procesu otwierania worków

Materiał wejściowy trafia do komory załadunkowej przy użyciu ładowarki kołowej a następnie poddawany jest procesowi rozdrobnienia poprzez układ noży znajdujących się na wale i przeciwnoży. Operator urządzenia za pomocą panelu sterowania lub pilota ma możliwość regulacji:

- prędkości obrotowej wału;
- szerokości szczeliny tnącej.

Prędkość obrotowa wału rozdrabniającego może być płynnie regulowana w zakresie od 0-29 obr/min. W przypadku tego urządzenia zastosowano hydrauliczny napęd wału składający się

z 2 niezależnych pomp oraz z 2 reduktorów planetarnych. Materiał wstępnie rozdrobniony po przejściu przez układ wał - przeciwnoże przechodzi przez regulowaną szczelinę tnącą. Następnie trafia na taśmę odbiorczą umieszczoną wzdłuż wału, a dalej na przenośnik wydładowczy, który może być wyposażony dodatkowo w separator metali odpowiedzialny za wydzielanie odpadów żelaznych. Zastosowanie napędu hydraulicznego ma wpływ na jakość rozdrobnienia a automatyczny rewers zapobiega zakleszczaniu i blokowaniu podawanego materiału. Testowane urządzenie było wyposażone w jednostkę wysokoprężną produkcji Caterpillar o mocy 446 KM.



Fot. 10. Układ rozdrabniający TERMINATOR 5000S (4 - wał rozdrabniający, 5 - układ przeciwnoży, 6 - regulowana szczelina tnąca)

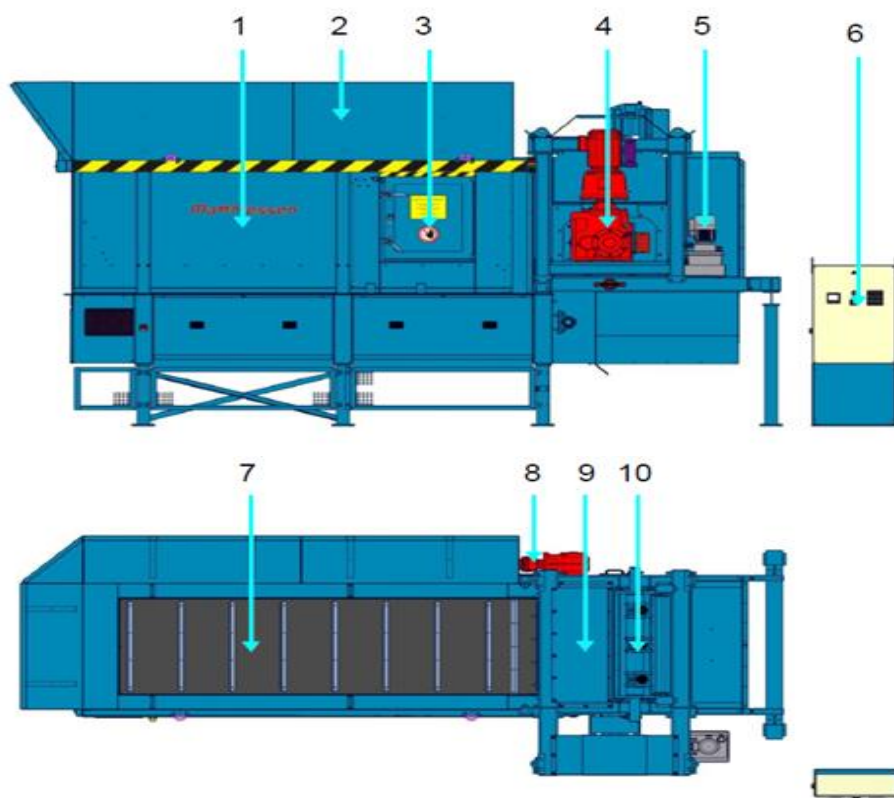
8.1.1.6 Rozrywarka worków *Matthiessen SFIII-K4-SB*

Budowa

Matthiessen SFIII-K4-SB przeznaczony jest do rozrywania worków do gromadzenia odpadów. Producent deklaruje wysoką skuteczność otwierania worków >95%. Urządzenie nie tylko otwiera worki, ale również opróżnia je z zawartości i transportuje dalej przenośnikiem taśmowym do przetwarzania. Urządzenie zbudowane jest z następujących elementów (rys. 16):

1. zasobnik umożliwiający załadunek do 5 m³ odpadu;
2. ściana odbojowa zabezpieczająca komorę załadunkową;
3. drzwi serwisowe;
4. napęd wirnika;
5. agregat hydrauliczny;
6. szafa sterownicza;
7. przenośnik łańcuchowy;
8. napęd przenośnika;

9. układ rozrywający, który tworzą: amortyzatory hydrauliczne, podnośnik hydrauliczny grzebienia rozrywającego, zęby rozrywające, wirnik i napęd wirnika;
10. grzebień rozrywający z wymiennymi nożami;
11. układ czyszczący – skrobak.



Rys. 16. Budowa urządzenia Matthiessen przeznaczonego do rozrywania worków (1 - zasobnik, 2 - ściana odbojowa, 3 - drzwi serwisowe, 4 - napęd wirnika, 5 - agregat hydrauliczny, 6 - szafa sterownicza, 7 - przenośnik łańcuchowy, 8 - napęd przenośnika, 9 - układ rozrywający, 10 - grzebień rozrywający, 11 - układ czyszczący)

Rozrywarka Matthiessen wyposażona jest w aktywny grzebień ARK (Active Rotor Comb), który pozwala osiągnąć wzrost wydajności procesu otwierania i opróżniania worków do 20% przy tym samym niskim poziomie zużycia energii. Aktywny grzebień obrotowy wyposażony jest w 8 końcówek rozrywających, których prędkość jest dostosowywana do zadania. Dzięki dodatkowym równolegle ułożonym nożom (w opcji) rozrywanie małych worków nie jest też problemem. Siłowniki hydrauliczne regulują wysokość całego ARK do 200 mm, co powoduje powiększenie szczeliny i płynny transport nawet większych materiałów.

Opis procesu otwierania worków

Worki z odpadami umieszcza się w zasobniku przy pomocy ładowarki kołowej lub przenośnika taśmowego (fot. 11). Z zasobnika przenośnik taśmowy, wyposażony w szyny zbierające, transportuje worki w kierunku wirnika. Wirnik wyposażony w zęby rozrywające, zaciera worki, przenosząc je w kierunku grzebienia rozrywającego. Odstęp grzebienia od zębów jak i prędkość przenośnika można regulować w taki sposób, aby worki były przeciągane

przez przewężenie, które gwarantuje ich rozerwanie zapobiegając jednocześnie ich nadmiernemu rozdrobnieniu.

A



B



C



D



Fot. 11. Rozrywarka worków Matthiessen: A – proces załadunku ładowarką; B - przenośnik łańcuchowy z widocznymi zgarniaczami; C – układ rozrywający; D - materiał po przejściu przez układ rozrywający

W celu zapobieganiu zakłóceniom i ewentualnym uszkodzeniom urządzenia układ wyposażony jest w trzystopniowy tryb pracy rewersyjnej. Rozrywarka posiada czujnik, który monitoruje prędkość wirnika (czujnik prędkości obrotowej). W przypadku zablokowania lub spowolnienia obrotów uruchamiany jest tryb rewersyjny. Jeżeli występujące zanieczyszczenie nie można usunąć w trybie automatycznym konieczne jest ręczne usunięcie zatoru. Częstotliwość przenośnika taśmowego jest regulowana w zakresie od 10 do 70 Hz za pomocą falownika.

8.1.2. Klasyfikacja sitowa

Przesiewanie jest procesem fizycznym polegającym na rozdzieleniu strumienia odpadów na frakcje granulometryczne o wymiarze pojedynczych cząstek większym i mniejszym od średnicy otworów sita. Ilość zastosowanych sit w przesiewaczu, determinuje ilość uzyskanych frakcji zgodnie z zasadą - ilość frakcji równa się liczba sit, plus jeden.

8.1.2.1 Sita obrotowe

Na ogół, do przesiewania odpadów stosowane są przesiewacze obrotowe (bębnowe) jedno, bądź dwuczłonowe wyposażone w powierzchnie siewne o różnym kształcie i wymiarach otworów.

Bęben przesiewacza obrotowego stanowi cylindryczna konstrukcja stalowa do której mocowane są wymienne, perforowane blachy tworzące tzw. sekcje. Ilość sekcji w kolejnych członach zależy od wymaganej długości siewnej. Bęben sita w większości przypadków spoczywa na konstrukcji stalowej pod kątem i oparty jest na 2 pierścieniach nośnych wspartych na 4 kołach gumowych podtrzymujących. Koła zmontowane są bezpośrednio na ramie sita. Obrót bębna generowany jest przez 2 koła napędowe. Prędkość obrotowa bębna regulowana jest przez prędkość silnika falownikiem. Prędkość robocza zmienia się w zakresie od 8 do 16 obrotów na minutę.

W wyniku oddziaływania sił powstałych na skutek ruchu obrotowego przesiewacza bębnowego, odpady ulegają rozluźnieniu i homogenizacji. Odsiana frakcja bądź frakcje, tzw. przesypy (frakcje podsitowe) oraz frakcja nadsitowa odbierane są przez umieszczone pod przesiewaczem, na całej jego długości, leje zsypowe, a następnie poprzez podstawione przenośniki taśmowe kierowane są do dalszej przeróbki.

Podstawowym parametrem określającym właściwości siewne przesiewacza jest przepustowość wyrażająca masę odpadów, którą dane urządzenie może przesiać w ciągu godziny. Przepustowość zależy bezpośrednio od: kąta nachylenia przesiewacza, średnicy bębna, długości czynnej (długość siewna) oraz obrotów bębna.

Wykonawcy oferujący budowę instalacji komunalnej pod klucz zwykle wyposażają instalację w sito bębnowe będące własną konstrukcją zaprojektowaną pod konkretne oczekiwania inwestora. Wśród liderów należy wymienić takie firmy jak Sutco Recykling GmbH (Niemcy), Hut Technika (Polska) Sigma S.A. (Polska) oraz Eggersmann Recycling Technology (Niemcy), która zaprojektowała i dostarczyła bębnowe sito stacjonarne będące na wyposażeniu Instalacji Komunalnej w Marszowie.

8.1.2.2 Przesiewacze dyskowe

Technologia przesiewania gwiazdowego lub dyskowego jest uważana, jako jedna z najbardziej efektywnych metod separacji materiałów wstępnie rozdrobnionych. Materiałem zasilającym może być kompost, rozdrobnione odpady roślinne, bioodpady, drewno lub jakikolwiek inny materiał podlegający przesiewaniu.

Urządzenia te wyposażone są w specjalne, obracające się gwiazdy lub dyski, które rozluźniają materiał, odrywając określone cząstki o pożądanej wielkości. Dzięki temu ostatecznie otrzymywany przesiew ma oczekiwaną wielkość ziaren. Maszyny pozwalają na uzyskanie 2 frakcji lub 3 frakcji wyjściowych przy zastosowaniu 2 pokładów przesiewających.

Większość dostawców specjalistycznych maszyn i urządzeń dla sektora komunalnego ma w swojej ofercie przesiewacze gwiazdziste (gwiazdowe) i dyskowe zarówno w wersji stacjonarnej jak i mobilnej. Przykładem takich dostawców może być austriacki Komptech lub niemieckie firmy Doppstadt, Neuenhauser, czy Eggersmann. Wśród kupujących, na rynku krajowym najbardziej preferowane są przesiewacze firmy Komptech i Pronar.

Szczególną cechą przesiewacza dyskowego FLOWERDISC firmy Komptech jest dokładna selektywność separacji otrzymywana niezależnie od wilgotności materiału, odporność na zanieczyszczenia oraz łatwa możliwość regulacji nastawy wielkości frakcji.

Polska firma Pronar i niemiecka firma Doppstadt mają w swojej ofercie wielozadaniowe urządzenia, które może być naprzemiennie wyposażane w klasyczny bęben sitowy o różnym prześwicie dedykowany do przesiewania odpadów sypkich lub w pokład gwiazdzisty (dyskowy), który jest dedykowany do separacji materiałów zbrylonych. Jest to rozwiązanie szczególnie interesujące dla przedsiębiorców ze względów ekonomicznych.

W przypadku mobilnego przesiewacza Pronar MPB 20.55 wielkości odseparowywanej frakcji, o której decyduje odstęp między gwiazdami, może wynosić 44 lub 100 mm. Przesiewany odpad trafia na wał rozrzucający, który podaje go na sito. Wał może być wyposażony w noże lub listwy poliuretanowe. Przesiewany odpad przemieszcza się na obracających się rolkach gwiazdowych. Drobną frakcją opada na dół na przenośnik wzdłużny. Frakcja nieprzesiana transportowana jest do zsyplni sita gwiazdowego, a następnie na przenośnik tylny przesiewacza.

8.2. Metodyka prowadzenia badań

8.2.1. Wybór urządzenia do rozrywania i opróżniania worków

8.2.1.1 Liczba pomiarów i masa próbek bioodpadów

Rozdrabniacz PRONAR MRW 2.85 H

W dniach 04-05.04., 30.06. i 07.07.2023 r. przeprowadzono badania skuteczności rozrywania worków na urządzeniu PRONAR MRW 2.85 H. Analiza prowadzona była dla 7 prędkości obrotowych wałów wyposażonych w 40 noży tnących każdy. W każdym z pomiarów przy pomocy ładowarki w wannie zasypowej umieszczano 100 worków bioodpadów, które zostały losowo wybrane z masy odpadów dostarczanych na instalację. Masa bioodpadów poddawanych obróbce w każdym pomiarze wynosiła od 550 do 1543 kg. Dla każdej z nastaw badania przeprowadzano w 5 powtórzeniach.

Rozrywarka LIS

Badania opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu LIS wykonano w dniach 06.03. i 07.03.2023 r. Badania przeprowadzono dla 2 nastaw krawędzi ściany oporowej 42,0 i 25,5 cm oraz dla 3 prędkości przesuwu przenośnika płytowego: pozycja 1 - prędkość najniższa (0,7 m/min.), pozycja 3 – prędkość średnia (0,9 m/min.) i pozycja 5 – prędkość maksymalna (2,4 m/min.). W każdym pomiarze do komory załadunkowej, wrzucano 50 worków z bioodpadami wybranych losowo z partii odpadów dostarczonych do zakładu. Masa odpadów poddawanych obróbce wynosiła od 372 do 591 kg. Dla każdego ustawienia warunków pracy urządzenia badania prowadzono w 5 powtórzeniach.

Przesiewacz STAR SELECT S60

Skuteczność opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu STAR SELECT S60 przeprowadzono w dniach 13 i 14.09.2022 r. Badania przeprowadzono dla 2 prędkości obrotowych pokładów gwiazdzistych, maksymalnej i minimalnej. Regulacja prędkości była

możliwa dzięki zastosowaniu falowników. W serii pomiarowej przy prędkości maksymalnej pokładów wyjściowa frakcja drobna miała ziarno <10 mm, a w przypadku prędkości minimalnej wyjściowa frakcja drobna miała uziarnienie <25 mm. Masa odpadów poddawanych obróbce w serii pomiarowej mieściła się w zakresie od 663 do 1150 kg. Dla każdego ustawienia warunków pracy urządzenia badania prowadzono w 5 powtórzeniach.

Rozdrabniacz TEUTON Z50

Analizę skuteczności opróżniania worków dla jednowałowego rozdrabniacza TEUTON Z50 przeprowadzono w dniach 05-07.07.2022 r. Badania prowadzone były dla 2 zakresów prędkości obrotowej rotora 20 i 40 obr/min. Układ wyposażony był w kosz sitowy z otworami o średnicy 150 mm. Zastosowanie kosza sitowego gwarantowało, iż frakcja wyjściowa była rozdrobniona do 150 mm. Masa próbek poddawanych obróbce w przeprowadzonych seriach pomiarów wynosiła od 900 do 1150 kg. Dla każdej z nastaw badania, analogicznie jak w przypadku pozostałych maszyn, były prowadzone w 5 powtórzeniach.

Rozdrabniacz TERMINATOR 5000S

Testy rozdrabniacza jednowałowego TERMINATOR 5000S przeprowadzone zostały w dniu 14.03.2023 r. Badania przeprowadzono dla 2 nastaw krawędzi tnącej 4 i 45 mm oraz dla 2 prędkości obrotowych wału rozdrabniającego: minimalnej wynoszącej 3 obroty wału na minutę i maksymalnej wynoszącej 29 obrotów na minutę. Masa odpadów poddawanych obróbce wynosiła od 350 do 1550 kg. Dla każdej z nastaw warunków pracy urządzenia badania prowadzono w 5 powtórzeniach.

Rozrywarka worków Matthiessen SFIII-K4-SB

Testy stacjonarnej rozrywarki worków Matthiessen SFIII-K4-SB przeprowadzone zostały w dniu 21.06.2023 r. w Zakładzie Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych "ORLI STAW" w miejscowości Ceków. Badania przeprowadzono dla dwóch nastaw grzebienia rozrywającego: skrajnie nisko „pozycja 1” i skrajnie wysoko „pozycja 7” oraz dla dwóch prędkości przenośnika: minimalnej wynoszącej 0,29 m/minutę i maksymalnej wynoszącej 0,51 m/minutę. Masa odpadów poddawanych obróbce wynosiła od 4080 do 5380 kg. Dla każdej z nastaw warunków pracy urządzenia wykonano tylko jeden pomiar.

8.2.1.2 Zakres badań

Badania obejmowały wyznaczenie:

- masy worków wysortowanych z bioodpadów poddawanych obróbce;
- masy bioodpadów pozostałych w rozerwanych workach usuniętych na linii sortowniczej (strata bioodpadów);
- masy opróżnionych worków po oczyszczeniu z bioodpadów.

Ponadto mierzono czas trwania operacji opróżniania worków. W przypadku pozostałych parametrów charakteryzujących dane urządzenie takich jak zużycie energii (oleju napędowego w przypadku urządzeń wyposażonych w silniki spalinowe) korzystano w danych katalogowych.

Dla dwóch wybranych urządzeń (najwyżej ocenionych) określono poziom wysortowywania zanieczyszczeń uwolnionych z bioodpadów przez sortowaczy w kabinie sortowniczej.

Oznaczano masę wysortowanych zanieczyszczeń oraz ich ilość pozostałą w bioodpadach po rozrywarce i kabinie. Oznaczano zawartości następujących zanieczyszczeń: worki na bioodpady, woreczki i torby z tworzyw sztucznych, inne tworzywa sztuczne, szkło, metale żelazne i nieżelazne, odpady wielomateriałowe oraz odpady mineralne (gruz, kamienie). W bioodpadach nie oznaczano papieru, drewna przetworzonego oraz frakcji <10 mm (organika, piasek, małe kawałki szkła i inne składniki mineralne). Frakcji <10 mm nie oznaczano, ponieważ jedną z funkcji testowanych maszyn jest rozdrabnianie odpadów. We frakcji <10 mm wydzielonej z bioodpadów po rozrywarkach dominują odpady biodegradowalne a zanieczyszczenia stanowią jedynie niewielką jej część (rys. 11). Badanie prowadzono, w czterech powtórzeniach. Wielkość próbki, co najmniej 3000 kg.

8.2.2. Koncepcja linii do wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów

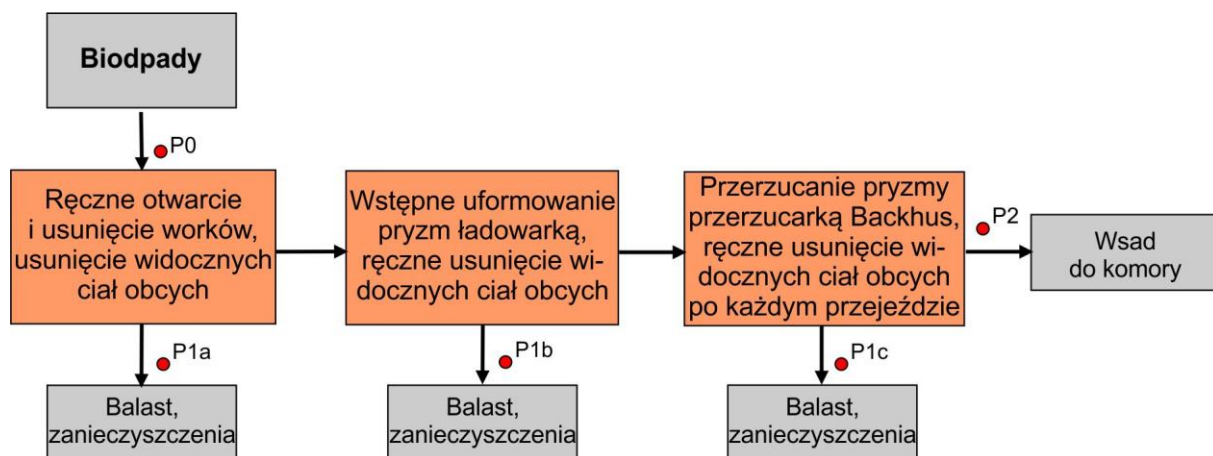
Zaprojektowano, wybudowano i oceniono dwa warianty procesu wstępnego mechanicznego przetwarzania bioodpadów pod kątem ich skuteczności w usuwaniu zanieczyszczeń z selektywnie zbieranych bioodpadów. Powstałe strumienie odpadów (odrzuty (balast) i bioodpady po obróbce) analizowano określając ich ilość i skład materiałowy oraz dla wybranych strumieni odpadów, wilgotność. Określano również liczbę i czas pracy pracowników obsługujących linię, czas pracy urządzeń. Analizie i ocenie poddano również proces obecnie stosowany do podczyszczania bioodpadów przed procesem ich kompostowania.

8.2.2.1 Opis procesów

Wariant I: proces obecnie stosowany.

Proces prowadzi się na otwartym terenie (rys. 17). Bioodpady dostarczane przez pojazdy komunalne wyładowuje się na płycie kompostowej. Pracownicy ręcznie otwierają worki, opróżniają je i usuwają z bioodpadów wraz z innymi widocznymi zanieczyszczeniami (odpady niebędące materiałem biodegradowalnym).

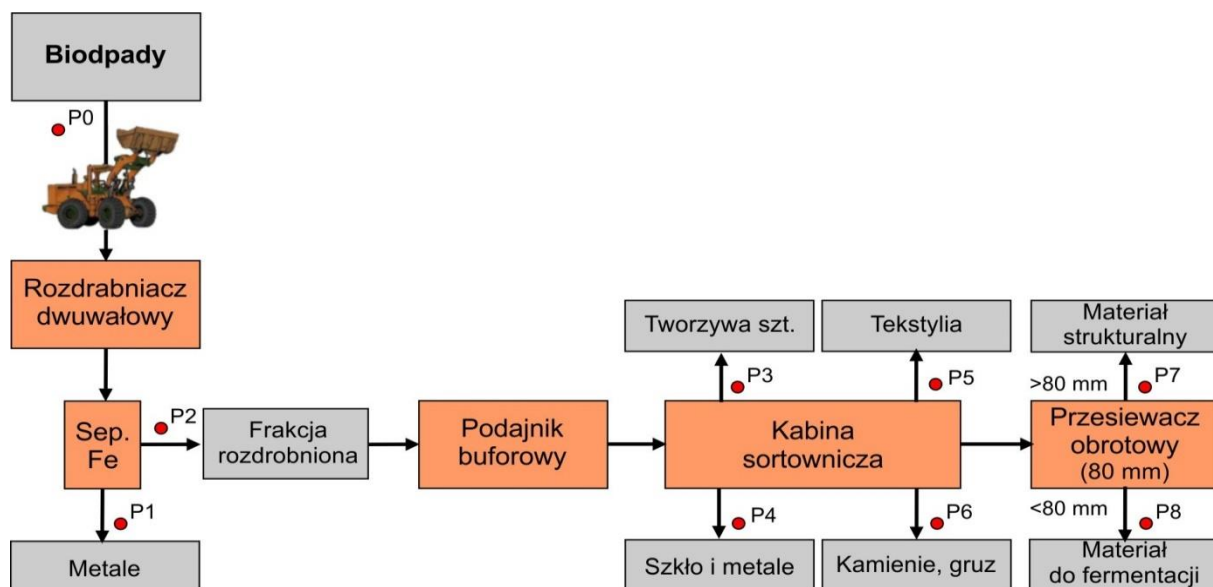
Uwolnione bioodpady układa się w pryzmę za pomocą ładowarki kołowej. Po uformowaniu pryzmy z jej skarp ręcznie usuwa się uwidocznione zanieczyszczenia. Ostateczny, stabilny kształt pryzmy nadaje się przy użyciu specjalistycznej maszyny-przerzucarki firmy Backhus. Przerzucarka ujednodnia masę odpadów w pryzmie, poprawia ich porowatość, co ułatwia napowietrzanie odpadów, a także umożliwia ich nawadnianie poprzez układ zraszający stanowiący jej wyposażenie. Po każdym przejeździe przerzucarki powtarza się proces ręcznego usuwania zanieczyszczeń z powierzchni skarp pryzmy.



Rys. 17. Schemat technologiczny linii obecnie stosowanej do oczyszczania bioodpadów

Wariant II: proponowana linia mechanicznego oczyszczania bioodpadów (rozwiązanie 1).

Jak pokazano na rysunku 18, pierwszym elementem tego ciągu technologicznego jest rozdrabniacz dwuwałowy, w którym otwierane są plastikowe worki zawierające bioodpady oraz rozdrabniane są składniki o większych rozmiarach zawarte w bioodpadach. Następnie odpady równomiernie podawane są na przenośnik taśmowy, nad którym umieszczony jest separator magnetyczny.



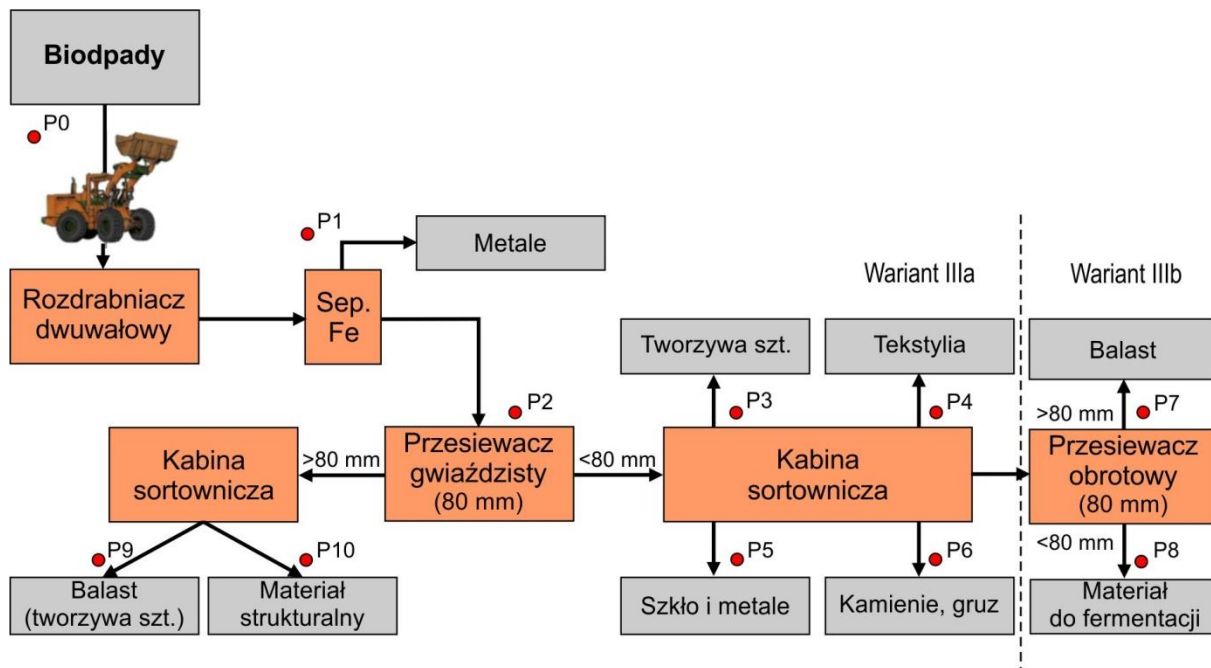
Rys. 18. Schemat technologiczny proponowanej linii mechanicznego oczyszczania bioodpadów – wariant II

Rozdrobnione odpady transportuje się taśmociągami wznoszącymi do kabiny sortowniczej, gdzie ręcznie z bioodpadów wydziela się ciała obce (zanieczyszczenia): tworzywa sztuczne, tekstylia, szkło, metale oraz składniki mineralne (kamienie, gruz). Metale zbiera się do kontenera, a zanieczyszczenia do kontenerów lub pojemników np. typu „big-bag”, ustawionych pod lejami zsypowymi. Ujednolicone i podczyszczone bioodpady przesiewa się w sicie obrotowym o oczkach 80 mm. Frakcję >80 mm, składającą się głównie z gałęzi, kieruje się za

pośrednictwem przenośników do boksu lub w zależności od potrzeb procesowych zawraca się do ponownego rozdrobnienia, dzięki funkcji rewersyjnej końcowego przenośnika. Frakcję podsitową kieruje się przenośnikami do instalacji biologicznego przetwarzania poprzez boks tymczasowego magazynowania. Średnia zdolność przerobowa instalacji wynosiła 10 t/h.

Wariant III: proponowana linia mechanicznego oczyszczania bioodpadów (rozwiązanie 2).

Pierwszym elementem ciągu technologicznego, podobnie jak w wariantcie II, jest rozdrabniacz dwuwałowy wyposażony w nadtaśmowy separator magnetyczny (rys. 19).



Rys. 19. Schemat technologiczny proponowanej linii mechanicznego oczyszczania bioodpadów – wariant III

Bioodpady z rozdrabniacza przesiewa się przez sito gwiazdzyste o rozstawie gwiazd około 80 mm. Frakcję >80 mm składającą się głównie z porwanych worków foliowych, w których zbiera się bioodpady, gałęzi i ewentualnie innych dużych przedmiotów, kieruje się za pośrednictwem przenośników do kabiny sortowniczej, gdzie ręcznie wydziela się z niej gałęzie. Gałęzie w zależności od potrzeb procesowych rozdrabnia się i wykorzystuje w procesie kompostowania, jako materiał strukturalny. Pozostałość (balast) kieruje się do boksu. Frakcję <80 mm transportuje się na taśmociągu do kabiny sortowniczej, gdzie ręcznie wydziela się z niej ciała obce (zanieczyszczenia): pozostałe tworzywa sztuczne, tekstylia, szkło oraz składniki mineralne (kamienie, gruz). Metale gromadzi się w kontenerze, a zanieczyszczenia w pojemnikach np. typu „big-bag” lub kontenerach ustawionych pod linią sortowniczą. Rozdrobnione, ujednolicone i oczyszczone bioodpady kieruje się do instalacji biologicznego przetwarzania poprzez boks tymczasowego magazynowania (opcja IIIa procesu). Mogą one być też transportowane na sito obrotowe 80 mm (opcja IIIb - potrzebę realizacji tego procesu potwierdzą badania). Frakcja podsitowa przenośnikami kierowana jest do instalacji biologicznego przetwarzania. Frakcja nadsitowa stanowi balast.

8.2.2.2 *Pobieranie i charakteryzacja próbek (materiał wejściowy i wyjściowy)*

Materiał wejściowy

Badania przeprowadzono w okresie od 5 marca do 5 października 2024 r. Łącznie wykonano 21 serii pomiarowych.

Materiałem wejściowym we wszystkich seriach pomiarowych były selektywnie zbierane bioodpady, tj. zmieszane odpady kuchenne i ogrodowe z gospodarstw domowych. W przypadku procesu I (wariant I - proces obecnie stosowany) przeprowadzono jedną serię badań, w skali technicznej - masa próbki około 50 Mg. W przypadku procesu II (wersja podstawowa proponowanej linii mechanicznego oczyszczania bioodpadów – wariant II) przeprowadzono 14 serii pomiarowych: trzy z użyciem bioodpadów z terenów gmin wiejskich, sześć z wykorzystaniem bioodpadów z zabudowy miejskiej jednorodzinnej i pięć serii z wykorzystaniem bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej zbieranej w miastach. W przypadku procesu III (zmodyfikowana wersja rozwiązania II – wariant III) przeprowadzono sześć serii pomiarowych: po dwie serie dla każdego rodzaju bioodpadów. Procesy przeprowadzono w okresie wiosennym i letnim, w których ilość i zmienność składu bioodpadów są największe.

Punkty poboru próbek dla ocenianych procesów oznaczono znacznikami na rysunkach 17, 18 i 19. W punkcie P0, określano jedynie masę partii materiału wsadowego (bioodpadów) kierowanego na linię technologiczną w danej serii pomiarowej.

Materiał wyjściowy

W trzech badanych wariantach procesu podczyszczania bioodpadów pobierano następujące rodzaje próbek materiałów wyjściowych oraz stosowano opisane metody ich pobierania:

- Wariant I:
 - a) Próbkę P1a-P1c: określano łączną masę wydzielonego balastu, jego skład morfologiczny i wilgotność wydzielonych składników.
 - b) Próbkę P2 – wsad do komór. Określano łączną masę frakcji oraz skład morfologiczny 3 próbek odpadów pobranych z tej frakcji. Próbkę pierwotną pobierano okresowo łopatą do uformowania, na czystej powierzchni, pryzmy o masie od 800 do 1070 kg. Próbkę ogólną po dokładnym wymieszaniu dzielono na 4 części. Dwie przeciwległe części odrzucano, a pozostałe dwie mieszano i ponownie dzielono na cztery części. Czynność tę powtarzano uzyskując próbki o masie około 50 kg. Dwie przeciwległe części odrzucano, a pozostałe dwie mieszano. Otrzymaną próbkę laboratoryjną o masie około 100 kg sortowano ręcznie na miejscu oznaczając jej skład morfologiczny. Wysortowane składniki w ilości do około 1 kg kierowano do laboratorium w celu oznaczenia wilgotności (W).
- Proces II:
 - a) Próbkę P2: określano jedynie łączną masę strumienia odpadów.
 - b) Próbkę P1 i P3-P6: określano łączną masę strumienia odpadów, ich skład morfologiczny i wilgotność wydzielonych składników.

- c) Próbką P7: frakcja >80 mm. Określano łączną masę frakcji, z frakcji pobierano jedną próbkę o masie około 50 kg i oznaczano jej skład morfologiczny.
- d) Próbką P8: frakcja <80 mm. Określano łączną masę frakcji i skład morfologicznych 3 próbek odpadów pobranych z tej frakcji. Probki pierwotne pobierano okresowo łopatą do uformowania, na czystej powierzchni, trzech pryzm (próbek ogólnych) o masie około 100 kg. Próbkę ogólną po dokładnym wymieszaniu dzielono na 4 części. Dwie przeciwległe części odrzucano, a pozostałe dwie mieszano i ponownie dzielono na cztery części, uzyskując 4 próbki laboratoryjne o masie około 12 kg. Jedną sortowano ręcznie na miejscu oznaczając jej skład morfologiczny, drugą próbkę kierowano do laboratorium w celu oznaczenia wilgotności (W), a dwie pozostałe odrzucano.

○ Proces III:

- a) Probki P1 i P2: określano jedynie łączną masę strumienia odpadów.
- b) Probki P3 i P4: frakcja >80 mm po przesiewaczu gwiazdowym. Określano łączną masę strumienia odpadów i jego skład morfologiczny.
- c) Probki P5-P8: frakcje wysortowane w kabinie. Określano łączną masę strumienia odpadów, jego skład morfologiczny i wilgotność wydzielonych składników.
- d) Próbką P9: frakcja >80 mm. Określano łączną masę strumienia odpadów, jego skład morfologiczny i wilgotność wydzielonych składników.
- e) Próbką P10: materiał do fermentacji. Określano łączną masę frakcji i skład morfologiczny 3 próbek odpadów pobranych z tej frakcji. Probki pierwotne pobierano okresowo łopatą do uformowania pryzmy o masie około 75 do 102 kg. Otrzymane próbki ogólne redukowano metodą ćwiartowania do uzyskania 2 próbek laboratoryjnych o masie około 10 kg. Jedną sortowano ręcznie na miejscu oznaczając jej skład morfologiczny a drugą część próbki kierowano do laboratorium w celu oznaczenia wilgotności odpadów (W).

Zakres analizy morfologicznej (materiałowej) odpadów i frakcji obejmował oznaczenie następujących składników: odpady biodegradowalne (gałęzie i inna organika), tworzywa sztuczne (worki na bioodpady i inne TS), szkło, metale, tekstylia oraz kamienie i gruz. W próbkach pobranych w wariantcie I określano również udział papieru, drewna przetworzonego i bioodpadów pozostałych w workach.

W trakcie badań zauważono, że worki do zbierania odpadów po opróżnieniu zawierały znaczne ilości substancji organicznych (w procesie I). W celu ustalenia strat materii organicznej wysortowane worki z tworzywa sztucznego myto ręcznie, odstawiono do obcieknięcia wody, a następnie suszono w temperaturze 105° C i ponownie zważono. Różnicę masy tworzyw sztucznych przed i po myciu uznano za stratę substancji organicznych. Proces ten przeprowadzono tylko dla procesu I.

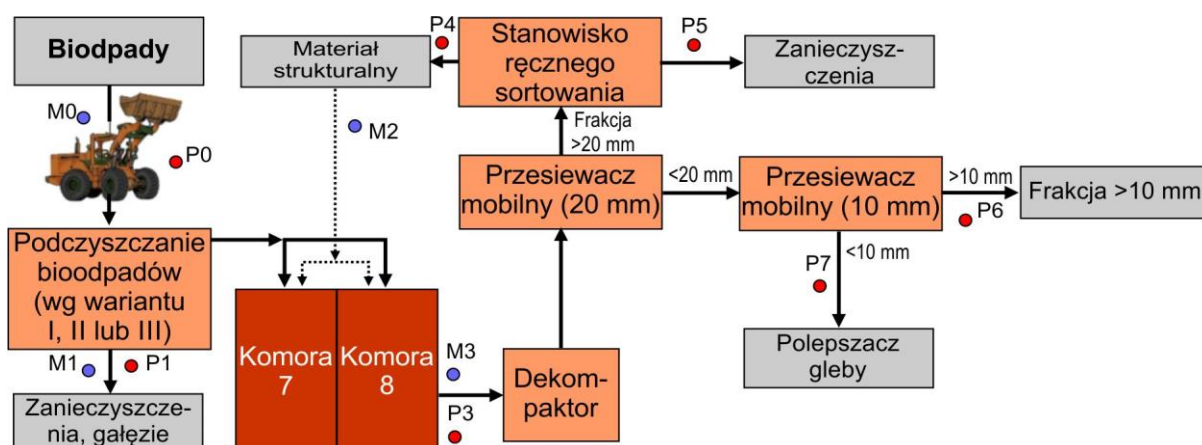
Skład materiału wejściowego obliczono na podstawie przepływów wyjściowych i ich składu materiałowego.

W każdej serii pomiarowej określano liczbę i czas pracy ludzi oraz urządzeń.

8.2.3. Ustalenie niezbędnego poziomu usunięcia zanieczyszczeń z bioodpadów w procesie mechanicznego ich oczyszczania oraz wpływu tych operacji na właściwości bioodpadów i jakość wytwarzanego kompostu

8.2.3.1 Opis procesu

Bioodpady dostarczone do zakładu, po podczyszczeniu, załadowuje się do komory kompostowej przy pomocy ładowarki kołowej oraz dekompektora. Komorę zamyka się i rozpoczyna się proces kompostowania. Proces trwa od 4 do 6 tygodni. Po jego zakończeniu przekompostowane bioodpady wyładowuje się przy pomocy ładowarki i dekompektora a następnie przesiewa się w sicie mobilnym o oczku 20 mm. Z odpadów odsiewa się frakcję strukturalną wraz z zanieczyszczeniami (frakcja nadsitowa), a kompost przechodzący przez oczka sita (frakcja podsitowa 0-20 mm) przesiewa się w sicie o oczkach 10 mm (rys. 20). Uzyskany produkt (kompost) 0-10 mm, zgodnie z decyzją Ministra Rolnictwa i Rozwoju wsi nr G-599/16 z dnia 24.10.2016 dopuszczony jest do obrotu jako organiczny środek poprawiający właściwości gleby pod nazwą Kompo-ZZO Marszów. Jest on sprzedawany w opakowaniach handlowych lub luzem. Frakcja 10-20 mm jest również sprzedawana jako produkt, jednak tylko luzem.



Rys. 20. Schemat technologiczny linii mechanicznego oczyszczania kompostu

8.2.3.2 Pobieranie i charakteryzacja próbek

W okresie od 5 marca do 5 października 2004 r. przeprowadzono badania zawartości zanieczyszczeń w wytwarzanym kompoście oraz poziomu usunięcia ich z bioodpadów po przejściu przez obecnie stosowany system i zaprojektowane ciągi technologiczne do mechanicznego podczyszczenia bioodpadów. Przeprowadzono siedem serii pomiarowych, po trzy dla dwóch zaprojektowanych rozwiązań linii mechanicznego oczyszczania bioodpadów (wariant II i III) i jedną dla obecnie stosowanego sposobu podczyszczenia bioodpadów (wariant I).

Zakres badań morfologicznych oczyszczonych bioodpadów i kompostu jak w punkcie 8.2.2.2. Kontrola kompostu obejmowała również wyznaczenie jego wybranych właściwości. Badania wykonywało Laboratorium Eurofins OBiKŚ Polska Sp. z o.o. w Katowicach. Zakres oznaczeń

i metody badawcze były następujące: pH w 20° C (PN-EN 15933:2013-02), sucha masa (PN-EN 15934:2013-02), straty przy prażeniu (PN-EN 15935:2022-01), azot ogólny Kjeldahla (PN-EN 13342:2002) oraz fosfor ogólny (P), potas (K) i metale ciężkie (Cr, Cd, Ni, Pb i Hg) (PN-EN 16174:2012; PN-EN 16170:2017-02).

Materiał wyjściowy

Punkty poboru próbek dla ocenianych procesów zaznaczono znacznikami na rysunku 20. W punkcie „0” określano łączną masę bioodpadów załadowywanych do bioreaktora w danej serii pomiarowej (M0). W bioreaktorze można umieścić średnio 420 Mg bioodpadów. Masa badanej partii bioodpadów wynosiła około 50 Mg. Określoną masę tych bioodpadów umieszczano w oznakowanej części reaktora i podczas załadunku pobierano okresowo łopatą próbki pierwotne o masie około 50 kg w takiej liczbie, aby utworzona próbka ogólna miała masę, co najmniej 1500 kg (P0). Kontrolowana lokalizacja w komorze tak dużej partii bioodpadów (ok. 50 Mg) była niezbędna, aby po kompostowaniu możliwy był pobór próbki (P3) z tej samej partii materiału.

Wariant II i III

Próbkę P0 poddawano oczyszczaniu metodą opisaną w wariantcie II (serie pomiarowe S1-S3) i wariantcie III (serie pomiarowe S4-S6).

Powstałe strumienie odpadów (odrzuty, zanieczyszczenia i podczyszczone bioodpady) analizowano określając ich ilość, skład materiałowy oraz wilgotność wysortowanych składników. Suma mas odrzutów (gałęzie i inna organika) oraz zanieczyszczeń stanowiła masę próbki P1.

Próbka M2 (opcja): w seriach pomiarowych S4 i S6 do bioodpadów wprowadzono dodatkowo materiał strukturalnych (gałęzie), mierzono ilość dodawanego materiału.

Wariant I

W wariantcie I próbkę P0 stanowi partia bioodpadów o masie około 50 Mg, a próbkę P1 łączna masa wydzielonych zanieczyszczeń z pryzm (próbki P1a-P1c opisane w punkcie 8.2.2.2. Pobieranie i charakteryzacja próbek).

Materiał wyjściowy

W punkcie 3 określano łączną masę przekompostowanych bioodpadów usuniętych z komory (M3). Z partii odpadów umieszczonych w kontrolowanej lokalizacji w komorze pobierano próbkę odpadów o masie $P3 = M3/M0 \cdot P0$, którą poddawano procesowi oczyszczania na linii do oczyszczania kompostu.

Dla wszystkich wariantów pobierano następujące rodzaje próbek materiałów wyjściowych oraz stosowano opisaną metodę ich pobierania:

- a) Próbkki P4 i P5: frakcja >20 mm po przesiewaczu mobilnym. Określano łączną masę strumienia odpadów i jego skład morfologiczny.
- b) Próbkki P6: frakcja >10 mm po przesiewaczu mobilnym. Określano łączną masę strumienia odpadów i jego skład morfologiczny. Z otrzymanej frakcji pobierano łopatą 3 próbki ogólne o masie około 20-25 kg. Otrzymane próbki ogólne redukowano metodą ćwiartowania do uzyskania 2 próbek laboratoryjnych o masie około 2,5 kg. Jedną sortowano ręcznie na miejscu oznaczając jej skład morfologiczny a drugą część próbki kierowano do laboratorium w celu oznaczenia wilgotności odpadów (W).
- c) Próbkki P7: kompost (frakcja <10 mm po przesiewaczu mobilnym). Określano łączną masę kompostu i jego skład morfologiczny. Z uzyskanego kompostu pobierano łopatą 3 próbki ogólne o masie około 20-25 kg. Otrzymane próbki ogólne redukowano metodą ćwiartowania do uzyskania 2 próbek laboratoryjnych o masie około 1,5 kg. Jedną sortowano ręcznie na miejscu oznaczając jej skład morfologiczny a drugą część próbki kierowano do laboratorium w celu oznaczenia wilgotności odpadów (W).

Zakres analizy morfologicznej (materiałowej) odpadów i frakcji obejmował oznaczenie następujących składników: odpady biodegradowalne (gałęzie i inna organika), tworzywa sztuczne (worki na bioodpady i inne TS), szkło, metale, tekstylia oraz frakcję <10 mm w strumieniach o wyższym uziarnieniu. Z kolei w kompoście (końcowa frakcja <10 mm) oznaczano skład morfologiczny frakcji 2-10 mm i udział masowy frakcji <2 mm.

Skład materiału wejściowego obliczono na podstawie przepływów wyjściowych i ich składu materiałowego.

8.3. Wyniki badań

8.3.1. Wybór urządzenia do rozrywania i opróżniania worków

8.3.1.1 Rozdrabniacz PRONAR MRW 2.85 H

Wyniki badań przeprowadzonych z wykorzystaniem dwuwałowego wolnoobrotowego rozdrabniacza MRW 2.85H przedstawiono w załączniku w tabeli Z17 i tabeli 9. Dla prędkości obrotowej minimalnej wynoszącej 4,5 obr/min wydajność urządzenia wynosiła od 3,9 do 9,8, średnio $6,7 \pm 2,1$ Mg/h. Blisko 10 krotny wzrost prędkości obrotowej wałów rozdrabniających spowodował prawie 5 krotny (4,6) wzrost wydajności procesu.

Przy nastawie minimalnej prędkości obrotowej wałów (4,5 obr/min), całkowite straty bioodpadów, wynosiły od 3,5 do 13,4%, średnio $7,6 \pm 3,8\%$. Przy nastawie maksymalnej prędkości (44 obr/min) straty były blisko 3-krotnie mniejsze i mieściły się w przedziale od 1,70 do 2,7%, z wartością średnią $2,2 \pm 0,4 \%$.

8.3.1.2 Rozrywarka LIS

Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu LIS przedstawiono w załączniku, w tabeli Z18 oraz na rysunkach 21 i 22. Wydajność opróżniania worków z bioodpadami rosła ze wzrostem prędkości przesuwu przenośnika płytowego od 7,0 do 9,8 Mg/h przy nastawie krawędzi ściany oporowej 25,5 cm i od 7,4 do 10,3 Mg/h przy nastawie

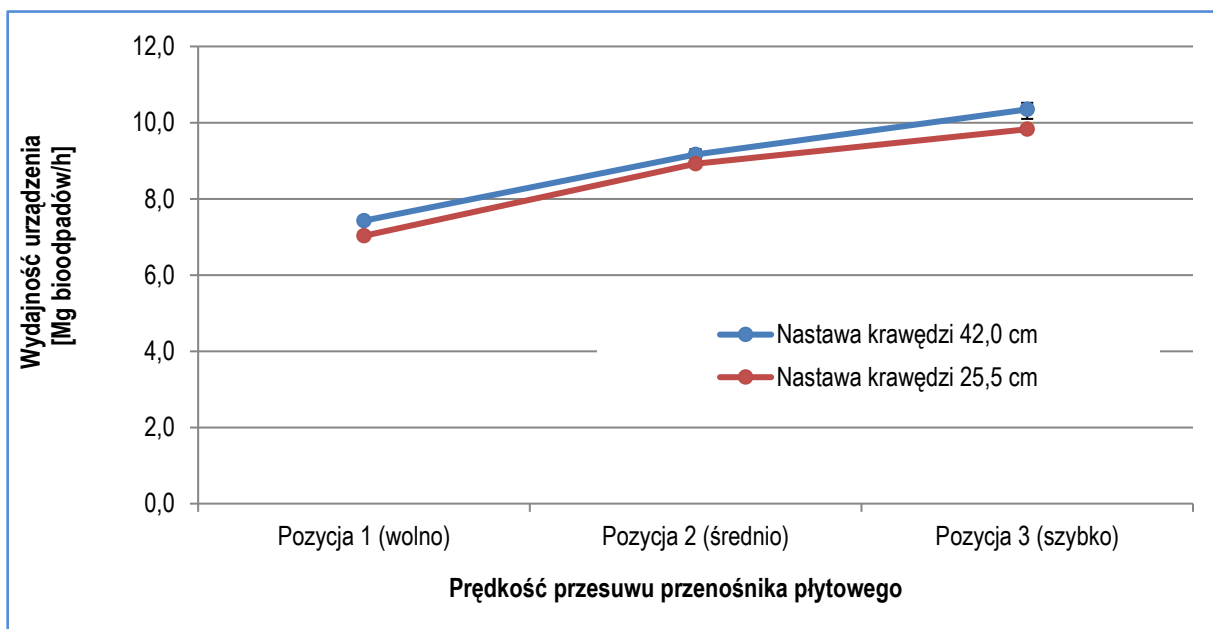
krawędzi ściany oporowej 42,0 cm (rys. 21). Ponad 1,6-krotny wzrost szerokości szczeliny (z 25,5 do 42,0 cm) powodował niewielki wzrost wydajności linii.

Tabela 9. Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami w rozdrabniaczu MRW 2.85H

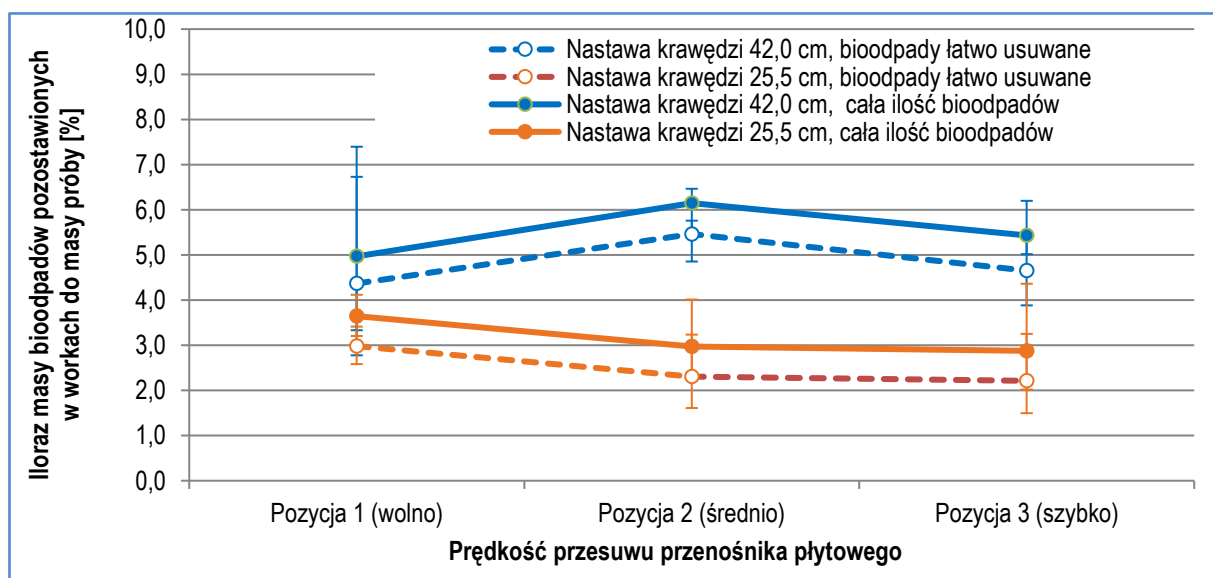
Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Wartość średnia	Odchylenie standard.
1	Prędkość obrotowa wału 4,5 obr/min					
1.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	780	1 313	1 031	231
1.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	3,6	8,8	6,3	216
1.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	4,1	9,5	6,9	2,2
1.4	Wydajność	Mg/h	5,9	7,8	6,7	0,8
2	Prędkość obrotowa wału 5 obr/min					
2.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	619	1 043	846	177
2.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	5,6	6,0	5,9	0,1
2.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	6,1	6,4	6,3	0,1
2.4	Wydajność	Mg/h	5,1	6,8	6,1	0,7
3	Prędkość obrotowa wału 9 obr/min					
3.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	731	880	799	57
3.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	3,1	4,5	3,7	0,6
3.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	3,8	5,0	4,3	0,6
3.4	Wydajność	Mg/h	8,0	8,3	8,1	0,1
4	Prędkość obrotowa wału 13 obr/min					
4.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	750	934	850	81
4.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	2,7	3,5	3,1	0,4
4.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	3,4	4,1	3,7	0,3
4.4	Wydajność	Mg/h	10,7	18,7	13,2	3,2
5	Prędkość obrotowa wału 18 obr/min					
5.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	78	85	82	3
5.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	2,64	3,03	2,83	0,14
5.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	3,06	3,57	3,26	0,19
5.4	Wydajność	Mg/h	8,50	9,00	8,73	0,23
6	Prędkość obrotowa wału 22 obr/min					
6.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	659	730	693	33
6.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	2,2	3,4	2,8	0,4
6.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	2,8	4,1	3,4	0,5
6.4	Wydajność	Mg/h	18,9	22,9	21,8	1,7
7	Prędkość obrotowa wału 44 obr/min					
7.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	755	1 460	1 001	286
7.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	1,2	2,2	1,5	0,4
7.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	1,7	2,7	2,2	0,4
7.4	Wydajność	Mg/h	28,6	35,0	30,7	2,5

Straty bioodpadów w procesie opróżniania worków na urządzeniu LIS zależą zarówno od nastawy krawędzi ściany oporowej, jak i od prędkości przesuwu przenośnika płytowego z wymiennymi zabierakami stalowymi. Należy jednak stwierdzić, że generalnie są one bardzo małe. Masa bioodpadów, które pozostają w rozerwanych w workach usuwanych na linii sortowniczej składa się z dwóch części:

- o z masy bioodpadów, które dają się stosunkowo łatwo wydzielić z usuwanych worków w sposób mechaniczny;
- o z masy bioodpadów i wilgoci z bioodpadów, która pozostaje na ściankach worka, i nie można jej usunąć w prosty sposób.



Rys. 21. Wydajność opróżniania worków z bioodpadami w zależności od prędkości przesuwu przenośnika płytowego (liczby obrotów wału zwrotnego)



Rys. 22. Straty masy bioodpadów w zależności od prędkości (liczby obrotów) wału zwrotnego

Przy nastawie krawędzi ściany odporowej 25,5 cm, straty bioodpadów, które dają się stosunkowo łatwo wydzielić z rozerwanych worków, maleją od 3,0 do 2,2% ze wzrostem prędkości przesuwu przenośnika płytowego z pozycji 1 do 3. Przy nastawie krawędzi ściany odporowej 42,0 cm, są one od 1,5 do 2,1 razy większe. Przy najmniejszej prędkości przesuwu

przenośnika płytowego (pozycja 1) wynoszą 4,4% przy średniej (pozycja 2) – 5,5%, a przy największej (pozycja 3) spadły do 4,7% (rys. 22).

Uwzględniając masę bioodpadów i wody pozostającą na ściankach worka straty bioodpadów są znacznie wyższe. Przy nastawie krawędzi ściany oporowej 25,5 cm całkowite straty bioodpadów maleją od 3,6 do 2,9% ze wzrostem prędkości przesuwu przenośnika płytowego z pozycji 1 do 3. Są, zatem o od 22 do 30% wyższe niż straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków. Przy nastawie krawędzi ściany oporowej 42,0 cm, przy najmniejszej prędkości przesuwu przenośnika płytowego (pozycja 1) wynosiły 5,0% przy średniej (pozycja 2) – 6,1%, a przy największej spadły do 5,4%. Są one od 14 do 17% większe w porównaniu do strat występujących przy uwzględnieniu tylko bioodpadów, które dają się stosunkowo łatwo wydzielić z usuwanych worków w sposób mechaniczny.

8.3.1.3 Przesiewacz STAR SELECT S60

Wyniki badań przeprowadzonych na urządzeniu STAR SELECT S60 przedstawiono w załączniku w tabelach Z19 i Z20 oraz w tabeli 10.

Tabela 10. Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu STAR SELECT

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Wartość średnia	Odchylenie standard.
1	Prędkość minimalna (frakcja wyjściowa o uziarnieniu 0-25 mm)					
1.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	950	1 150	1 060	82
1.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	1,7	2,3	2,1	0,2
1.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	1,9	2,5	2,3	0,2
1.4	Wydajność	Mg/h	8,2	10,0	9,2	0,7
2	Prędkość maksymalna (frakcja wyjściowa o uziarnieniu 0-10 mm)					
2.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	663	1 110	944	171
2.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	1,2	1,8	1,5	0,2
2.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	2,1	3,3	2,6	0,5
2.4	Wydajność	Mg/h	3,2	4,3	4,0	0,4

Wydajność opróżniania worków z bioodpadami rośnie ze wzrostem prędkości obrotowej gwiazd małych i dużych. Przy nastawie maksymalnej prędkości wynosiła ona średnio 16,7 Mg/h przy prześwicie gwiazd pokładu dolnego 10 mm i 23,9 Mg/h przy prześwicie 25 mm. Zmiana uziarnienia frakcji drobnej o 15 mm (z 10 mm do 25 mm) spowodowała 1,4-krotny wzrost średniej wydajności urządzenia. Przy nastawie minimalnej prędkości obrotowej gwiazd i prześwicie pokładu dolnego 25 mm wydajność wynosiła 9,2 Mg/h. Zmiana prędkości obrotowej gwiazd w pokładach z minimalnej na maksymalną powodowała 2,6-krotny wzrost średniej wydajności urządzenia. Straty bioodpadów w procesie opróżniania worków na urządzeniu SS60 zależą zarówno od nastawy prędkości obrotowej pokładów jak również od ustawień oczekiwanej frakcji drobnej. Należy jednak stwierdzić, że generalnie są one bardzo małe (0,6 – 3,0%).

Przy nastawie maksymalnej prędkości obrotowej pokładów gwiazdzistych, która jednocześnie pozwala na otrzymanie frakcji wyjściowej o uziarnieniu 0-10 mm, straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków wynoszą od 3,48 do 5,48%, średnio 4,43%. Przy

nastawie minimalnej prędkości straty maleją do przedziału od 1,70 do 2,27% średnio 2,08% a więc są one ponad dwukrotnie mniejsze.

Całkowite straty bioodpadów w procesie opróżniania worków wynoszą od 4,05 do 6,47% średnio 5,13% przy nastawie maksymalnej prędkości a przy minimalnej prędkości straty maleją do przedziału od 1,91 do 2,50%, średnio 2,27% a więc są blisko 2,5 krotnie mniejsze.

8.3.1.4 Urządzenie TEUTON Z50

Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami przeprowadzonych na urządzeniu TEUTON Z50 przedstawiono w załączniku w tabeli Z21 oraz w tabeli 11.

Tabela 11. Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu TEUTON Z50

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Wartość średnia	Odchylenie standard.
1	Prędkość obrotowa rotora 20 obr/min					
1.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	900	1 100	1 040	89
1.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	0,68	0,77	0,72	0,04
1.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	0,83	0,97	0,90	0,06
1.4	Wydajność	Mg/h	7,7	9,7	8,8	0,7
2	Prędkość obrotowa rotora 40 obr/min					
2.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	950	1 100	1 000	61
2.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	1,25	1,72	1,40	0,19
2.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	1,40	1,94	1,58	0,21
2.4	Wydajność	Mg/h	12,3	19,0	14,8	2,5

Wydajność procesu opróżniania worków z bioodpadami przy prędkości rotora 20 obr/min wynosiła od 7,7 do 9,7 Mg/h, średnio $8,8 \pm 0,7$ Mg/h, a przy prędkości rotora 40 obrotów na minutę od 12,3 do 19,0 Mg/h, średnio $14,8 \pm 2,5$ Mg/h. Dwukrotny wzrost prędkości rotora (z 20 do 40 obr/min) powodował wzrost wydajności urządzenia o blisko 70%.

W przypadku minimalnej prędkości obrotowej (20 obr/min), straty bioodpadów, które dają się dość prosto wydzielić z rozerwanych worków, są stosunkowo niewielkie: od 0,68 do 0,77%, średnio $0,72 \pm 0,04\%$. Przy maksymalnej prędkości rotora wynoszącej 40 obr/min straty materiału wynoszą od 1,25 do 1,72% średnio $1,40 \pm 0,19\%$. Dwukrotny wzrost prędkości rotora skutkował blisko 90% wzrostem strat materiału.

Całkowite straty bioodpadów w procesie opróżniania worków były nieznacznie wyższe od strat bioodpadów łatwo usuwanych z worków i wynosiły od 0,83 do 0,97%, średnio $0,90 \pm 0,06\%$ przy minimalnej prędkości obrotowej rotora (20 obr/min), a przy prędkości maksymalnej (40 obr/min) zakres strat wynosił od 1,40 do 1,94%, średnio $1,58 \pm 0,31\%$. Były one, zatem 1,7 razy większe.

8.3.1.5 Urządzenie TERMINATOR

Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu TERMINATOR przedstawiono w załączniku w tabeli Z22 oraz w tabeli 12.

Tabela 12. Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu TERMINATOR

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Wartość średnia	Odchylenie standard.
1	Największa prędkość - 29 obr/min, nastawa szczeliny tnącej - 45 mm					
1.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	350	1 550	930	454
1.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	3,7	4,7	4,4	0,4
1.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	4,0	5,2	4,9	0,5
1.4	Wydajność	Mg/h	22,9	41,3	33,5	7,0
2	Największa prędkość - 29 obr/min, nastawa szczeliny tnącej - 4 mm					
2.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	550	1 200	780	256
2.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	3,2	3,8	3,4	0,3
2.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	3,7	4,5	4,0	0,3
2.4	Wydajność	Mg/h	27,4	33,2	30,8	2,4
3	Najmniejsza prędkość – 3 obr/min, nastawa szczeliny tnącej - 45 mm					
3.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	780	1 150	926	140
3.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	3,5	4,0	3,8	0,2
3.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	4,1	4,8	4,3	0,3
3.4	Wydajność	Mg/h	20,1	21,8	20,8	0,8
4	Najmniejsza prędkość – 3 obr/min, nastawa szczeliny tnącej - 4 mm					
4.1	Masa próbki (bioodpady w workach)	kg	650	1 100	844	181
4.2	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków	% (m/m)	3,0	4,1	3,8	0,4
4.3	Całkowite straty bioodpadów	% (m/m)	3,4	4,8	4,3	0,5
4.4	Wydajność	Mg/h	19,2	20,1	19,7	0,4

Wydajność opróżniania worków z bioodpadami w przypadku tego urządzenia rosła wraz ze wzrostem prędkości obrotowej wału rozdrabniającego (z 3 do 29 obr/min) od 19,7 do 30,8 Mg/h przy nastawie szczeliny tnącej 4 mm oraz od 20,8 do 33,5 Mg/h przy nastawie krawędzi ściany oporowej 45 mm. Prawie 10-krotny wzrost prędkości obrotowej wału rozdrabniającego (z 3 do 29 obr/min) spowodował wzrost wydajności urządzenia o 56% dla nastawy szczeliny tnącej 4 mm i 61% dla nastawy szczeliny tnącej 45 mm.

Wpływ szczeliny tnącej i prędkości obrotowej wału tnącego na straty masy bioodpadów w procesie opróżniania worków na urządzeniu był stosunkowo niewielki. Przy prędkości obrotowej wału rozdrabniającego wynoszącej 3 obr/min i nastawie szczeliny tnącej 4 mm straty masy bioodpadów łatwo dającej się usunąć z worków wynosiły średnio $3,8 \pm 0,4\%$, a całkowita strata bioodpadów była równa $4,3 \pm 0,5\%$. Przy tej prędkości wału, zwiększenie szczeliny tnącej do 45 mm nie powodowało zmiany straty masy bioodpadów łatwo dających się usunąć z worków i całkowitej masy bioodpadów. Wpływ szerokości szczeliny tnącej był również niewielki w przypadku maksymalnej prędkości wału rozdrabniającego wynoszącej 29 obr/min. Dla nastawy szczeliny tnącej wynoszącej 4 mm, straty bioodpadów, które dają się stosunkowo łatwo wydzielić z rozerwanych worków wynoszą średnio $3,4 \pm 0,3\%$, a całej masy bioodpadów $4,0 \pm 0,3\%$. Ze wzrostem wielkości szczeliny (45 mm) poziom strat rośnie kolejno do średnio $4,4 \pm 0,4$ i $4,9 \pm 0,5\%$.

8.3.1.6 Urządzenie Matthiessen

Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu MATTHIESSEN przedstawiono w załączniku w tabeli Z23 oraz w tabeli 13. W przypadku tego urządzenia

wykonano tylko po jednej serii pomiarowej dla czterech ustawień warunków pracy maszyny a masa próbek badanych bioodpadów wynosiła od 4080 do 5380 kg. O takiej metodzie przeprowadzenia badań zdecydował ograniczony czas dostępu do urządzenia.

Tabela 13. Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu MATTHIESSEN

Prędkość przenośnika [m/min]	Nr serii	Nastawa grzebienia rozrywającego	Masa próbki (bioodpady w workach) [kg]	Straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków [% (m/m)]	Całkowite straty bioodpadów [% (m/m)]	Wydajność [Mg/h]
0,29	1	skrajnie nisko	4 080	105,7	190	4,6
	2	skrajnie wysoko	5 380	127,1	278	5,2
0,51	1	skrajnie nisko	4 400	129,5	47,8	1,1
	2	skrajnie wysoko	4 420	91,5	60,2	1,4

Wydajność opróżniania worków z bioodpadami w przypadku tego urządzenia zmieniała się od 6,4 Mg/h, przy grzebieniu rozrywającym położonym „skrajnie nisko” i dla prędkości przenośnika 0,29 m/min, do 15,5 Mg/h przy grzebieniu rozrywającym położonym „skrajnie wysoko” i dla prędkości przenośnika 0,51 m/min.

Przy prędkości przesuwu przenośnika wynoszącej 0,29 m/min straty masy bioodpadów łatwo dającej się usunąć z worków wynosiły 4,7%, a całkowita strata bioodpadów była równa 6,7% dla nastawy grzebienia rozrywającego w pozycji „skrajnie nisko” oraz kolejno 5,2 i 7,0% dla nastawy grzebienia rozrywającego w pozycji „skrajnie wysoko”. Zwiększenie szybkości przesuwu przenośnika do poziomu 0,51 m/min obniżało wielkość straty masy bioodpadów. Straty masy bioodpadów łatwo dającej się usunąć z worków wynosiły 1,1%, a całkowita strata bioodpadów 3,5% dla nastawy grzebienia rozrywającego „skrajnie nisko” oraz kolejno 1,4 i 2,9% dla nastawy grzebienia rozrywającego „skrajnie wysoko”.

Wzrost prędkości przesuwu przenośnika z 0,29 do 0,51 m/min powodował spadek strat masy bioodpadów łatwo dającej się usunąć z worków o około 75% dla obu nastaw grzebienia rozrywającego. Całkowite straty bioodpadów malały o 48% dla nastawy „skrajnie nisko” oraz o 59% dla nastawy grzebienia rozrywającego „skrajnie wysoko”.

Z kolei zmiana położenia grzebienia rozrywającego z pozycji „skrajnie nisko” do „skrajnie wysoko” powodowała wzrost strat masy bioodpadów łatwo dających się usunąć z worków o 11% dla prędkości przesuwu przenośnika 0,29 m/min i o 25% dla prędkości przesuwu przenośnika 0,51 m/min. Całkowite straty bioodpadów przy zmianie nastawy położenia grzebienia rosły o 4% dla prędkości przesuwu przenośnika 0,29 m/min i malały o 17% dla prędkości przesuwu przenośnika 0,51 m/min.

8.3.2. Koncepcja linii do wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów

8.3.2.1 Wariant I

Badania obecnie stosowanego procesu podczyszczania bioodpadów przeprowadzono jednorazowo w okresie od 11 lipca do 23 lipca 2024 r. Wiarygodna, pełna ocena skuteczności usuwania zanieczyszczeń z bioodpadów stosowaną metodą wymuszała przeanalizowanie bioodpadów w ilości wymaganej do napełnienia części komory do intensywnego

kompostowania o objętości ok. 70 m³, czyli około 50 Mg odpadów. Ostatecznie masa próbki wynosiła 50940 kg i stanowiły ją bioodpady dostarczone z następujących regionów:

- miasto Żary: 27,54 Mg,
- gmina wiejska Żary: 1,36 Mg,
- miasto Żagań: 4,84 Mg,
- gmina wiejska Żary: 3,92 Mg,
- miasto Gubin: 4,70 Mg,
- gmina Lipinki Łużyckie: 6,38 Mg,
- gmina Nowogród Bobrzański: 2,20 Mg,
- gmina Iłowa: 3,32 Mg.

W tabeli 14 podano masę bioodpadów i zanieczyszczeń usuwanych z nich w kolejnych etapach procesu oraz skład materiałowy wsadu do komory.

Tabela 14. *Masa bioodpadów, wysortowanych zanieczyszczeń i podczyszczonych bioodpadów kierowanych do biostabilizacji w komorze - Wariant I, w [kg]*

Lp.	Wyszczególnienie	Bioodpady	I etap oczyszczania	II etap oczyszczania	III etap oczyszczania	Wsad do komory
1	Numer próbki	P0	P1a	P1b	P1c	P2
2	Data przeprowadzenia operacji i pomiarów	2024-07-11	2024-07-11	2024-07-19	2024-07-22	2024-07-23
3	Waga próby strumienia badanych bioodpadów	50940	-	-	-	48180
4	Bioodpady	50940	-	-	-	50545*
5	Odpady ulegające biodegradacji, w tym:	46335	170	24,0	49,9	46090
5.1	• Bioodpady	40890	-	-	-	40890
5.2	• Bioodpady pozostawione w workach łatwo usuwalne - potencjalne straty	95	39,8	21,3	33,6	0,0
5.3	• Duże gałęzie	5350	130	2,73	16,3	5200
6	Zanieczyszczenia, w tym:	4605	73,3	47,4	29,6	4453
6.1	• tworzywa sztuczne: worki na bioodpady (worki czyste)	1120 (270)	66,2 (16)	26,2 (6,5)	18,4 (4,0)	1009 (243)
6.2	• tworzywa sztuczne: folie, reklamówki	765	4,08	4,03	4,92	750
6.3	• tworzywa sztuczne: butelki i inne opakowania	367	1,04	4,37	2,49	359
6.4	• papier	183	0,53	3,07	0,37	179
6.5	• drewno przetworzone	204	0,29	0,00	0,44	203
6.6	• szkło	212	-	-	-	212
6.7	• metale	117	0,12	0,83	0,58	116
6.8	• tekstylia	326	0,93	5,88	2,37	317
6.9	• odpady budowlane	1310	0,13	3,02	0,00	1307

* wartość obliczona przy założeniu braku rozkładu zanieczyszczeń i odpadów biodegradowalnych oraz zmiany wilgotności bioodpadów

W pierwszym etapie oczyszczania pracownicy, poza ręcznym otwieraniem, opróżnianiem i usuwaniem worków, usuwają z bioodpadów duże gałęzie i inne zanieczyszczenia, głównie tworzywa sztuczne. Łącznie usunięto 73,3 kg zanieczyszczeń, co stanowiło 0,14% masy bioodpadów. Worki na bioodpady stanowiły 90,3% masy usuniętych zanieczyszczeń, a folie i reklamówki, kolejne 5,6%. Wysortowane worki na bioodpady zawierały OUB łatwo dające się usunąć z worka (tabela 14, w. 5.2) i trudno usuwalne. Masa czystego tworzywa sztucznego

stanowiła 24% masy wysortowanych worków i ich fragmentów, po usunięciu z nich łatwo usuwanych bioodpadów. Innymi słowy na ścianach jednego statystycznego worka pozostawało średnio 162 g trudno usuwalnych bioodpadów i wody. W tym etapie podczyszczania bioodpadów usunięto z nich również 130 kg dużych gałęzi (0,26% masy bioodpadów) oraz z worków i ich fragmentów, 39,7 kg bioodpadów łatwo usuwalnych (0,08% masy bioodpadów).

W drugim etapie oczyszczania pracownicy z powierzchni przyzmy uformowanej przerzucarką Backhus usunęli 47,4 kg zanieczyszczeń (0,09% masy bioodpadów), 2,7 kg dużych gałęzi (0,01% masy bioodpadów), a z worków i ich fragmentów 21,3 kg bioodpadów (0,04% masy bioodpadów). Po drugim przejeździe przerzucarki z powierzchni przyzmy usunięto 29,6 kg zanieczyszczeń (0,06% masy bioodpadów), 16,3 kg dużych gałęzi (0,03% masy bioodpadów), a z worków i ich fragmentów 33,6 kg bioodpadów (0,07% masy bioodpadów). Wśród zanieczyszczeń wybranych z bioodpadów nie stwierdzono obecności szkła.

Oczyszczaniu poddano 50940 kg bioodpadów (P0). Obliczona masa oczyszczanych bioodpadów (P2) otrzymana przez odjęcie od masy bioodpadów (P0) masy wysortowanych składników (P1) wyniosła 50545 kg. Zmierzona masa bioodpadów kierowanych do komory wynosiła 48180 kg. Różnica mas wynosiła 2365 kg - 4,6% masy surowca. Strata masy była spowodowana odparowaniem wody oraz rozkładem odpadów ulegających biodegradacji podczas formowania przyzm i przerzucania bioodpadów.

8.3.2.2 *Wariant II*

Masy strumieni i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w 14 seriach pomiarowych przetwarzania bioodpadów na zaprojektowanej linii do ich oczyszczania przedstawiono w tabeli 15 oraz w załączniku (tabele Z25A-Z25O).

Masa próbki bioodpadów poddawana oczyszczaniu na linii wahała się od 825 do 1750 kg (średnia masa 1146 ± 237 kg). W czasie rozrywania i opróżniania worków średnia masa bioodpadów malała o 0,6% w wyniku odparowania wody.

Bioodpady zawierały średnio $6,0 \pm 4,2$ kg metali (0,9 - 15,4 kg). Za pomocą elektromagnesu zamontowanego w rozdrabniaczu z bioodpadów wydzielono zaledwie średnio $0,77 \pm 0,72$ kg metali. W kabinie sortowniczej z bioodpadów wysortowywano $36,0 \pm 10,3$ kg zanieczyszczeń (3,1% m/m bioodpadów), a na sicie bębnowym odsiewano 116 ± 57 kg balastu (10,1% m/m bioodpadów), w tym: $26,4 \pm 16,1$ kg materiału strukturalnego, $67,5 \pm 35,7$ kg innej organiki i $20,4 \pm 27,3$ kg zanieczyszczeń (tab. 15). Masa frakcji < 80 mm, kierowanej do biostabilizacji wahała się od 736 do 1520 kg (średnia masa 986 ± 193 kg) (86,3% m/m bioodpadów). Frakcja zawierała średnio 22,6 kg zanieczyszczeń - bez frakcji < 10 mm (2,0% m/m).

W bioodpadach z zbieranych w workach na terenie gmin wiejskich i w zabudowie jednorodzinnej w miastach masa worków mieściła się w zakresie od 20,6 do 102 kg (wart. śred. $42,4 \pm 27,0$ kg), a pozostałych tworzyw sztucznych od 2,9 do 24,9 kg (wart. śred. $10,4 \pm 6,8$ kg). W bioodpadach zbieranych w pojemnikach (zabudowa wielorodzinna) masa tworzyw była znacznie wyższa i wahała się od 38,1 do 114 kg (wart. śred. $75,4 \pm 32,4$ kg).

Tabela 15. *Masy wsadu, wysortowanych zanieczyszczeń i podczyszczonych bioodpadów otrzymane na linii do oczyszczania bioodpadów - Wariant II oraz skład materiałowy frakcji >80 mm i <80 mm, w [kg]*

Nr próbki	Rejon zbierania próbek	Gmina wiejska			Miasto - zabudowa jednorodzinna						Miasto - zabudowa wielorodzinna					Wart. min.	Wart. maks.	Wartość średnia	OS
		Jasień	Wymiarki	Żagań	Gozdnica	Żagań	Żary	Łęknica	Gozdnica	Żary	Żary	Żagań	Łęknica	Gozdnica	Żary				
	Data poboru próbek	2024-03-09	2024-03-09	2024-06-01	2024-03-09	2024-03-09	2024-03-09	2024-04-20	2024-06-01	2024-06-01	2024-04-20	2024-04-20	2024-04-20	2024-04-20	2024-06-01				
	Składniki																		
P0	Masa próbki	825	1080	1100	1100	965	845	1260	1100	1400	1320	1050	1050	1200	1750	825	1750	1146	237
P1	Próbka po rozrywarce	820	1070	1094	1090	960	840	1256	1090	1395	1310	1047	1045	1193	1736	820	1736	1139	235
P2	Metale Fe	0,50	1,10	0,59	2,50	1,00	2,00	0,40	0,21	0,24	0,22	0,14	0,18	0,50	1,18	0,14	2,50	0,77	0,72
P3	Worki na bioodpady	24,0	18,2	25,9	28,9	21,6	26,2	39,6	26,0	24,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,6	16,8	13,8
	Inne tworzywa szt.	0,90	0,60	1,33	1,50	0,50	2,00	3,30	5,31	7,00	34,4	18,7	37,3	19,4	47,3	0,50	47,3	12,8	16,0
P4	Szkło	0,20	0,20	0,09	0,20	0,10	0,15	0,04	0,04	0,20	0,10	0,20	0,30	0,50	1,71	0,04	1,71	0,29	0,43
	Metale	0,40	0,60	0,00	0,50	0,50	0,30	1,44	0,68	0,99	2,04	4,14	0,50	0,87	1,82	0,00	4,14	1,06	1,06
P5	Tekstylia	0,20	0,50	3,28	2,50	1,00	3,10	0,23	0,77	0,95	10,6	24,2	1,08	1,75	2,06	0,20	24,2	3,73	6,45
P6	Kamienie gruz	0,50	1,80	2,83	1,00	1,25	0,50	0,93	1,84	1,10	2,70	0,60	0,65	0,95	1,94	0,50	2,8	1,33	0,78
P7	Frakcja >80 mm, w tym:	50,0	70,0	125,0	90,0	40,0	70,0	210	95,0	240	118	109	120	127	160	40,0	240	116	56,8
	• Organika	46,4	65,2	109,5	88,4	38,8	69,0	183,7	84,9	133,4	104,1	60,6	103,2	105,3	122	38,8	184	93,9	38,2
	• Worki na bioodpady	1,59	1,26	12,2	0,09	0,15	0,14	23,2	3,86	57,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	57,6	7,15	15,95
	• Inne tworzywa sztuczne	1,59	1,96	0,00	0,09	0,15	0,14	0,4	1,09	10,6	9,6	31,0	12,2	10,6	33,4	0,00	33,4	8,06	11,23
	• Szkło	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,1	0,02	1,0	0,0	0,4	0,0	0,7	0,0	0,00	1,0	0,18	0,31
	• Metale Fe	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,6	1,36	13,4	1,2	6,1	0,3	1,2	1,8	0,00	13,4	1,92	3,68
	• Tekstylia	0,40	0,17	1,40	0,54	0,01	0,00	0,3	1,36	19,2	1,6	8,7	2,1	4,4	2,6	0,00	19,2	3,06	5,20
	• Kamienie gruz	0,05	1,40	1,05	0,89	0,90	0,70	1,58	2,41	4,80	1,41	2,18	2,16	4,73	0,38	0,05	4,8	1,76	1,44
P8	Frakcja <80 mm, w tym:	743	977	935	963	894	736	1000	960	1120	1142	890	885	1042	1520	736	1520	986	193
	• Organika	671	790	781	829	752	623	807	797	968	969	770	727	874	1372	623	1372	838	181
	• Worki na bioodpady	0,43	1,18	10,54	0,40	1,33	0,27	5,25	7,48	19,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,9	3,34	5,80
	• Inne tworzywa sztuczne	7,36	13,60	4,96	4,24	12,0	0,72	2,00	3,08	7,35	16,0	10,6	54,4	8,08	33,7	0,72	54,4	12,7	14,6
	• Szkło	0,00	0,00	1,87	0,00	0,57	0,00	0,67	1,86	2,94	4,60	3,09	3,92	4,79	2,96	0,00	4,8	1,95	1,78
	• Metale Fe	0,00	8,99	1,85	0,00	3,64	0,00	1,97	0,61	0,73	2,32	2,88	4,49	2,71	1,01	0,00	9,0	2,23	2,40
	• Tekstylia	0,52	1,80	1,86	0,67	2,84	0,50	1,32	3,08	0,73	0,00	1,14	4,48	0,71	12,8	0,00	12,8	2,32	3,25
	• Frakcja <10 mm	62,1	154	132	122	117	106	103	146	119	136	97,3	82,6	140	87,5	62,1	154	115	26,4

Szkło występowało w bioodpadach w postaci całych opakowań szklanych oraz stłuczki. Próbkę bioodpadów zawierały od 0,2 do 6,0 kg szkła (średnio $2,4 \pm 2,1$ kg). Najwięcej szkła zawierały bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach (od 3,7 do 6,0 kg, średnio $4,7 \pm 0,9$ kg). W kabinie z bioodpadów zbieranych w workach wysortowano zaledwie średnio $0,14 \pm 0,31$ kg szkła, a z bioodpadów zbieranych w pojemnikach w miastach, $0,24 \pm 0,34$ kg. W kabinie wysortowywano z bioodpadów, przede wszystkim, worki po bioodpadach (średnio $16,8 \pm 13,8$ kg) i inne tworzywa sztuczne (średnio $12,8 \pm 16,0$ kg), ale również tekstylia ($3,7 \pm 6,4$ kg), gruz i kamienie ($1,3 \pm 0,8$ kg) oraz metale ($1,1 \pm 1,1$ kg).

Wysortowywane z bioodpadów kamienie i gruz o wymiarach >10 mm to, przede wszystkim, elementy ceramiczne. Nie stwierdzono obecności tych składników we frakcji podsitowej <80 mm.

8.3.2.3 *Wariant III*

Masy strumieni i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w 6 seriach pomiarowych przetwarzania bioodpadów na zaprojektowanej linii ich oczyszczania (wariant III) przedstawiono w tabeli 16 oraz w załączniku (tabele Z26A – Z26F).

Masa próbek bioodpadów poddawanych oczyszczaniu na linii – wariant III, wahała się od 961 do 1130 kg (średnia masa 1007 ± 64 kg). W czasie rozrywania i opróżniania worków średnia masa próbek bioodpadów malała o $0,82 \pm 0,12\%$ w wyniku odparowania wody. Za pomocą elektromagnesu zamontowanego w rozdrabniaczu z bioodpadów wydzielano średnio $0,17 \pm 0,12$ kg metali ($0,02\%$ m/m bioodpadów).

Na przesiewaczu gwiaździstym ze strumienia bioodpadów wydzielono średnio $68,6 \pm 14,7$ kg materiału strukturalnego i 145 ± 30 kg innej organiki (razem $21,1\%$ m/m bioodpadów) oraz $50,5 \pm 29,8$ kg zanieczyszczeń ($4,9\%$ m/m bioodpadów) (tab. 16). Masa gałęzi i innej organiki usuwana we frakcji >80 mm była podobna dla bioodpadów zbieranych na wszystkich terenach objętych analizą (MJ – 218 kg, MW – 206 kg i W – 216 kg). Masa zanieczyszczeń usuwanych z bioodpadów zbieranych na terenie wsi i w miastach z zabudowy jednorodzinnej (37 i 40 kg) była blisko dwukrotnie mniejsza (74 kg).

W kabinie wysortowywano średnio $3,1 \pm 1,5$ kg zanieczyszczeń, głównie fragmenty worków na bioodpady, a na sicie obrotowym wydzielano w frakcji nadsitowej $10,9 \pm 2,4$ kg odpadów. Były to głównie kawałki gałęzi (80% masy odpadów). Masa frakcji <80 mm, przeznaczonej do biostabilizacji wahała się od 670 do 786 kg (średnia masa 721 ± 38 kg) ($71,8\%$ m/m bioodpadów). Frakcja zawierała $17,0 \pm 13,1$ kg zanieczyszczeń - bez frakcji kamieni i gruz ($2,4\%$ m/m).

W bioodpadach zbieranych w workach na terenie gmin wiejskich i w miastach, w dzielnicach z zabudową jednorodziną, masa worków mieściła się w zakresie od 28,4 do 38,7 kg (wart. śred. $34,6 \pm 4,4$ kg), a pozostałych tworzyw sztucznych zmieniała się od 7,4 do 10,0 kg (wart. śred. $9,0 \pm 1,1$ kg). W bioodpadach zbieranych w pojemnikach (zabudowa wysoka) masa tworzyw wahała się od 34,6 do 83,3 kg (wart. śred. 59,0 kg).

Próbki bioodpadów zawierały średnio $7,5 \pm 7,3$ kg metali (od 1,6 do 21,4 kg). Ze względu na niską skuteczność usuwania metali za pomocą elektromagnesu (zaledwie średnio $0,17 \pm 0,12$ kg) usuwano je również dodatkowo w kabinie. Ręcznie wysortowywano $0,26 \pm 0,21$ kg metali.

Tabela 16. *Masy wsadu, wysortowanych zanieczyszczeń i podczyszczonych bioodpadów oznaczone na linii do oczyszczania bioodpadów w [kg] - Wariant III*

Nr próbki	Rejon zbierania próbek	Gminy miejskie				Gminy wiejskie		Wartość średnia
		Zabudowa jednorodzinna		Zabudowa wielorodzinna		Żagań	Żary	
		Łęknica	Gozdnica	Żagań	Żary			
	Data poboru próbek Składniki	20-04-2024	01-06-2024	09-03-2024	01-06-2024	01-06-2024	09-03-2024	
P0	Masa próbki	961	968	1130	987	1025	971	1007
P1	Metale Fe	0,087	0,13	0,33	0,10	0,32	0,056	0,17
P2	Próbka po rozrywarce i SM	953	962	1120	980	1015	963	999
P3	Frakcja strukturalna >80 mm, w tym:	230	206	269	143	232	200	213
	• Gałęzie	81,7	63,7	77,9	45,0	82,1	61,3	68,6
	• Organika	148	142	191	98	150	138	145
P4	Frakcja >80 mm - balast, w tym:	40,0	40,7	111	37,2	42,3	31,8	50,5
	• Worki na bioodpady	27,9	29,7	0,00	0,00	30,2	22,2	18,3
	• Inne tworzywa sztuczne	4,00	4,00	76,2	25,1	8,92	7,41	20,9
	• Szkło	0,12	0,10	1,00	0,62	0,56	0,26	0,44
	• Metale Fe	1,07	1,87	12,42	3,53	1,15	1,20	3,54
	• Tekstylia	3,94	2,89	16,94	3,56	0,78	0,28	4,73
	• Kamienie gruz	3,06	2,10	4,41	4,41	0,70	0,44	2,52
-	Odpady wysortowane w kabinie, w tym:	4,33	3,08	5,41	1,82	1,89	2,27	3,13
P5	• Worki na bioodpady	3,06	1,71	0,00	0,00	1,55	1,88	1,47
	• Inne tworzywa sztuczne	0,15	0,05	2,60	1,11	0,05	0,20	0,69
P6	• Szkło	0,13	0,10	1,46	0,04	0,05	0,02	0,30
	• Metale	0,19	0,21	0,58	0,45	0,06	0,07	0,26
P7	• Tekstylia	0,00	0,17	0,44	0,08	0,00	0,05	0,13
P8	• Kamienie gruz	0,20	0,84	0,33	0,15	0,18	0,05	0,29
P9	Odsiew na sicie obrotowym, w tym:	8,54	12,6	8,05	12,1	14,0	10,2	10,9
	• Gałęzie	6,69	10,59	5,83	9,91	11,18	8,09	8,72
	• Organika	0,55	0,50	0,95	0,95	0,90	1,20	0,84
	• Worki na bioodpady	0,87	1,01	0,00	0,00	1,75	0,72	0,73
	• Inne tworzywa sztuczne	0,01	0,04	1,11	1,19	0,06	0,01	0,40
	• Szkło	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
	• Metale	0,02	0,04	0,10	0,02	0,02	0,01	0,03
	• Tekstylia	0,00	0,01	0,06	0,00	0,01	0,00	0,01
	• Kamienie, gruz	0,40	0,38	0,00	0,00	0,12	0,20	0,18
P10	Frakcja <80 mm, w tym:	670	700	726	786	725	719	721
	• Gałęzie	30,7	24,6	16,9	34,7	35,9	22,8	27,6
	• Organika	617	650	665	736	681	683	672
	• Worki na bioodpady	6,31	4,20	0,00	0,00	1,15	3,63	2,55
	• Inne tworzywa sztuczne	4,93	3,35	3,47	7,25	0,23	2,42	3,61
	• Szkło	0,81	1,94	29,3	0,56	0,19	1,78	5,76
	• Metale	2,51	5,49	8,00	4,05	0,046	1,12	3,53
	• Tekstylia	2,09	4,65	0,00	0,10	0,00	2,44	1,55
	• Kamienie, gruz	6,14	5,56	3,22	2,93	6,80	1,66	4,38

Szkło występowało w bioodpadach w postaci całych opakowań szklanych oraz stłuczki. Jego zawartość w bioodpadach wahała się od 0,8 do 2,1 kg, poza jedną próbką (Żagań zabudowa

wielorodzinna), która zawierała 31,7 kg szkła. Średnio badane próbki bioodpadów, bez próbek z Żagania, zawierały $1,5 \pm 0,6$ kg szkła.

W próbkach bioodpadów stwierdzono występowanie kamieni i gruzu oraz składników mineralnych w wymiarach <10 mm w ilości od 2,4 do 9,8 kg (średnio $7,4 \pm 2,6$). Niektóre z tych ciał obcych miały wymiar większy niż 80 mm. Na przesiewaczu gwiaździstym usuwano o 0,44 do 4,41 kg gruzu (średnio $2,52 \pm 1,75$ kg). Od 0,05 do 0,84 kg kamieni i gruzu (średnio $0,29 \pm 0,28$ kg) wysortowywano w kabinie.

8.3.3. Ustalenie niezbędnego poziomu usunięcia zanieczyszczeń z bioodpadów w procesie mechanicznego ich oczyszczania oraz wpływu tych operacji na właściwości bioodpadów i jakość wytwarzanego kompostu

Masy strumieni i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w 7 seriach pomiarowych badań zawartości zanieczyszczeń w wytworzonym kompoście i poziomu ich usunięcia z bioodpadów po przejściu przez obecnie stosowany lub zaprojektowane ciągi technologiczne do mechanicznego podczyszczania bioodpadów oraz przez obecnie stosowany system oczyszczania przekompostowanych bioodpadów, przedstawiono w załączniku, w tabelach Z27A-Z47G. W tabeli 17 przedstawiono masy strumieni i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w obecnie stosowanym procesie produkcji kompostu (wariant I) oraz wartości średnie z trzech pomiarów masy strumieni i składu materiałowego produktów pośrednich otrzymanych podczas procesu produkcji kompostu z bioodpadów oczyszczanych w dwóch zaprojektowanych, nowych liniach wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów (wariant II i III). W tabeli 18 przedstawiono właściwości wytwarzanego kompostu.

W technologii obecnie stosowanej oczyszczaniu poddano 50940 kg bioodpadów. Na zaprojektowanych nowych liniach oczyszczania bioodpadów (wariant II i III) masa próbek wahała się od 1410 do 1885 kg (średnio 1642 ± 181 kg). Dla linii wariant II średnia masa próbek wynosiła 1679 kg, a dla wariantu III 1605 kg.

W obecnie stosowanym procesie wstępnego oczyszczania bioodpadów usuwano zaledwie 0,77% masy bioodpadów, w tym tylko 4,9% zanieczyszczeń zawartych w bioodpadach (tworzywa sztuczne, metale, szkło i tekstylia). Na linii oczyszczania bioodpadów wariant II usuwano średnio 9,3% masy bioodpadów, w tym około 48% zanieczyszczeń, a w wariantcie III linii oczyszczania wartości te wynosiły kolejno 11,5 i 59%. Ubytek masy odpadów w procesie kompostowania bioodpadów oczyszczonych na liniach opisanych jako wariant II i IIIb wynosił kolejno około 36 i 33%, a w wariantcie obecnie stosowanym (wariant I) 50%. Z przekompostowanych bioodpadów w procesie oczyszczania na sicie mobilnym odsiewano 240 kg frakcji >20 mm w wariantcie I podczyszczania bioodpadów, 281 kg w wariantcie II i 288 kg w wariantcie III. Masa frakcji odsiewana na sicie mobilnym o oczkach 10 mm była wysoka: w wariantcie II 365 kg i w wariantcie III 326 kg. W wariantcie I była blisko 2 krotnie mniejsza (165 kg). Łączne starty masy w procesach przesiewania kompostu wynosiły kolejno 28,5; 38,5 i 38,3% masy surowców. W odsiewach usuwano zanieczyszczenia w ilości, średnio: w obecnie realizowanym procesie 3,9% masy bioodpadów, w tym około 48% masy zanieczyszczeń zawartych w surowcu (wariant I), wariantcie II kolejno 2,4% masy bioodpadów, i około 48% masy zanieczyszczeń, a w wariantcie III wartości te wynosiły kolejno 2,6 i 38%.

Tabela 17. Średnie masy strumieni i skład materiałowy surowców oraz produktów pośrednich w procesie produkcji kompostu z bioodpadów podczyszczanych obecnie stosowaną metodą (wariant I) oraz na zaprojektowanych liniach mechanicznego ich oczyszczania (wariant II i III) – średnie z 3 serii pomiarowych)

Lp.	Miejsce poboru próbek	Jednostka	Bio-odpady	OUB		Tworzywa szt.		Szkło	Metale	Tekstylia	Fr. <10 mm		Drewno przetworzone	Wilgotność [%]
				Gałęzie	Inna organika	Worki na bio-odpady	Inne tw. szt.				Ogółem	W tym <2 mm		
1.	Wariant I – seria pomiarowa S7													
1.1	Wsad – bioodpady (P0)	[kg]	1530	161	1237	33,6	34,0	6,35	3,52	9,79	39,4	n.o.	6,12	52,3
		[%]*	100,0	10,5	80,8	2,20	2,22	0,42	0,23	0,64	2,57	n.o.	0,40	
1.2	Odsiew - wstępne oczyszczanie	[kg]	11,8	4,50	2,96	3,33	0,63	0,00	0,05	0,28	0,09	0,00	0,02	33,1
		[%]	0,77	0,29	0,19	0,22	0,04	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	
1.3	Kompostowanie - strata masy	[kg]	759	134	705	4,56	9,76	3,10	0,48	3,71	25,1	n.o.	3,57	-
		[%]	49,6	8,75	46,1	0,30	0,64	0,20	0,03	0,24	1,64	n.o.	0,23	
1.4	Odsiew >20 mm	[kg]	240	14,8	161	25,6	19,8	2,32	2,76	5,33	5,89	n.o.	2,52	25,4
		[%]	15,7	0,97	10,5	1,68	1,29	0,15	0,18	0,35	0,39	n.o.	0,16	
1.5	Frakcja 10-20 mm	[kg]	195	6,51	179	0,02	3,20	0,63	0,00	0,00	6,27	n.o.	0,00	24,8
		[%]	12,8	0,43	11,7	0,00	0,21	0,04	0,00	0,00	0,41	n.o.	0,00	
1.6	Frakcja < 10 mm	[kg]	323	0,96	189	0,09	0,60	0,29	0,23	0,47	1,98	129	0,00	25,2
		[%]	21,1	0,06	12,4	0,01	0,04	0,02	0,02	0,02	0,13	8,45	0,00	
2	Wariant II – wartość średnia z 3 serii pomiarowych (S1, S2 i S3)													
2.1	Wsad - bioodpady	[kg]	1679	175	1336	45,9	16,4	3,30	7,15	11,8	82,8	n.o.	50,7	
		[%]	100,0	10,44	79,6	2,74	0,98	0,20	0,43	0,70	4,93	n.o.		
2.2	Odsiew – wstępne oczyszczanie	[kg]	156	29,9	81,1	33,3	3,59	0,30	2,48	1,16	3,99	0,00	40,4	
		[%]	9,28	1,78	4,83	1,99	0,21	0,02	0,15	0,07	0,24	0,00		
2.3	Kompostowanie - strata masy	[kg]	601	34,0	623	0,14	0,49	-0,02	-0,03	1,76	22,41	n.o.	-	
		[%]	35,8	2,02	37,1	0,01	0,03	0,00	0,00	0,10	1,34	n.o.		
2.4	Odsiew >20 mm	[kg]	281	72,7	173	12,4	7,43	0,38	4,42	1,11	9,68	n.o.	7,1	
		[%]	16,7	4,33	10,3	0,74	0,44	0,02	0,26	0,07	0,58	n.o.		
2.5	Frakcja 10-20 mm	[kg]	365	33,7	289	0,07	4,26	2,51	0,14	7,57	27,7	n.o.	17,5	
		[%]	21,7	2,01	17,2	0,00	0,25	0,15	0,01	0,45	1,65	n.o.		
2.6	Frakcja < 10 mm	[kg]	276	5,07	171	0,00	0,61	0,13	0,14	0,20	19,0	80,5	18,7	
		[%]	16,5	0,30	10,2	0,00	0,04	0,01	0,01	0,01	1,13	4,79		
3	Wariant III – wartość średnia z 3 serii pomiarowych (S4, S5 i S6)													
3.1	Wsad - bioodpady	[kg]	1605	180	1243	44,8	44,6	3,52	4,42	9,45	75,50	n.o.	49,2	
		[%]	100,0	11,2	77,4	2,79	2,78	0,22	0,28	0,59	4,70	n.o.		
3.2	Odsiew – wstępne oczyszczanie	[kg]	185	21,0	97,5	27,5	27,8	0,49	3,60	3,55	3,85	0,00	37,8	
		[%]	11,5	1,31	6,08	1,71	1,73	0,03	0,22	0,22	0,24	0,00		
3.3	Kompostowanie - strata masy	[kg]	537	40,6	572	0,30	0,40	-0,06	0,01	0,89	30,6	n.o.	-	
		[%]	33,4	2,53	35,6	0,02	0,03	0,00	0,00	0,06	1,91	n.o.		
3.4	Odsiew >20 mm	[kg]	288	108	121	17,0	12,5	1,55	0,75	1,88	25,4	n.o.	9,7	
		[%]	18,0	6,74	7,54	1,06	0,78	0,10	0,05	0,12	1,58	n.o.		
3.5	Frakcja 10-20 mm	[kg]	326	8,54	299	0,03	3,28	1,32	0,00	2,83	10,8	n.o.	21,8	
		[%]	20,3	0,53	18,6	0,00	0,20	0,08	0,00	0,18	0,67	n.o.		
3.6	Frakcja < 10 mm	[kg]	269	1,86	153	0,01	0,61	0,22	0,05	0,29	4,95	108	21,7	
		[%]	16,7	0,12	9,55	0,00	0,04	0,01	0,00	0,02	0,31	6,70		

* Procent masy wsadu bioodpadów (P0), n.o. – nie oznaczano

Tabela 18. *Właściwości kompostu*

Lp.	Parametr	Jednostka	Miejsce i data poboru próbek; wartości parametrów										
1	Wariant podczyszczania bioodpadów		II			III			I	Wart. min	Wart. max	Wart. śred.	OS
2	Miejsce poboru próbki: nr komory		7	8	8	8	4	7	6				
3	Data rozładunku komory (m-d)		03-05	05-11	07-06	04-13	06-01	08-10	08-30				
4	Data pobierania próbki		03-19	05-23	07-12	04-26	06-01	08-12	08-30				
5	pH w 20° C	-	7,9	7,9	7,5	7,6	8,9	6,8	7,3	6,8	8,9	7,7	0,6
6	Zawartość suchej masy	%	72,3	71,3	80,6	70,2	84,6	66,6	76,5	66,6	84,6	74,6	5,8
7	Straty przy prażeniu	% s.m.	57,3	56,8	60,5	31,6	45,2	78,1	46,0	31,6	78,1	53,6	13,5
8	Azot ogólny Kjeldahla	% (m/m)	2,16	3,24	2,46	2,18	2,02	2,90	2,37	2,02	3,24	2,47	0,41
9	Fosfor ogólny (P ₂ O ₅)	% (m/m)	1,17	0,52	1,06	0,78	0,50	1,06	1,10	0,50	1,17	0,88	0,26
10	Potas (K ₂ O)	% (m/m)	1,22	>0,18	>0,18	>0,18	>0,18	0,18	1,15	0,18	1,22	0,85	0,48
11	Chrom ogólny (Cr)	mg/kg sm	28,8	6,27	15,80	9,02	8,00	9,08	11,6	6,27	28,8	12,7	7,2
12	Kadm (Cd)	mg/kg sm	0,47	0,27	<0,05	0,11	0,25	<0,05	1,78	0,11	1,78	0,57	0,61
13	Nikiel (Ni)	mg/kg sm	10,2	5,37	10,2	5,66	4,07	4,53	14,0	4,1	14,0	7,7	3,5
14	Ołów (Pb)	mg/kg sm	12	2	18,4	13,6	15	16,9	76,5	2,0	76,5	22,1	22,8
15	Rtęć/Hg	mg/kg sm	0,09	<0,05	0,053	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,053	0,090	0,072	0,019

Kompost, końcowy produkt procesu, stanowił 21% masy wsadu w obecnie realizowanym sposobie podczyszczania bioodpadów (wariant I), 16,5% w wariacie II i 16,7% masy wsadu w wariacie IIIb. Udział zanieczyszczeń, bez frakcji mineralnej o uziarnieniu 2-10 mm, w kompoście wynosił 0,62% (wariant I), 0,39% (wariant II) i 0,50% (wariant IIIb).

Kompost wykazywał w wodzie zasadowy odczyn, bardzo niską wilgotność, od 15,4 do 33,4% (średnio $25,4 \pm 5,8\%$) i bardzo zróżnicowaną zawartość substancji organicznej, od 31,6 do 78,1% (średnio $53,6 \pm 13,5\%$) (tabela 18). Kompost był zasobny w azot ($2,27 \pm 0,41$ m/m), fosfor ($0,88 \pm 0,26\%$ m/m P₂O₅) i potas ($0,85 \pm 0,48\%$ m/m K₂O₅) i zawierał małe ilości metali ciężkich.

8.4. Dyskusja wyników

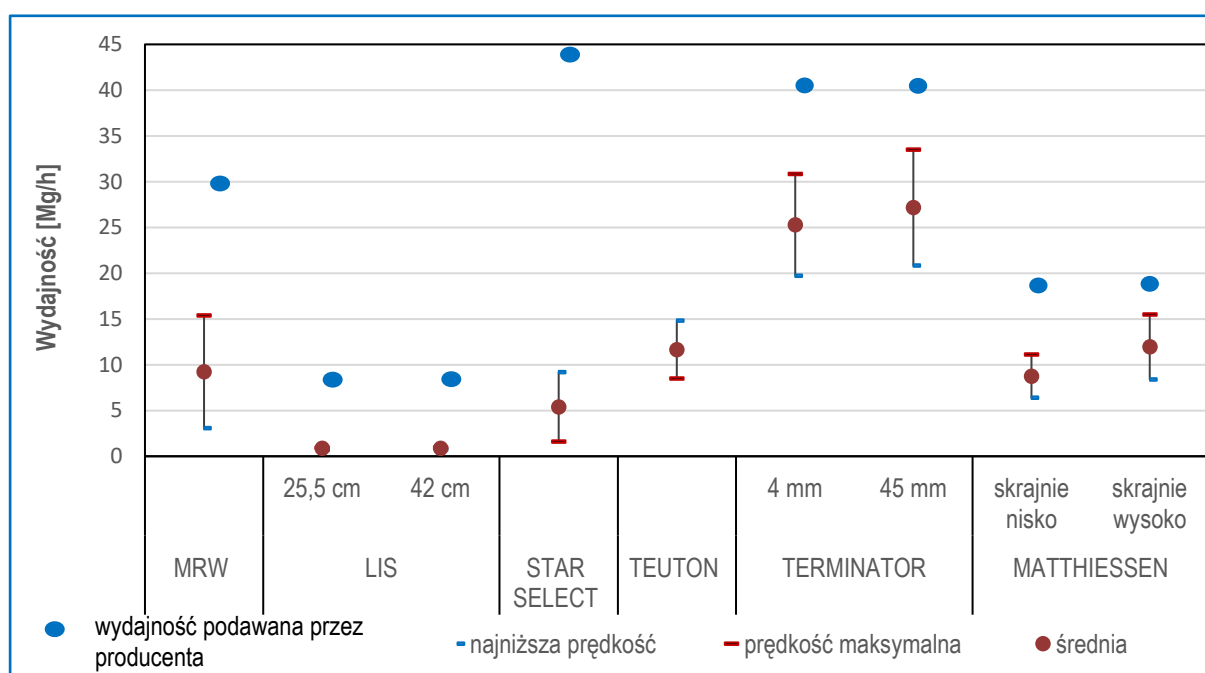
8.4.1. Wybór urządzenia do rozrywania i opróżniania worków

Na rysunku 23 przedstawiono wydajność urządzeń osiągniętą w badaniach dla najwyższej i najniższej prędkości wału obrotowego lub przesuwu taśmociągu oraz podawaną przez producenta.

W przypadku urządzeń STAR SELEKT, TEUTON i TERMINATOR średnie wartości wydajności uzyskiwane dla badanych ustawień maszyny nie osiągały wydajności podawanych przez producenta. Wartości zbliżone osiągnęto jedynie w pojedynczych seriach (np. TERMINATOR: szczelina 45 mm, prędkość obrotowa wału 29 obr/min, seria 3 – 41,3 Mg/h, TEUTON Z50: prędkość obrotowa rotora 40 obr/min, seria 3 – 19,0 Mg/h).

Urządzenie STAR SELEKT to dwupokładowy przesiewacz zalecany do przesiewania materiałów takich jak, kora, zrębki drewna, kompost. Producent podaje, że jego wydajność może sięgać do 300 m³/h, ale nie podaje dla jakiego materiału i jakich konfiguracji parametrów pracy. W wykonanej serii pomiarów w skali technicznej (średnia masa próbki odpadów – 4676 kg, tabela Z20) dla maksymalnej prędkości gniazd w pokładach i prześwicie pokładu dolnego 25 mm osiągnięto wydajność 23,9 Mg/h. W przypadku pozostałych urządzeń średnie

wartości wydajności z 5 serii pomiarowych dla najbardziej korzystnych ustawień był wyższe od maksymalnych wydajności katalogowych (PRONAR: maksymalna prędkość obrotowa wału, LIS: maksymalna prędkość wału dla minimalnej i maksymalnej szerokości szczeliny, MATTHIESSEN: maksymalna prędkość przesuwu przenośnika grzebień, skrajnie wysoko). W przypadku urządzenia MATTHIESSEN masa próbek wynosiła od 4080 do 5380 kg, czas pracy maszyny mieścił się w granicach od 17 do 38 minut, stąd obliczone wydajności są zbliżone do podawanych przez producenta. W badaniach urządzeń PRONAR MRW 2.85 H, TEUTON Z50 i TERMINATOR 5000S średnia masa próbek nieznacznie przekraczała 1000 kg, a dla urządzenia LIS wynosiła tylko 445 kg. Wydajności tych urządzeń uzyskane przy wysokich prędkościach mogą być zaniżone o kilka procent. Wynika to z dużego udziału czasu rozruchu maszyny w całym czasie pracy urządzenia przy tych masach próbek.

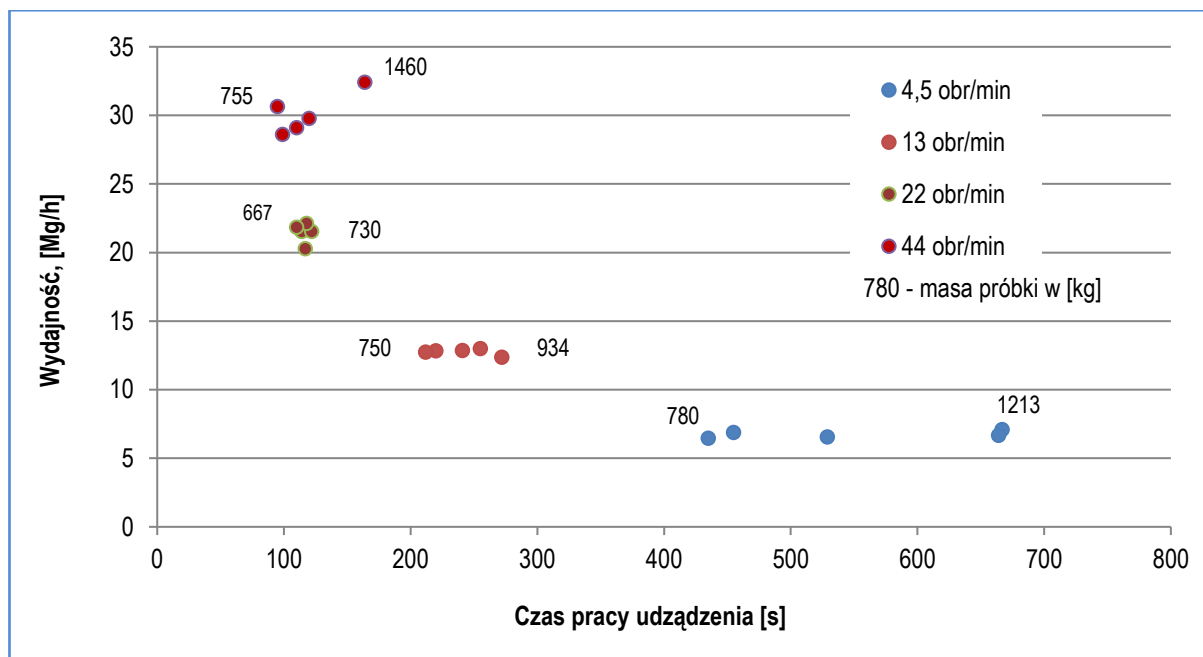


Rys. 23. Wydajność urządzeń osiągnięta w badaniach dla najwyższej i najniższej prędkości wału obrotowego lub przesuwu taśmociągu oraz wartość podana przez producenta

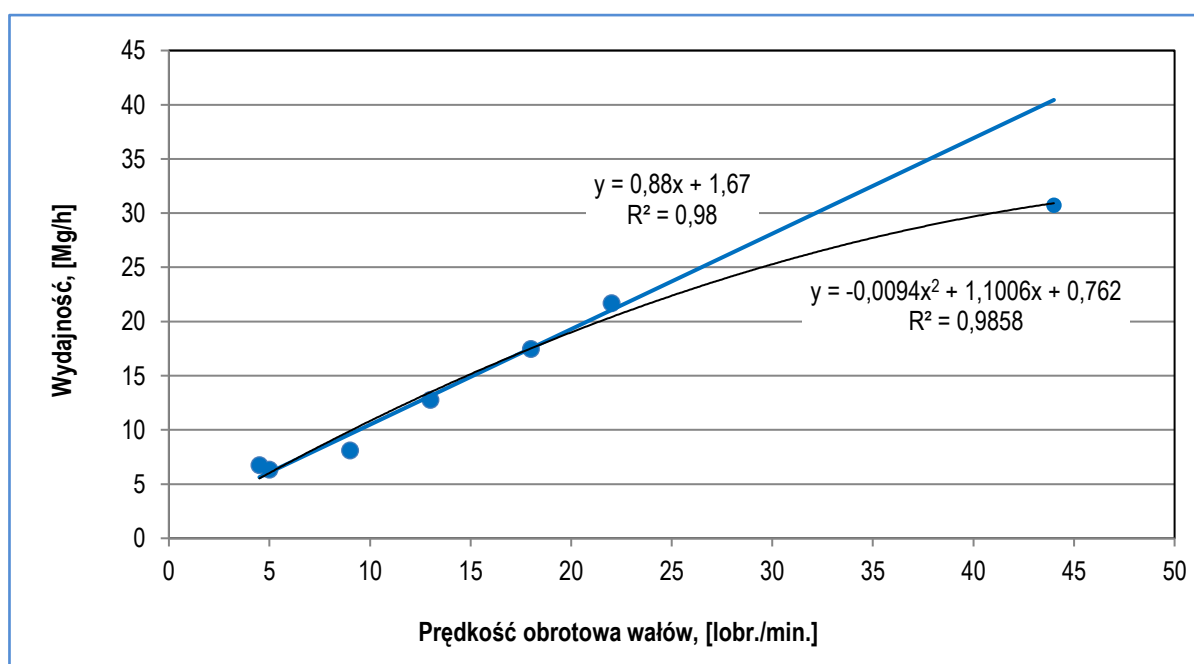
Na rysunku 24 przedstawiono zależność wydajności rozdrabniacza dwuwałowego PRONAR od czasu pracy urządzenia.

W przypadku małych prędkości obrotowej wału (4,5 i 13 obr/min) i w konsekwencji stosunkowo długim czasie pracy maszyny (śred. >9 minut i 3-4 minuty), nie zaobserwowano wpływu czasu pracy urządzenia, wynikającego z masy próbki, na jego mierzoną wydajność. Przy maksymalnej prędkości obrotowej wału (44 obr/min), krótkim czasie pracy był on widoczny (rys. 24).

Wpływ na wydajność urządzeń mają prędkość obrotu wału lub przesuwu taśmy oraz przyjęte nastawy elementów wspomagających rozrywanie i rozdrabnianie odpadów. Na przykład, w przypadku rozdrabniacza PRONAR wydajność urządzeń rośnie liniowo ze wzrostem prędkości obrotowej wałów rozdrabniających do 50% prędkości maksymalnej. Przy wyższej prędkości wydajność ograniczana jest przez prześwit między wałami (rys. 25).



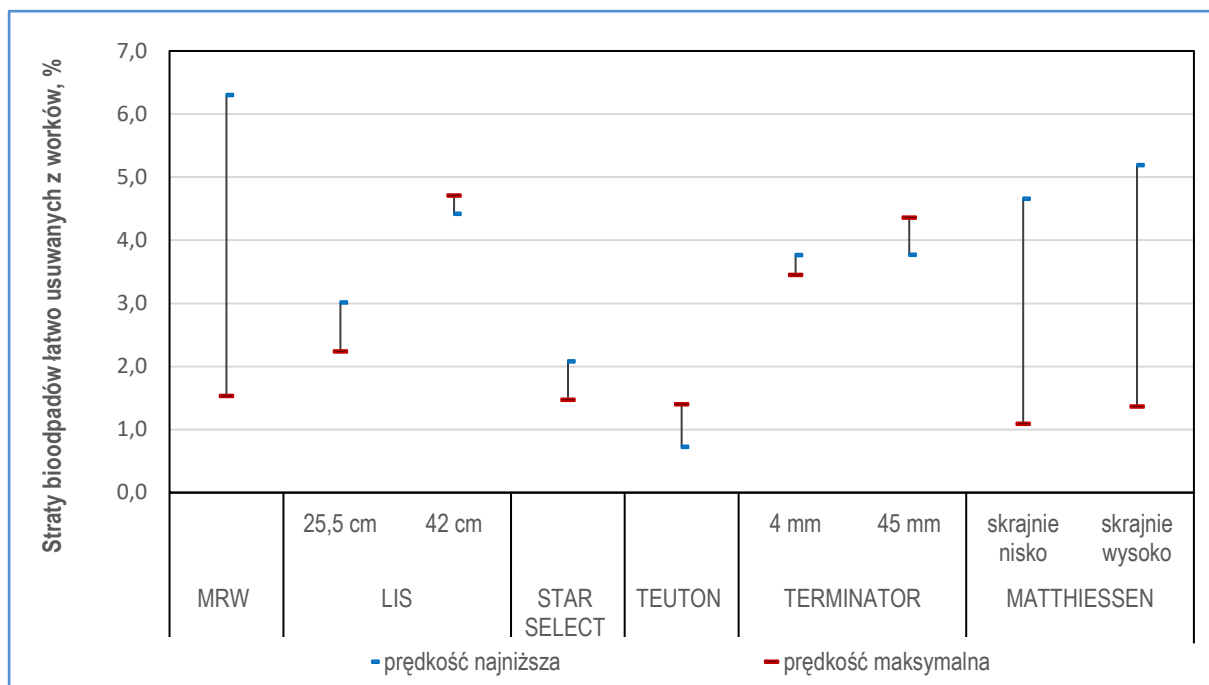
Rys. 24. Zależność wydajności rozdrabniacza dwuwałowego PRONAR od czasu pracy urządzenia



Rys. 25. Zależność wydajności rozdrabniacza dwuwałowego PRONAR od prędkości obrotowej wałów rozdrabniających

Straty bioodpadów uzyskane na urządzeniach objętych badaniami przedstawiono na rysunkach 26 i 27. Średnie straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków zmieniały się w zakresie od 0,7% (urządzenie TEUTON Z50) do 6,3% (urządzenie PRONAR). Przy prędkości maksymalnej, a więc przy maksymalnej wydajności pracy urządzenia najniższe straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków uzyskano na urządzeniu MATTHIESSEN (1,1% przy nastawie grzebienia skrajnie nisko i 1,4% dla położenia skrajnie wysoko). Bardzo interesującą

obserwacją wynikającą z badań strat bioodpadów jest stwierdzenie spadku ich poziomu ze wzrostem prędkości obrotowej wałów w rozdrabniaczu PRONAR i MATTHIESSEN oraz LIS i TERMINATOR przy mniejszej szerokości szczeliny tnącej (rys. 26).



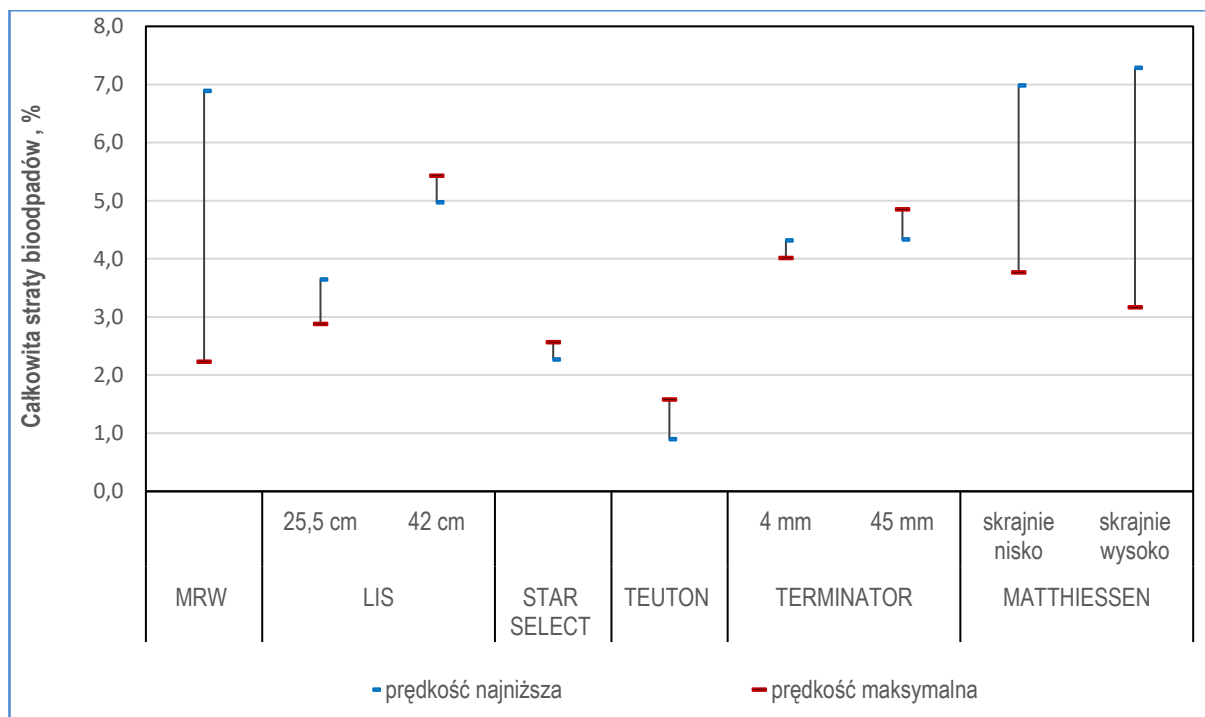
Rys. 26. Strata bioodpadów łatwo usuwanych z worków uzyskana na urządzeniach objętych badaniami

Całkowite straty bioodpadów uzyskane na urządzeniach objętych badaniami były o <1% wyższe niż straty bioodpadów łatwo usuwanych z worków, poza rozdrabniarką MATTHIESSEN. Średnie straty bioodpadów w tym urządzeniu były wyższe o 2,7% (przy nastawie grzebienia skrajnie nisko) i 1,8% (przy nastawie grzebienia skrajnie wysoko) (rys. 27).

8.4.1.1 Analiza porównawcza badanych rozrywarek i rozdrabniaczy

W tabeli 19 przedstawiono podstawowe parametry techniczne urządzeń wybranych do analizy, ich wydajność i straty bioodpadów zmierzone w badaniach, ocenę stopienia rozdrobnienia i możliwości usunięcia worków z tworzyw sztucznych oraz koszt zakupu urządzeń.

Do prób przemysłowych wytypowano rozdrabniacz dwuwałowy PRONAR MRW 2.85 krajowej produkcji oraz austriacką rozrywarkę do worków firmy Matthiessen typ SFIII-K4-SB. Rozdrabniacz PRONAR charakteryzuje się stosunkowo wysoką wydajnością przy stosunkowo niewielkich stratach materiału. Za jego wyborem przemawia również cena zakupu biorąc pod uwagę dużą uniwersalność, co wynika z zastosowanego dwuwałowego układu roboczego. Matthiessen to typowa stacjonarna rozrywarka o wysokich parametrach pracy przy stosunkowo niewielkich stratach materiału, jednakże jego wykorzystanie jest ograniczone do jednego typu materiału, co ogranicza jego zastosowanie. Oba urządzenia zapewniały równomierne rozłożenie odpadów na taśmie podającej.



Rys. 27. Całkowita strata bioodpadów uzyskana na urządzeniach objętych badaniami

8.4.1.2 Analiza porównawcza rozdrabniacza Pronar MRW 2.85 i rozrywarki do worków Matthiessen SFIII-K4-SB

Na rysunku 28 przedstawiono poziomy wysortowania zanieczyszczeń w kabinie sortowniczej po rozdrabniaczu PRONAR MRW 2.85 i rozrywkarce do worków MATTHIESSEN. W kabinie pracowało 4 sortowaczy. Z strumienia odpadów wysortowywano worki na bioodpady oraz następujące zanieczyszczenia: woreczki foliowe i inne tworzywa sztuczne, szkło, odpady wielomateriałowe oraz odpady mineralne (gruz, kamienie). Ponadto z odpadów usuwano metale żelazne i nieżelazne, po rozdrabniaczu Pronar MRW 2.85 ręcznie, a rozrywkarce do worków Matthiessen za pomocą separatora ferromagnetycznego (metale żelazne).

Badania z wykorzystaniem rozdrabniacza Pronar MRW 2.85 przeprowadzono w Łużyckim Centrum Recyklingu w Marszowie (4 serie, masa próbki od 3362 do 4335 kg, średnio 3775 kg). Badania z wykorzystaniem rozrywarki do worków Matthiessen SFIII-K4-SB przeprowadzono w Zakładzie Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych „Orli Staw” w Cekowie. Próbkę bioodpadów zostały dowiezione z Marszowa (4 serie, masa próbki od 4080 do 5380 kg, średnio 4570 kg).

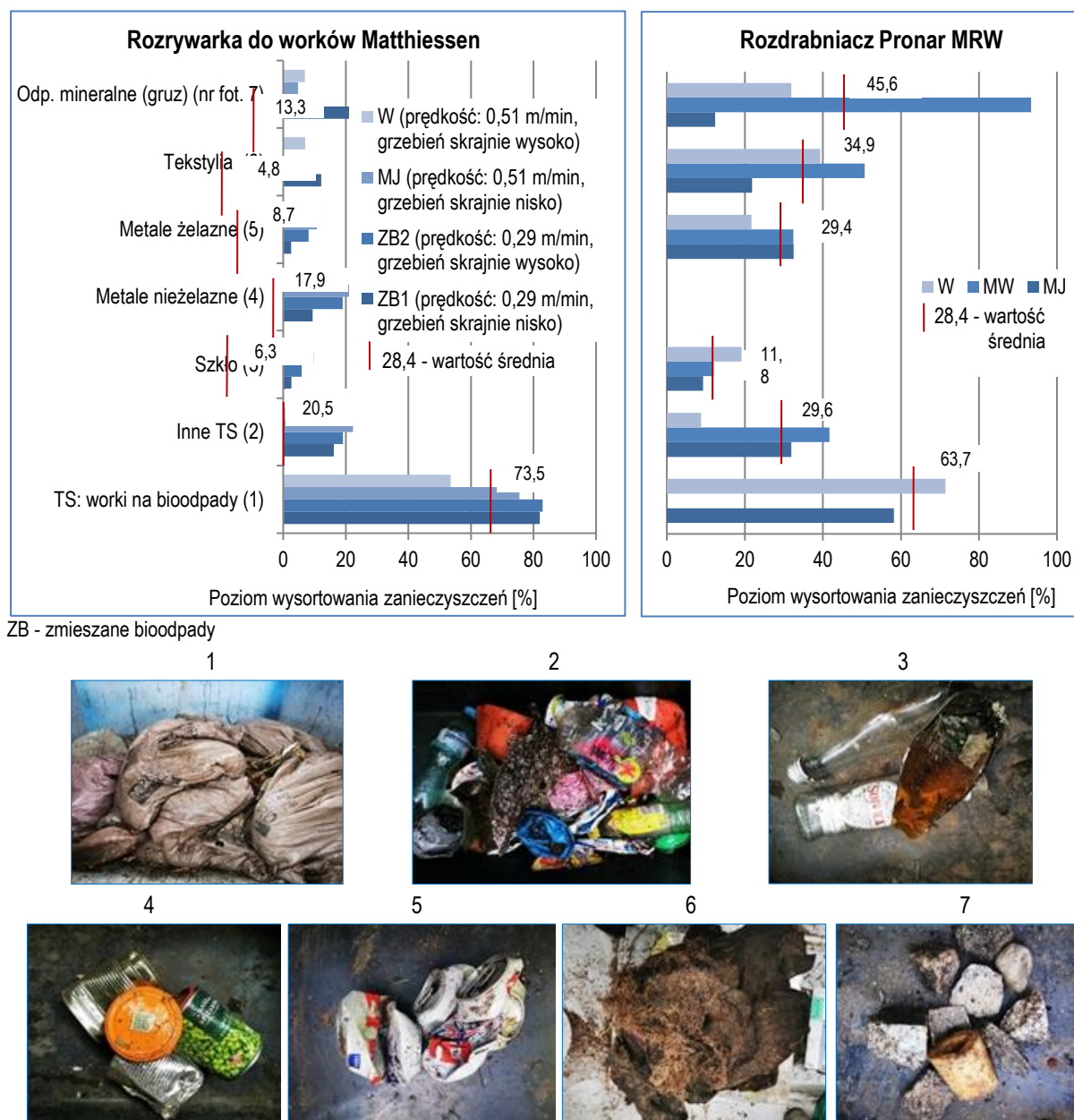
Tabela 19. Podstawowe parametry techniczne wybranych do analizy urządzeń pobrane z katalogów i zmierzone w badaniach, cena rynkowa oraz ocena możliwości usunięcia z bioodpadów worków z tworzyw sztucznych

Urządzenie Pozycja	Rozdrabniacz MRW 2.85	Bufor z funkcją rozrywania worków LIS 1.0	Przesiewacz gwiaździsty Star Select S60	Rozdrabniacz Teuton Z50	Rozdrabniacz Terminator 5000S	Rozrywarka worków Matthiessen SFIII-K4-SB
Moc [kW]	250	8	75	368	328	21,6
Rodzaj napędu	spalinowy	elektryczny	spalinowo/ elektryczny	spalinowy	spalinowy/ elektryczny	elektryczny
Wydajność katalogowa [Mg/h]	do 30	do 10	do 50	do 40	do 40	do 20
Układ roboczy	dwuwałowy	noże rozrywające	pokład gwiaździsty	jednowałowy	jednowałowy	bęben i listwa rozrywająca
Bufor załadunkowy	taca załadunkowa 3 m ³	4 m ³	7 m ³	taca załadunkowa 7 m ³	7 m ³	24 m ³
Wydajność zmierzona (średnia) [Mg/h]	6,7-31 (18,7)	7,0-10 (9,0)	9,2- 14 (12)	8,8-15 (12)	20-33 26	6,4-16 (10)
Stopień rozdrobienia	mały	mały	duży	duży	duży	mały
Możliwość usunięcia worków	wysoka	wysoka	Niska	niska	niska	wysoka
Straty masy łatwo usuwalnej, średnio [%]	3,9	2,3-4,6	2,8	1,1	3,6-4,1	2,9-3,3
Całkowite straty masy [%]	4,6	3,3-5,2	3,3	1,2	4,2-4,6	5,4-5,2
Koszt zakupu [PLN]	X	1/3X	3X	2X	3X	X

W kabinie sortowniczej po rozrywance do worków MATTHIESSEN z bioodpadów usuwano od 53,4% (prędkość taśmy 0,51 m/min, grzebień skrajnie wysoko) do 83,0% masy worków (prędkość taśmy 0,29 m/min, grzebień skrajnie wysoko), średnio 101% oraz:

- inne tworzywa sztuczne w ilości od 16,2 do 24,5%, średnio 20,5% ich zawartości we wsadzie;
- szkło: od 2,6 do 9,7%, średnio 6,3% ich zawartości w bioodpadach;
- metale: od 12,0 do 36,0%, średnio 26,6% zawartości metali w bioodpadach, w tym:
 - metale żelazne: od 9,4 do 25,3%, średnio 17,9% zawartości metali żelaznych w bioodpadach;
 - metale nieżelazne: od 2,6 do 13,4%, średnio 8,7% zawartości metali nieżelaznych w bioodpadach;
- tekstylia: od 0 do 12,2%, średnio 4,8% ich zawartości w bioodpadach.
- odpady mineralne: od 4,7 do 31,4%, średnio 28,4% ich zawartości w bioodpadach.

Większa prędkość taśmy i położenie grzebienia w pozycji „nisko” zapewniały lepsze rozdzielanie i równomierne rozmieszczenie cząstek odpadów na taśmie, i w konsekwencji bardziej efektywne sortowanie „ciał obcych” z bioodpadów.



Rys. 28. Poziomy wysortowania zanieczyszczeń w kabinie sortowniczej po rozdrabniaczu PRONAR MRW 2.85 i rozrywkarce do worków MATTHIESSEN

W kabinie sortowniczej po rozdrabniaczu PRONAR MRW 2.85 z bioodpadów zbieranych w miastach z zabudowy jednorodzinnej usuwano 58,2% masy worków na bioodpady a z bioodpadów zbieranych na terenie gmin wiejskich 71,4% oraz:

- o inne tworzywa sztuczne w ilości od 8,8% (W) do 41,7% (MW), średnio 27,5% ich zawartości we wsadzie;
- o szkło: od 9,3% (MJ) do 19,1% (W), średnio 13,6% ich zawartości w bioodpadach;
- o metale: od 21,7% (W) do 32,5% (MJ), średnio 28,9% zawartości metali w bioodpadach;
- o tekstylia: od 21,8% (MJ) do 50,7% (MW), średnio 37,3% ich zawartości w bioodpadach;
- o odpady mineralne: od 11,5% (MJ) do 80,4% (MW), średnio 39,1% ich zawartości w bioodpadach.

Zastosowanie do rozrywania worków rozdrabniacza PRONAR MRW 2.85 umożliwiło wysortowanie większej ilości szkła, tekstyliów oraz dużych kamieni i gruzu. Nieco niższy był poziom wysortowania worków na bioodpady, ze względu na ich większe rozdrobnienie. Część z nich była usuwana jako frakcja „inne tworzywa sztuczne”. Biorąc pod wagę powyższe wnioski oraz parametry tych urządzeń zestawione w tabeli 14 do budowy linii wybrano ostatecznie rozdrabniacz PRONAR MRW 2.85.

8.4.2. Koncepcja linii do wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów

Pracę linii wstępnego oczyszczania bioodpadów oceniono pod względem zawartości zanieczyszczeń w bioodpadach i sprawności usunięcia zanieczyszczeń (η). Wskaźnik sprawności usunięcia zanieczyszczeń wyrażany jest przez iloraz różnicy zawartości zanieczyszczeń w bioodpadach dostarczanych do instalacji i po ich oczyszczeniu do zawartości zanieczyszczeń w nadawie, wyrażony w procentach. Wyniki są pokazane i omówione dla produktu pośredniego, po każdym urządzeniu, aby pokazać efekt każdego etapu procesu.

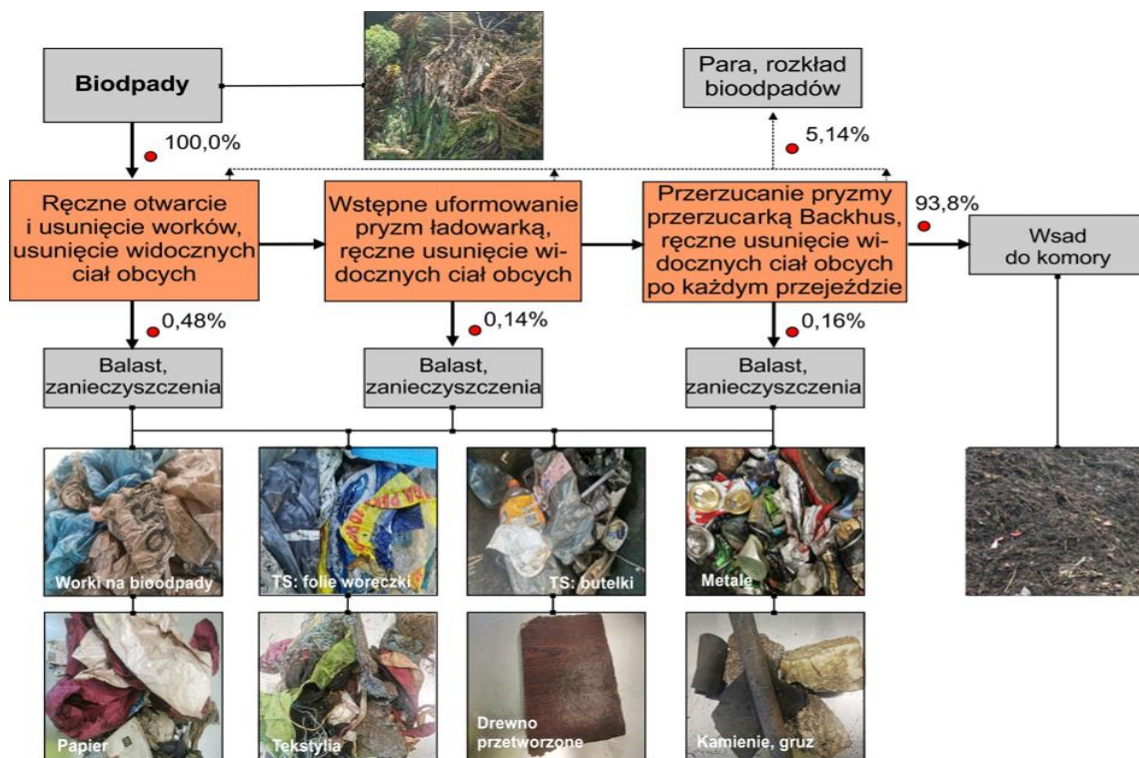
8.4.2.1 Linia technologiczna – wariant I

Masę i skład materiałowy bioodpadów przed i po kolejnych etapach procesu ich wstępnej obróbki obecnie prowadzonego w zakładzie w Marszowie przedstawiono w tabeli 20.

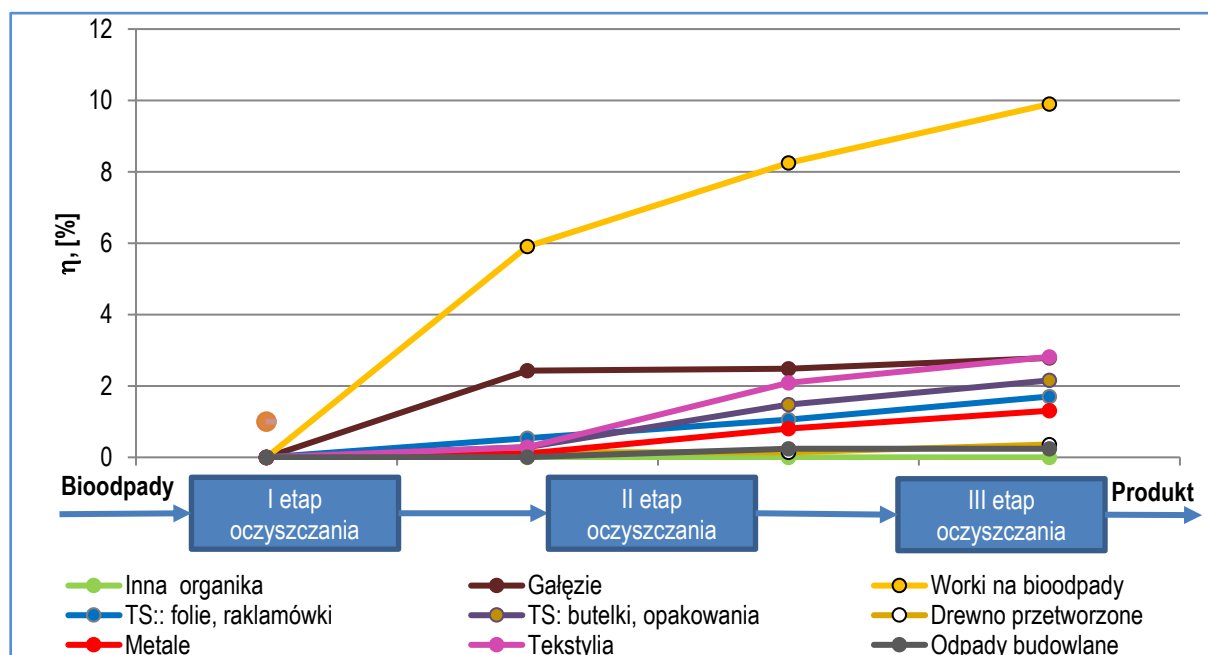
Tabela 20. *Masa i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w kolejnych etapach obecnie stosowanego procesu wstępnej obróbki bioodpadów dostarczanych do instalacji w Marszowie*

Wyszczególnienie	I etap oczyszczania	II etap oczyszczania	III etap oczyszczania	Wsad do komory
Numer próbki	P1	P2	P3	P4
Strumień bioodpadów [kg]	50940	50698	50626	50547
Skład materiałowy strumienia [% m/m]				
Bioodpady	80,3	80,7	80,8	80,9
Bioodpady pozostawione w usuniętych workach – potencjalne straty	0,19	0,11	0,07	0,00
Duże gałęzie	10,5	10,3	10,3	10,3
Tworzywa sztuczne: worki na bioodpady	1,50	1,50	1,49	1,49
Tworzywa sztuczne: folie, reklamówki	0,72	0,72	0,71	0,71
tworzywa sztuczne: butelki i inne opakowania	0,53	0,53	0,52	0,52
Papier	0,36	0,36	0,36	0,35
Drewno przetworzone	0,40	0,40	0,40	0,40
Szkło	0,42	0,42	0,42	0,42
Metale	0,23	0,23	0,23	0,23
Tekstylia	0,64	0,64	0,63	0,63
Frakcja <10 mm	2,6	2,6	2,6	2,6
Razem, w tym zanieczyszczenia	100,0	100,0	100,0	100,0
	6,5	6,4	6,2	6,2

Na rysunku 29 przedstawiono bilans masowy procesu oczyszczania – wariant I, a na rysunku 30 sprawności usunięcia zanieczyszczeń (η) z bioodpadów, w tym procesie.



Rys. 29. Bilans masowy obecnie stosowanego procesu oczyszczania bioodpadów w Marszowie



Rys. 30. Sprawność usuwania zanieczyszczeń (η) składników materiałowych w kolejnych etapach obecnie stosowanego procesu wstępnej obróbki bioodpadów

Bioodpady objęte badaniem zawierały średnio 6,5% m/m zanieczyszczeń (bez frakcji <10 mm), po usunięciu z worków pozostałości bioodpadów. Worki na bioodpady i ich fragmenty oraz pozostałe tworzywa sztuczne (łącznie) stanowiły główne zanieczyszczenia bioodpadów (kolejno około 24 i 25% masy wszystkich ciał obcych). W dużych ilościach w bioodpadach występowały również tekstylia. Ich udział w zanieczyszczeniach stanowił 7,1% masy wszystkich ciał obcych. W procesie oczyszczania bioodpadów usunięto tylko 2,8% gałęzi, ale praktycznie wszystkie dużych rozmiarów, grube gałęzie. Spośród zanieczyszczeń z bioodpadów usunięto (rys. 30):

- 9,9% worków na bioodpady (bez zawartych w nich łatwo usuwalnych bioodpadów); w workach usunięto około 0,23% bioodpadów łatwo usuwalnych;
- 1,7% tworzyw sztucznych: folie, reklamówki;
- 2,2% tworzyw sztucznych: butelki i inne opakowania;
- praktycznie nie usunięto szkła i tylko 0,4% drewna przetworzonego;
- 1,3% metali;
- 2,8% tekstyliów.

Blisko 50% zanieczyszczeń usunięto w I etapie oczyszczania, 32% w II etapie i 20% w III etapie oczyszczania.

8.4.2.2 Linia technologiczna – wariant II

Masę produktów pośrednich otrzymanych podczas procesu przetwarzania bioodpadów dostarczanych do Marszowa na linii wariant II oraz ich skład materiałowy przedstawiono w tabeli 21. Na rysunku 31 przedstawiono poziomy wysortowania składników materiałowych z bioodpadów w kolejnych etapach procesu ich oczyszczania (wartości średnie z 14 serii pomiarowych).

Na rysunku 32 przedstawiono sprawności usunięcia zanieczyszczeń (η) z bioodpadów w kolejnych etapach procesu ich wstępnej obróbki (wartości średnie uzyskane w 14 seriach pomiarowych), a na rysunku 33 dla bioodpadów zbieranych selektywnie w workach na terenie wsi – 3 serie i w miastach w dzielnicach z zabudową jednorodzinną - 6 serii oraz dla bioodpadów zbieranych w pojemnikach w miastach, w dzielnicach z zabudową wielorodzinną - 5 serii.

W pierwszym urządzeniu linii, w rozdrabniaczu dwuwałowym, otwiera się plastikowe worki zawierające bioodpady oraz rozdrabnia się zawarte w bioodpadach grube części. Nie usuwa się w nim żadnych niepożądanych materiałów. W czasie tej operacji masa strumienia bioodpadów jednak malała w wyniku odparowywania zawartej w nich wody o $0,62 \pm 0,20\%$ w przypadku bioodpadów z zabudowy wiejskiej, o $0,70 \pm 0,26\%$ przypadku bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach i o $0,58 \pm 0,21\%$ w przypadku bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach. Średnia dla wszystkich próbek $0,61 \pm 0,22\%$.

Sprawność usuwania metali ze strumienia bioodpadów na SFM wynosiła $12,9 \pm 19,5\%$, w tym w przypadku bioodpadów z gmin wiejskich $14,9 \pm 14,0\%$, z zabudowy jednorodzinnej w miastach $19,2 \pm 19,5\%$ i zaledwie $5,2 \pm 5,7\%$ z zabudowy wielorodzinnej w miastach.

W kolejnym urządzeniu czterostanowiskowej kabinie sortowniczej z bioodpadów ręcznie wydziela się zanieczyszczenia: tworzywa sztuczne (worki na bioodpady i inne tworzywa), szkło, tekstylia oraz składniki mineralne (duże kamienie, gruz). Ze względu na małą sprawność usuwania metali przez SFM na stanowisku wysortowywania szkła wybierano również metale.

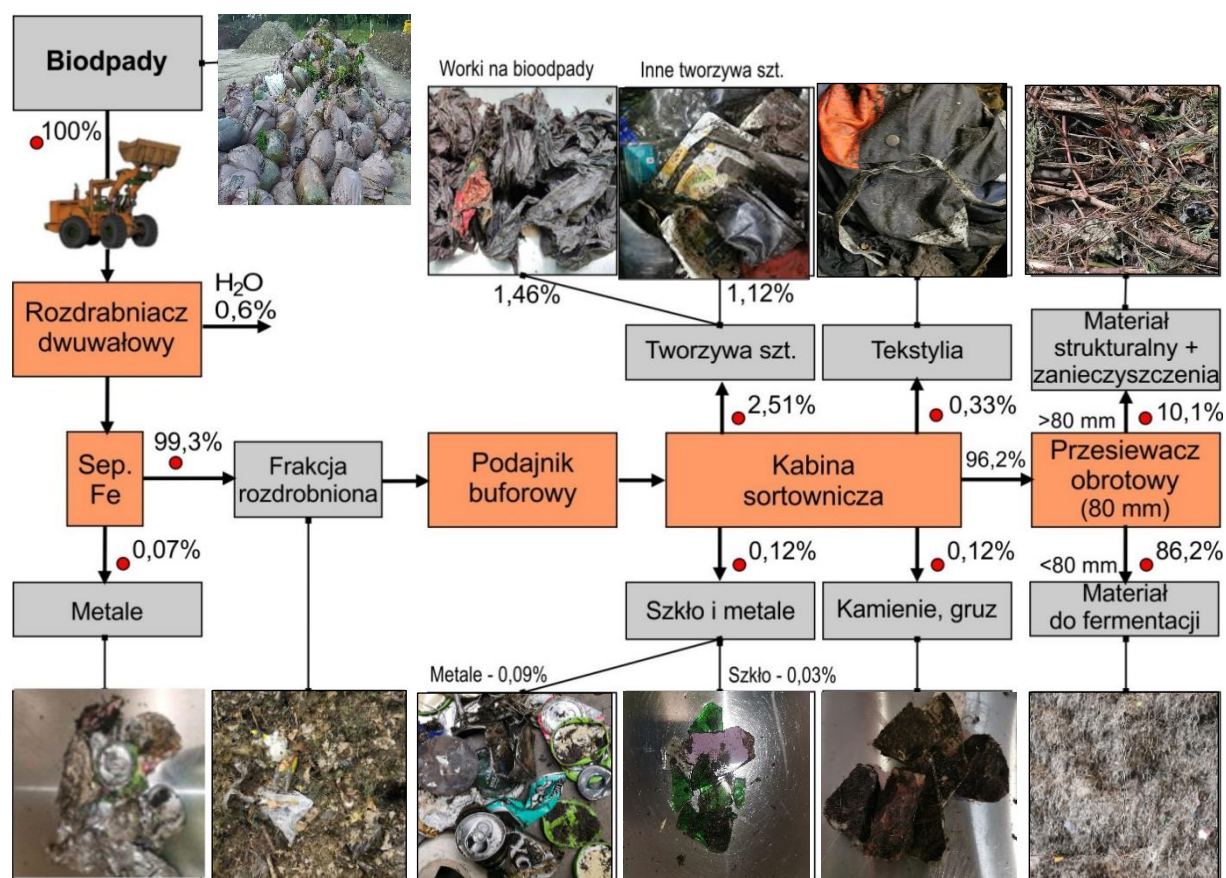
Tabela 21. *Masa i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w kolejnych etapach procesu wstępnej obróbki bioodpadów dostarczanych do instalacji w Marszowie z zabudowy wiejskiej i jednorodzinnej w miastach, zbieranych w workach oraz z zabudowy wielorodzinnej w miasta zbieranych w pojemnikach – wariant II*

Strumień odpadów	Masa frakcji [kg]	Udział w masie strumienia, [%]							
		Gałęzie	Inna organika	Worki na bioodpady	Inne tworzywa szt.	Szkło	Metale	Tekstylia	Kamienie, gruz
Bioodpady z zabudowy wiejskiej zbierane w workach									
Bioodpady - nadawa	1002±153	2,2±0,3	81,2±3,6	3,2±1,3	1,1±0,5	0,1±0,1	0,5±0,5	0,3±0,2	11,5±3,6
Bioodpady po Rozdrabniaczu	995±155	2,2±0,3	81,0±3,6	3,2±1,3	1,1±0,5	0,1±0,1	0,5±0,5	0,3±0,2	11,6±3,6
Bioodpady po EM	994±152	2,2±0,3	81,1±3,6	3,2±1,3	1,1±0,5	0,1±0,1	0,4±0,4	0,3±0,2	11,6±3,6
Bioodpady po kabinie	967±150	2,3±0,3	83,4±4,1	0,9±1,1	1,0±0,5	0,1±0,1	0,4±0,4	0,2±0,1	11,8±3,6
Fr. <80 mm po sicie	885±125	0,4±0,3	84,9±4,8	0,4±0,6	1,0±0,4	0,1±0,1	0,4±0,5	0,2±0,1	12,8±3,9
Bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach, zbierane w workach									
Bioodpady - nadawa	1112±199	3,2±2,5	79,5±3,1	4,0±1,9	0,9±0,6	0,1±0,1	0,5±0,3	0,5±0,5	11,2±2,1
Bioodpady po Rozdrabniaczu	1105±199	3,2±2,5	79,4±3,0	4,1±1,9	0,9±0,6	0,1±0,1	0,5±0,3	0,5±0,5	11,3±2,2
Bioodpady po EM	1104±200	3,3±2,5	79,4±3,1	4,1±1,9	0,9±0,6	0,1±0,1	0,4±0,4	0,5±0,5	11,2±2,2
Bioodpady po Kabinie	1070±196	3,4±2,6	82,1±3,4	1,6±2,2	0,6±0,5	0,1±0,1	0,3±0,4	0,4±0,5	11,6±2,2
Fr. <80 mm po sicie	946±127	1,7±3,1	84,2±3,1	0,6±0,7	0,5±0,5	0,1±0,1	0,1±0,2	0,2±0,1	12,7±2,0
Bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miasta zbierane w pojemnikach									
Bioodpady - nadawa	1274±289	3,8±1,5	78,9±4,3	0,0	6,0±2,3	0,4±0,1	0,6±0,4	1,3±1,1	9,1±2,7
Bioodpady po Rozdrabniaczu	1266±285	3,8±1,5	78,7±3,8	0,0	6,0±2,5	0,4±0,1	0,6±0,4	1,3±1,1	9,2±2,7
Bioodpady po EM	1266±285	3,8±1,5	78,8±3,8	0,0	6,0±2,5	0,4±0,1	0,6±0,4	1,3±1,1	9,2±2,7
Bioodpady po Kabinie	1223±279	3,9±1,6	81,6±3,8	0,0	3,7±2,0	0,4±0,1	0,4±0,3	0,6±0,4	9,4±2,7
Fr. <80 mm po sicie	1096±261	0,9±0,3	85,5±3,1	0,0	2,3±2,2	0,4±0,1	0,3±0,2	0,3±0,4	10,3±2,9

Średnia sprawność usuwania zanieczyszczeń z bioodpadów w kabinie wynosiła:

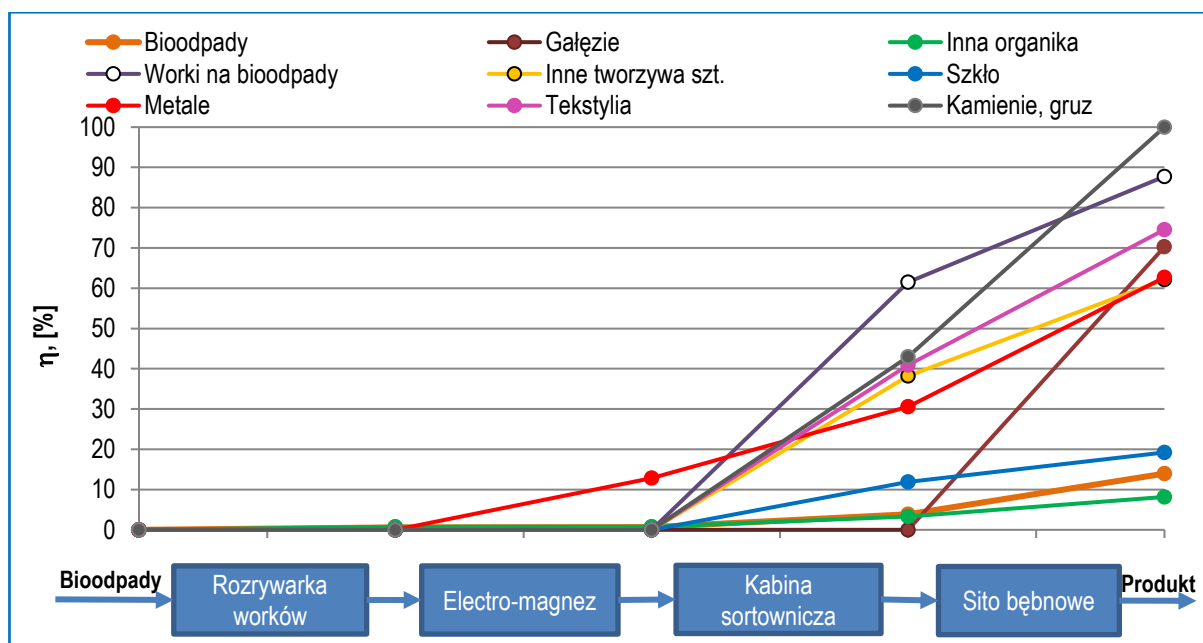
- o worki na bioodpady: 71,4±21,4% - bioodpady z gmin wiejskich, 58,2±29,5% - bioodpady z zabudowy jednorodzinnej na terenie miast;
- o inne tworzywa: 8,7±6,9% - bioodpady z gmin wiejskich, 31,9±24,9% - bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach i 41,7±10,8% - bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach;
- o szkło: 19,1±55,4% - bioodpady z gmin wiejskich, 9,3±48,4% - bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach i 11,9±14,0% - bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach;

- o metale: $6,8 \pm 24,2\%$ - bioodpady z gmin wiejskich, $13,3 \pm 9,7\%$ - bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach i $26,2 \pm 11,2\%$ - bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach;
- o tekstylia: $39,3 \pm 18,0\%$ - bioodpady z gmin wiejskich, $21,8 \pm 23,5\%$ - bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach i aż $50,7 \pm 34,6\%$ - bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach;
- o kamienie gruz: $67,3 \pm 17,3\%$ - bioodpady z gmin wiejskich, $37,0 \pm 13,8\%$ - bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach i $38,6 \pm 30,4\%$ - bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach.



Rys. 31. *Bilans masowy przetwarzania bioodpadów na linii do ich mechanicznego oczyszczania – wariant II (wartości średnie dla 14 serii pomiarowych przetwarzania bioodpadów)*

Średnia masa materiałów wysortowanych z bioodpadów w kabinie stanowiła $3,2 \pm 0,7\%$ masy badanych bioodpadów, w tym: $2,7 \pm 0,6\%$ - próbek bioodpadów z gmin wiejskich, $3,1 \pm 0,5\%$ - bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach i $3,4 \pm 1,0\%$ - próbek bioodpadów zbieranych w pojemnikach w dzielnicach z zabudową wielorodzinną w miastach.

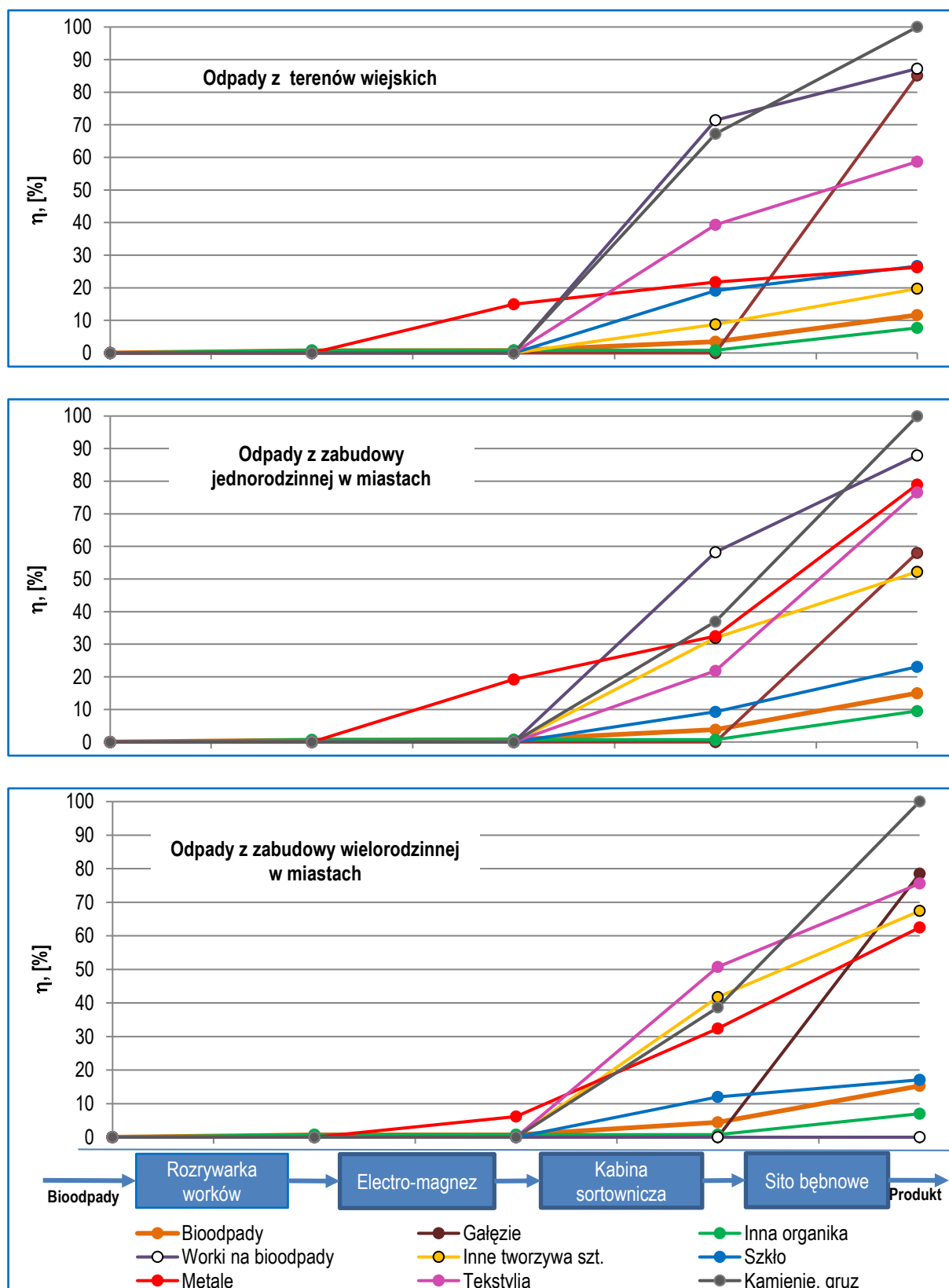


Rys. 32. Sprawność usuwania składników materiałowych (η) w kolejnych etapach procesu wstępnej obróbki bioodpadów (wartości średnie z 14 serii pomiarów)

Łącznie w kabinie z bioodpadów wysortowano średnio $53,2 \pm 18,9\%$ masy materiałów usuwanych na linii z badanych bioodpadów, w tym: $54,1 \pm 13,1\%$ - masy bioodpadów z gmin wiejskich, $61,0 \pm 24,5\%$ bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach i $43,3 \pm 10,3\%$ - próbek bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miasta zbierane w pojemnikach.

Ostatnie urządzenie w linii, sito bębnowe o oczkach 80 mm, jest dość skuteczne w usuwaniu gałęzi, innych tworzyw sztucznych i tekstyliów z strumienia bioodpadów po kabinie sortowniczej. Na sicie usuwa się:

- gałęzie: średnio $70,3 \pm 20,1\%$ masy gałęzi usuwanych na linii z badanych bioodpadów, w tym: $85,2 \pm 14,1\%$ z bioodpadów z gmin wiejskich, $58,1 \pm 28,0\%$ - z bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach i $78,5 \pm 9,7\%$ - z bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach;
- tworzyw sztucznych (worki + inne tworzywa): $50,2 \pm 25,1\%$ - średnio z badanych bioodpadów, w tym: $6,8 \pm 3,5\%$ z bioodpadów z gmin wiejskich, $50,0 \pm 37,8\%$ - z bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach i $25,7 \pm 15,4\%$ - z bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach; około 60% tworzyw usuniętych na sicie z bioodpadów zbieranych na terenie wsi i z zabudowy jednorodzinnej w miastach stanowiły fragmenty worków na bioodpady;
- tekstylia: $33,6 \pm 24,9\%$ - średnio z badanych bioodpadów, w tym: $19,4 \pm 14,4\%$ - bioodpady z gmin wiejskich, $54,8 \pm 34,3\%$ - bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach i $24,9 \pm 20,4\%$ - bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach.



Rys. 33. Sprawność usuwania zanieczyszczeń (η) składników materiałowych w kolejnych etapach procesu wstępnej obróbki bioodpadów z terenów wiejskich (wartości średnie - 3 serie), z zabudowy jednorodzinnej w miastach (6 serii), odpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach (5 serii)

W frakcji nadsitowej usuwa się też $57,0 \pm 24,1\%$ zanieczyszczeń mineralnych (kamienie i gruz), $32,1 \pm 25,7\%$ metali i $7,3 \pm 7,5\%$ szkła. Utrata masy odpadów ulegających biodegradacji, poza gałęziami, nie była znaczna: $13,9 \pm 3,3\%$ średnio z badanych bioodpadów w tym: $11,6 \pm 3,2\%$ z bioodpadów z gmin wiejskich, $15,0 \pm 4,4\%$ - z bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach i $15,3 \pm 0,4\%$ - z bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach.

Łączna utrata masy próbek na sicie wynosiła średnio $9,8 \pm 3,6\%$, w tym: $8,0 \pm 3,0\%$ z bioodpadów z gmin wiejskich, $10,6 \pm 5,2\%$ - z bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach i $10,1 \pm 1,0\%$ - z bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach.

Przetwarzanie bioodpadów na zaprojektowanej linii – wariant II pozwalało usunąć $72,1 \pm 15,0\%$ zanieczyszczeń (wartość średnia z 14 serii badań, bez kamieni i gruzu) zmniejszając ich udział w bioodpadach od $6,6 \pm 1,3\%$ do $2,2 \pm 1,8\%$. W przypadku bioodpadów z terenów wiejskich usuwano $65,2 \pm 13,5\%$, zmniejszając ich udział w bioodpadach od $5,1 \pm 0,8\%$ do $2,0 \pm 0,8\%$, z zabudowy jednorodzinnej w miastach usuwano $79,5 \pm 14,4\%$, zmniejszając ich udział w bioodpadach od $6,0 \pm 3,0\%$ do $1,4 \pm 1,0\%$, a w przypadku bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach usuwano $67,3 \pm 14,5\%$, zmniejszając ich udział w bioodpadach od $8,3 \pm 2,9\%$ do $3,3 \pm 2,5\%$.

Produkt końcowy w przypadku bioodpadów z terenów wiejskich i z zabudowy jednorodzinnej w miastach praktycznie nie zawierał szkła ($<0,1\%$ masy bioodpadów). Udział fragmentów worków na bioodpady wynosił średnio w bioodpadach z terenów wiejskich $0,37\%$ a z zabudowy jednorodzinnej w miastach $0,45\%$. Średnie udziały innych tworzyw sztucznych w bioodpadach z terenów wiejskich, z zabudowy jednorodzinnej i zabudowy wielorodzinnej w miastach wyniosły kolejno $1,0$, $0,5$ i $2,3\%$, tekstyliów $0,4$, $0,1$ i $0,3\%$, a metali wynosiły $0,2$, $0,2$ i $0,3\%$.

Opracowania z Niemiec sugerują, że jeśli zebrane bioodpady (odpady kuchenne i odpady ogrodowe z gospodarstw domowych) zawierają 3% zanieczyszczeń, to przesiany i oczyszczony kompost będzie zawierał ich około $0,45\%$ (wagowo) (wydajność 95% wagowo) (Bundesgütegemeinschaft Kompost, 2016). Oznacza to, że nawet w przypadku bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej, które po oczyszczeniu zawierają średnio $3,3\%$ ciał obcych można będzie wytworzyć produkt końcowy o jakości zbliżonej do wymaganej w rozporządzeniu w sprawie nawozów: udział zanieczyszczeń w produkcie końcowym - $0,5\%$ wagowo (Rozporządzenie UE, 2019).

8.4.2.3 Linia technologiczna – wariant III

Masy wsadu, produktów pośrednich i podczyszczonych bioodpadów w procesie przetwarzania bioodpadów z różnych struktur zabudowy na linii technologicznej wariant III oraz ich skład materiałowy przedstawiono w tabeli 22.

Bilans masowy przetwarzania bioodpadów na linii do mechanicznego ich oczyszczania – wariant III (wartości średnie dla 6 serii pomiarowych przetwarzania bioodpadów) przedstawiono na rysunku 34.

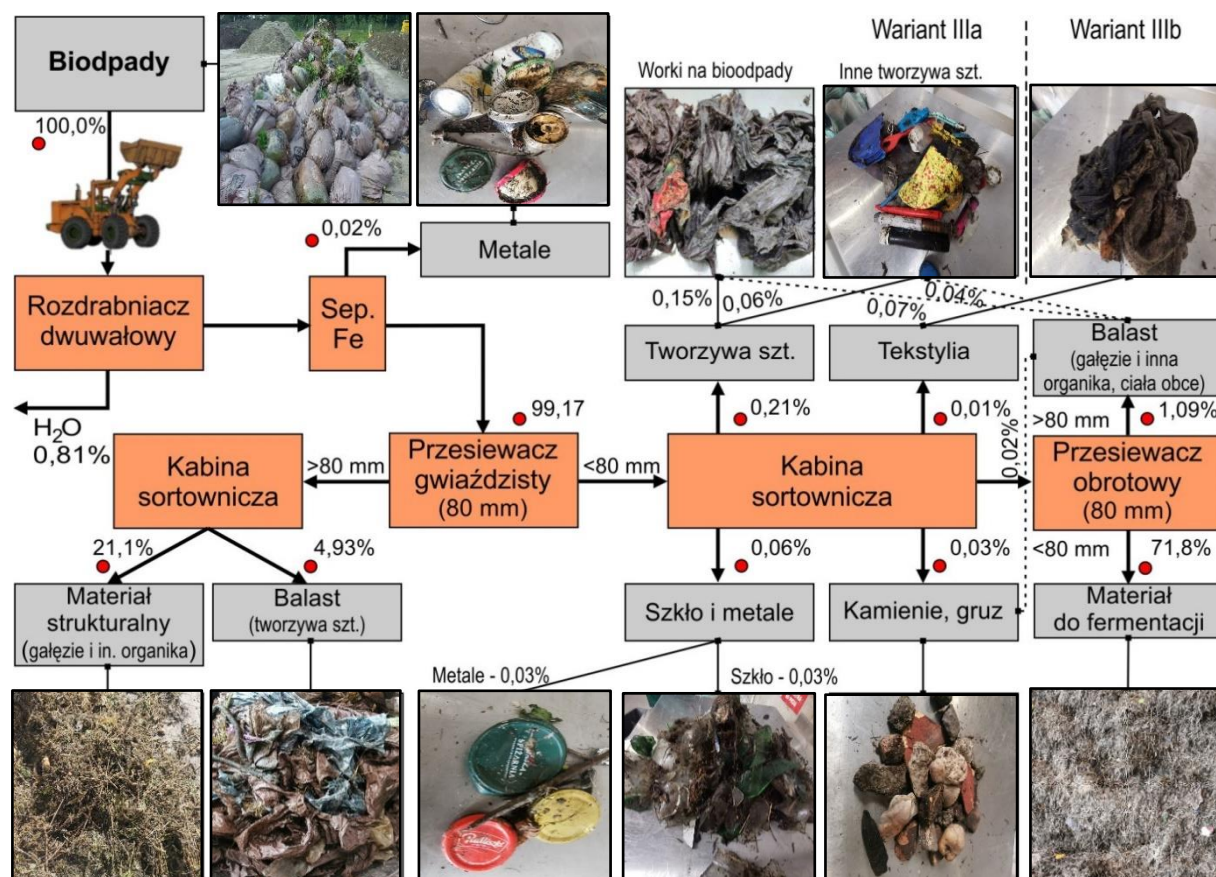
Sprawności usunięcia zanieczyszczeń (η) z bioodpadów w kolejnych etapach procesu ich wstępnej obróbki (wartości średnie uzyskane w 6 seriach pomiarowych) przedstawiono na

rysunku 35, a z bioodpadów zbieranych selektywnie w workach na terenie wsi i w miastach, w dzielnicach z zabudową jednorodzinną oraz z bioodpadów zbieranych w pojemnikach w dzielnicach miast z zabudową wielorodzinną, na rysunku 36 (wartości średnie z 2 serii badań).

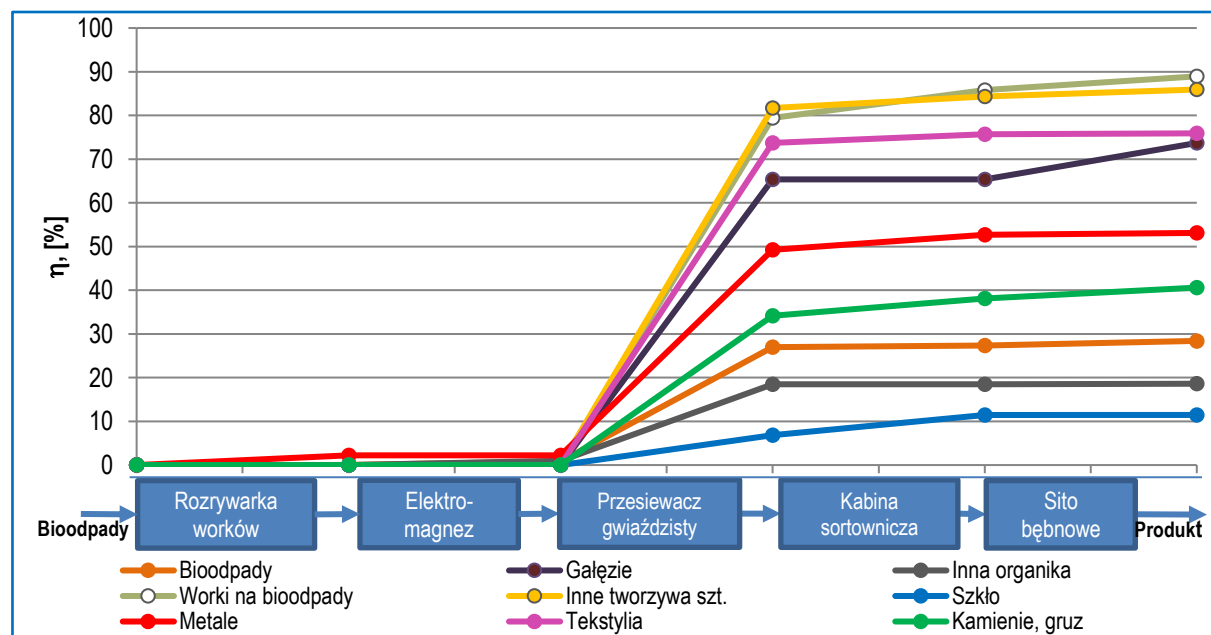
Tabela 22. *Masa i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w kolejnych etapach procesu wstępnej obróbki bioodpadów (wariant III), dostarczanych do instalacji w Marszowie z zabudowy wiejskiej i jednorodzinnej w miastach, zbieranych w workach oraz z zabudowy wielorodzinnej w miasta zbieranych w pojemnikach*

Strumień odpadów	Masa frakcji [kg]	Udział w masie strumienia, [%]							
		Gałęzie	Inna organika	Worki na bio-odpady	Inne tworzywa szt.	Szkło	Metale	Tekstylia	Kamienie, gruz
Bioodpady z zabudowy wiejskiej zbierane w workach									
Bioodpady - nadawa	998	11,1	83,8	3,15	0,97	0,15	0,20	0,18	0,50
Bioodpady po rozdrabniaczu i SFM	989	11,2	83,7	3,18	0,98	0,15	0,19	0,18	0,51
Frakcja >80 mm po przesiewaczu gwiaździstym	253	28,2	57,2	10,3	3,23	0,16	0,47	0,20	0,22
Frakcja <80 mm po przesiewaczu gwiaździstym	736	5,29	92,77	0,73	0,20	0,14	0,09	0,17	0,61
Bioodpady po kabinie	734	5,31	93,03	0,50	0,19	0,14	0,08	0,17	0,60
Fr. <80 mm po sicie obrotowym	722	4,07	94,45	0,33	0,18	0,14	0,08	0,17	0,58
Bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach, zbierane w workach									
Bioodpady – nadawa	965	11,3	81,5	3,90	0,86	0,17	0,60	0,71	0,97
Bioodpady po rozdrabniaczu i SFM	957	11,4	81,4	3,93	0,86	0,17	0,59	0,72	0,98
Frakcja >80 mm po przesiewaczu gwiaździstym	258	28,0	56,3	11,2	1,55	0,04	0,58	1,32	0,99
Frakcja <80 mm po przesiewaczu gwiaździstym	699	5,19	90,7	1,28	0,61	0,21	0,60	0,49	0,97
Bioodpady po kabinie	696	5,22	91,1	0,89	0,60	0,20	0,57	0,48	0,90
Fr. <80 mm po sicie obrotowym	685	4,04	92,5	0,77	0,61	0,20	0,58	0,49	0,86
Bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miasta zbierane w pojemnikach									
Bioodpady – nadawa	1058	8,99	81,0	0,00	5,44	1,47	1,36	0,96	0,73
Bioodpady po rozdrabniaczu i SFM	1050	9,07	80,9	0,00	5,49	1,48	1,35	0,97	0,74
Frakcja >80 mm po przesiewaczu gwiaździstym	280	22,7	52,3	0,00	17,0	0,30	2,61	3,22	1,81
Frakcja <80 mm po przesiewaczu gwiaździstym	770	4,32	91,1	0,00	1,08	2,12	0,87	0,05	0,43
Bioodpady po kabinie	766	4,34	91,6	0,00	0,84	2,03	0,81	0,01	0,40
Fr. <80 mm po sicie obrotowym	756	3,37	92,7	0,00	0,70	2,05	0,81	0,01	0,41

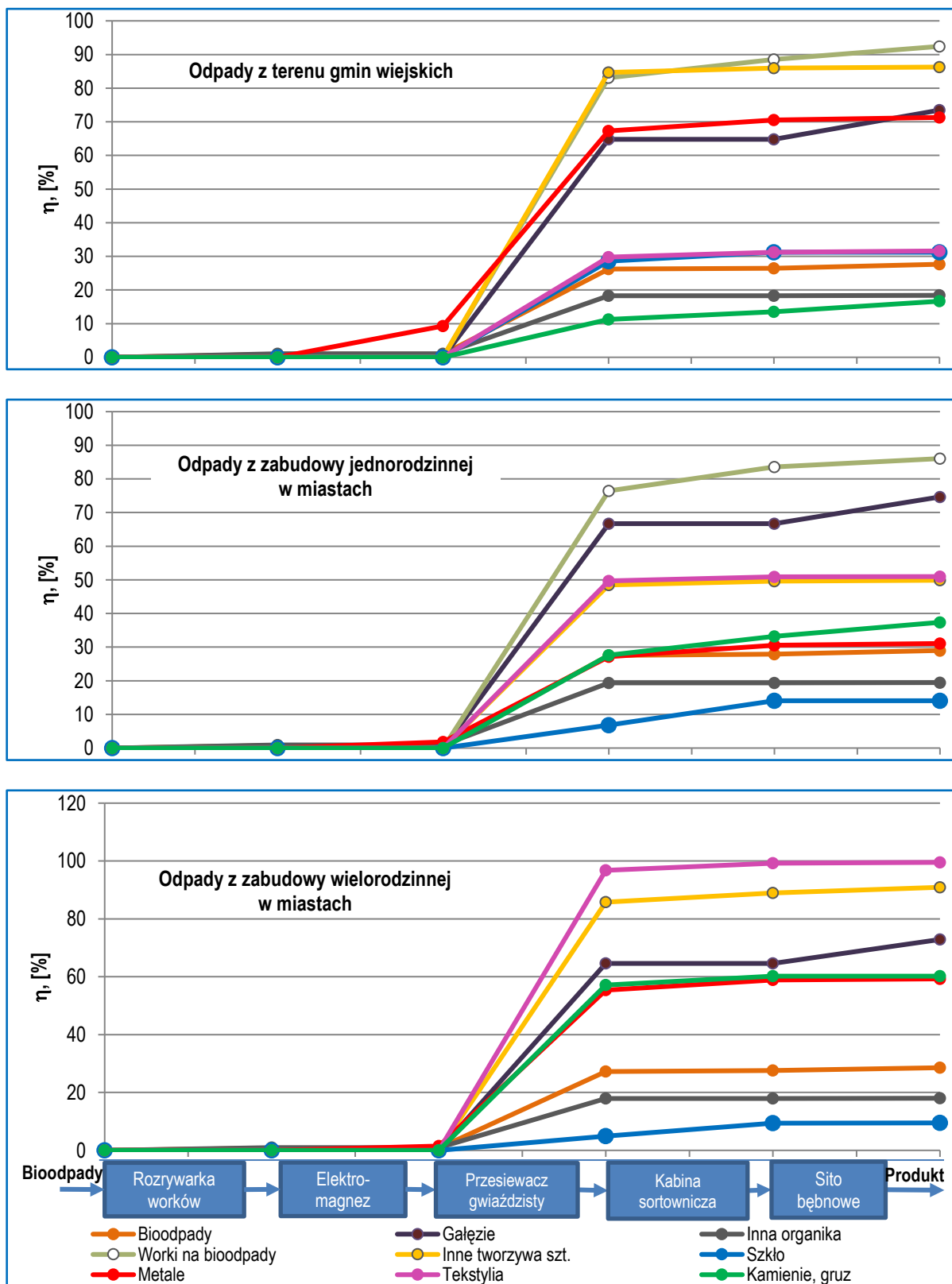
W pierwszym urządzeniu linii, na separatorze ferromagnetycznym ze strumienia bioodpadów wydzielano $2,3 \pm 3,4\%$ zawartych w nich metali, w tym z bioodpadów z gmin wiejskich - $9,3\%$, z zabudowy jednorodzinnej w miastach zaledwie $1,8\%$ i tylko $1,5\%$ z bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach. Spadek masy bioodpadów wywołany usunięciem metali żelaznych wynosił zaledwie $0,02\%$ m/m.



Rys. 34. Bilans masowy przetwarzania bioodpadów na linii do mechanicznego ich oczyszczania – wariant III (wartości średnie dla 6 serii pomiarowych przetwarzania bioodpadów)



Rys. 35. Sprawność usuwania składników materiałowych (η) w kolejnych etapach procesu wstępnej obróbki bioodpadów (wartości średnie z 6 serii pomiarów)



Rys. 36. Średnia sprawność usuwania składników materiałowych (η) w kolejnych etapach procesu wstępnej obróbki bioodpadów z terenów wiejskich (2 serie) oraz z zabudowy jednorodzinnej (2 serie) i wielorodzinnej w miastach (2 serie)

W czasie tych operacji (rozerwanie i opróżnienie worków oraz usunięcie metali) masa strumienia bioodpadów malała o 0,83%. Było to wywołane odparowywaniem zawartej w nich wody. Odparowanie wody spowodowało spadek masy bioodpadów średnio o $0,81 \pm 0,12\%$ w przypadku bioodpadów z zabudowy wiejskiej o 0,88% w przypadku bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach o 0,75% w przypadku bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach 0,80%.

W kolejnym urządzeniu przesiewaczu gwiaździstym strumień bioodpadów rozdzielany jest na frakcję >80 mm i <80 mm. W frakcji >80 mm z strumienia bioodpadów usuwano:

- gałęzie: średnio $65,4 \pm 8,8\%$, w tym 64,8% z bioodpadów z gmin wiejskich, 66,7% - z zabudowy jednorodzinnej w miastach i 64,6% - bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach;
- inną organikę: $18,5 \pm 3,4\%$, w tym z bioodpadów z gmin wiejskich – 17,3%, z bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach - 18,5% i z bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach - 16,9%;
- worki na bioodpady: średnio $79,5 \pm 21,4\%$, w tym z bioodpadów z gmin wiejskich – 83,1% i z bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach - 76,4%;
- inne tworzywa: $81,7 \pm 20,4\%$ w tym z bioodpadów z gmin wiejskich – 84,7%, z bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach - 48,5% i z bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach - 85,8%;
- szkło: $6,8 \pm 7,9\%$ w tym z bioodpadów z gmin wiejskich – 28,6%, z bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach - 6,7% i z bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach zaledwie 4,9%;
- metale: $46,9 \pm 18,1\%$, w tym z bioodpadów z gmin wiejskich – 67,3%, z bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach - 25,3% i z bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach - 53,9%;
- tekstylia: $73,7 \pm 36,9\%$, w tym z bioodpadów z gmin wiejskich – 29,7%, z bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach - 49,7% i z bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach - 96,8%.
- kamienie gruz: $34,2 \pm 20,2\%$, w tym z bioodpadów z gmin wiejskich – 11,2%, z bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach - 27,6% i z bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach - 57,1%.

Na przesiewaczu gwiaździstym we frakcji >80 mm usunięto z bioodpadów najwięcej zanieczyszczeń. Średnia masa usuniętych ciał obcych stanowiła $70,0 \pm 9,4\%$ ich łącznej masy w bioodpadach, w tym: 78,4% - masy zanieczyszczeń bioodpadów z gmin wiejskich, 62,8% - masy bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach i 68,9% - masy bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miasta zbierane w pojemnikach.

W czterostanowiskowej kabinie sortowniczej z bioodpadów ręcznie wydziela się zanieczyszczenia: tworzywa sztuczne (worki na bioodpady i inne tworzywa), szkło, tekstylia oraz składniki mineralne (duże kamienie, gruz). Ze względu na małą sprawność usuwania metali przez EFM na stanowisku wysortowywania szkła wybierano również metale.

W kabinie z bioodpadów usuwano średnio $4,3 \pm 1,4\%$, zanieczyszczeń, w tym najwięcej:

- worków na bioodpady: średnio $6,4 \pm 3,7\%$ (z bioodpadów z gmin wiejskich – $5,4\%$, a z bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach – $7,1\%$);
- szkła: $4,6 \pm 3,9\%$ ($2,6\%$ – bioodpady z gmin wiejskich, $7,2\%$ – bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach i $4,5\%$ – bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach);
- metale: $3,4 \pm 1,2\%$ (bioodpady z gmin wiejskich – $3,3\%$, bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach – $3,4\%$ i bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach – $3,5\%$);
- kamienie gruz: $4,0 \pm 2,9\%$ (bioodpady z gmin wiejskich – $5,6\%$, bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach $5,8\%$ i bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach $3,1\%$).

Średnia masa materiałów wysortowanych z bioodpadów w kabinie stanowiła $0,31 \pm 0,13\%$ masy badanych bioodpadów, w tym: $0,21\%$ – masy próbek bioodpadów z gmin wiejskich, $0,38\%$ – bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach i $0,33\%$ – próbek bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach zbierane w pojemnikach.

W odsiewie z sita obrotowego (frakcja >80 mm) z bioodpadów usuwano średnio tylko $2,8 \pm 1,1\%$, zanieczyszczeń, w tym najwięcej:

- fragmenty worków na bioodpady: $3,1 \pm 1,9\%$ (bioodpady z gmin wiejskich – $3,9\%$ i bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach – $2,5\%$);
- kamienie gruz: $2,5 \pm 3,3\%$ (bioodpady z gmin wiejskich – $3,1\%$ i bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach $4,2\%$);
- inne tworzywa: $1,6 \pm 1,3\%$ (bioodpady z gmin wiejskich – $0,3\%$, bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach – $0,2\%$ i bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach – $1,9\%$).

W odsiewie usunięto też dużo gałęzi: średnio $8,3 \pm 2,3\%$ ($8,7\%$ – bioodpady z gmin wiejskich, $7,9\%$ – bioodpady z zabudowy jednorodzinnej w miastach i $8,3\%$ – bioodpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach). Utrata masy odpadów ulegających biodegradacji, poza gałęziami, była nieznaczna: średnio $0,10 \pm 0,03\%$.

W frakcji nadsitowej usuwa się też małe ilości metali ($0,46 \pm 0,38\%$), szkła ($0,05 \pm 0,06\%$) i tekstyliów ($0,21 \pm 0,12\%$).

Przetwarzanie bioodpadów na zaprojektowanej linii – wariant III pozwalało usunąć $76,7 \pm 10,1\%$ zanieczyszczeń (wartość średnia z 6 serii badań, bez kamieni i gruzu) zmniejszając ich udział w bioodpadach od $6,7 \pm 3,5\%$ do $2,4 \pm 1,8\%$. W przypadku bioodpadów z terenów wiejskich usuwano $85,8\%$, zmniejszając ich udział w bioodpadach od $4,7$ do $0,9\%$, z bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach usuwano $69,9\%$, zmniejszając ich udział w bioodpadach od $6,2$ do $2,6\%$, a w przypadku bioodpadów z zabudowy wielorodzinnej w miastach usuwano $74,3\%$, zmniejszając ich udział w bioodpadach od $9,2$ do $3,6\%$.

Produkty końcowe w przypadku bioodpadów z zabudowy jednorodzinnej w miastach oraz terenów wiejskich zawierały szkło w ilości $<0,2\%$ masy bioodpadów. Udział fragmentów worków na bioodpady wynosił średnio w bioodpadach z terenów wiejskich wynosił $0,33\%$, a z zabudowy jednorodzinnej w miastach $0,77\%$. Średnie udziały innych tworzyw sztucznych w bioodpadach z terenów wiejskich oraz z zabudowy jednorodzinnej i zabudowy wielorodzinnej w miastach wyniosły kolejno: $0,18$, $0,61$ i $0,70\%$, tekstyliów: $0,17$, $0,49$ i $0,01\%$, a metali: $0,08$, $0,58$ i $0,81\%$.

8.4.3. Ustalenie niezbędnego poziomu usunięcia zanieczyszczeń z bioodpadów w procesie mechanicznego ich oczyszczania oraz wpływu tych operacji na właściwości bioodpadów i jakość wytwarzanego kompostu

Bilanse masowe kompostowania bioodpadów podczyszczanych metodą obecnie stosowaną (wariant I) oraz w dwóch nowych, proponowanych liniach ich oczyszczania (wariant II i III – wartości średnie dla 3 serii pomiarowych) przedstawiono na rysunku 37.

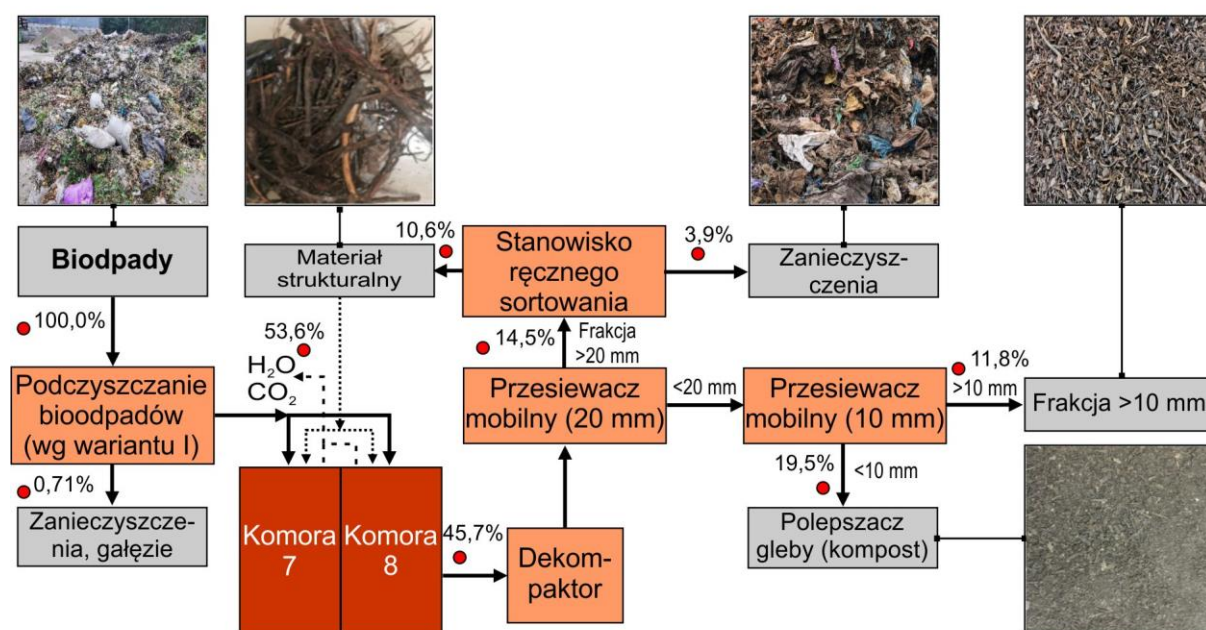
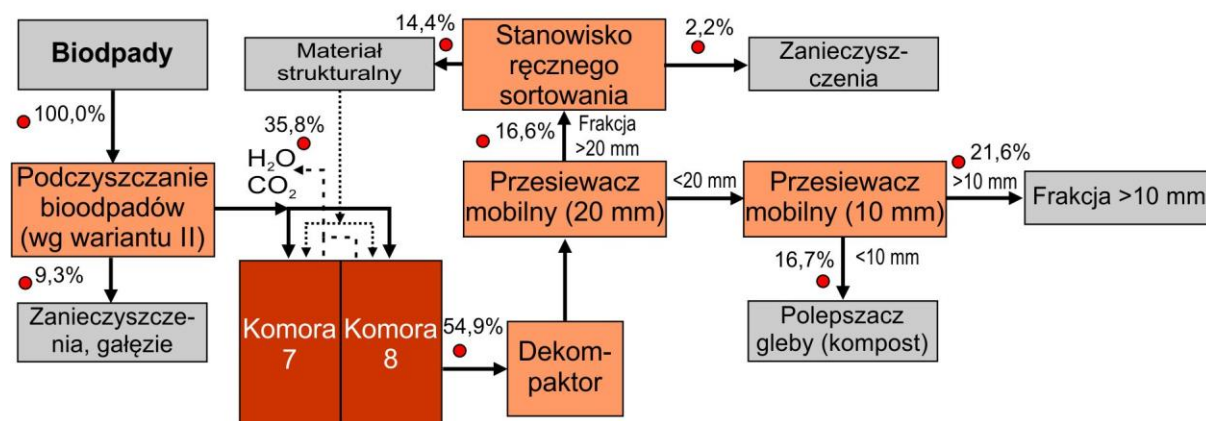
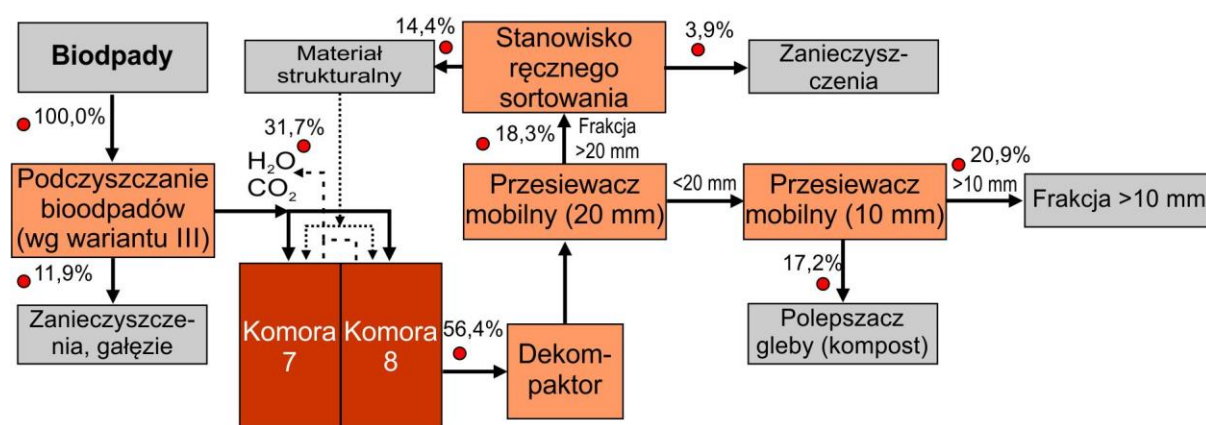
Produkty końcowe w przypadku bioodpadów podczyszczanych obecnie stosowaną metodą stanowiły 31,2% masy surowca (19,5% polepszacz glebowy – kompost workowany i 11,8% - frakcja 10-20 mm sprzedawana luzem). Stosując podczyszczanie bioodpadów metodą proponowaną jako wersja II produkty stanowiły 38,2% masy surowca (16,5% kompost workowany i 21,7% frakcja 10-20 mm sprzedawana luzem), a w metodzie wariant III - 38,1% masy surowca (17,2% - kompost workowany i 20,9% frakcja 10-20 mm).

Na rysunku 38 przedstawiono wpływ zastosowanej technologii wstępnego mechanicznego podczyszczanych bioodpadów na skład morfologiczny polepszaczy glebowych (kompostów) otrzymywanych w procesie przetwarzania ich kompostowania wyrażony w procentach masy mokrej (A) i suchej (B). Udział głównych składników w kompoście produkowanym z bioodpadów oczyszczanych obecnie stosowaną metodą (wariant I) i w rozwiązaniach linii - wariant III był podobny. Udział frakcji „inna organika” w wariantcie I wynosił 58,6% m/m, a w wariantcie III 57,2% m/m. Udział frakcji <2 mm wynosił kolejno 40,0 i 39,8% m/m.

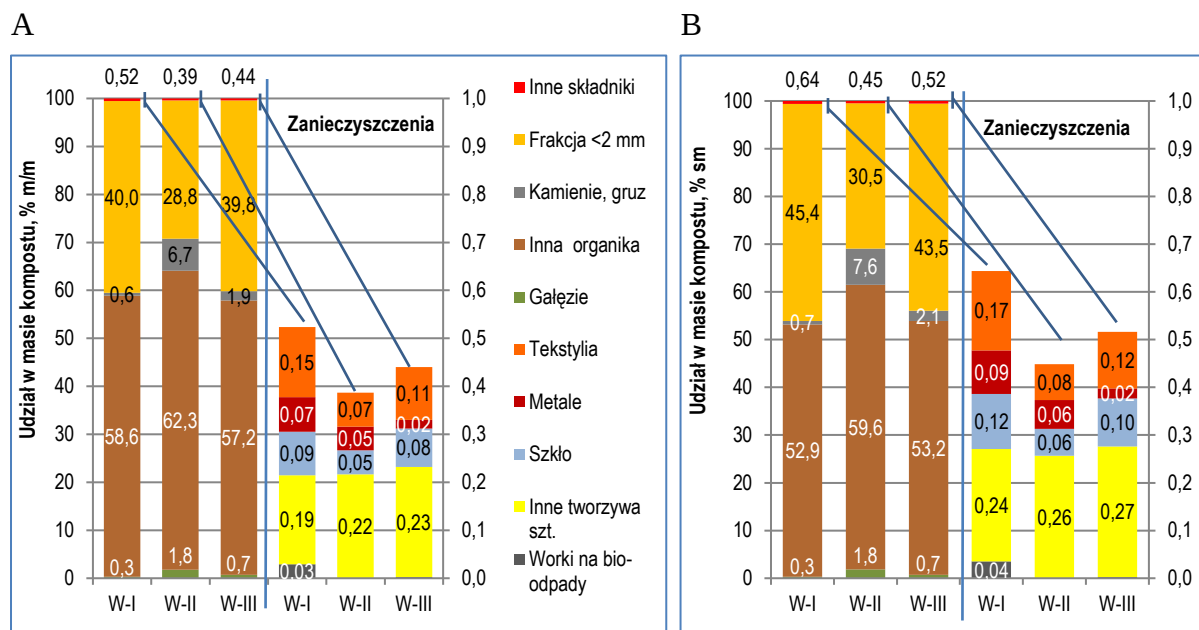
W kompoście uzyskanym z bioodpadów podczyszczanych metodą II udział frakcji „inna organika” był o kilka punktów procentowych wyższy (62,3% m/m). Zawierał on też wyraźnie więcej kamieni i innych składników mineralnych o wymiarach 2-10 mm (6,7% m/m). Udział zanieczyszczeń w otrzymanych kompostach był zróżnicowany, od 0,39 (wariant II) do 0,52% m/m (wariant I). W kompoście z wariantu I linii wyraźnie więcej było drobnych fragmentów tekstyliów, kawałków szkła i metali oraz występowały fragmenty worków na bioodpady, przy podobnej całkowitej ilości tworzyw sztucznych.

Udziały zanieczyszczeń odniesione do suchej masy kompostów są wyższe. Wynoszą one 0,58 (W-I), 0,45 (W-II) i 0,52% sm (W-III). Suma udziałów szkła, metali, tworzyw sztucznych wynosiła, kolejno 0,43; 0,37 i 0,40% sm. Była ona niższa od wartości dopuszczalnej dla kompostów w rozporządzeniu UE w sprawie nawozów (Rozporządzenia (UE), 2019). Udziały tworzyw sztucznych w kompoście wytwarzanym we wszystkich wariantach są podobne i mieszczą się w zakresie od 0,26 do 0,28% sm. Według przepisów dotyczących kompostowania obowiązujących w niektórych państwach UE wartości te są stosunkowo wysokie. Na przykład w Niemczech wartość progowa dla innych zanieczyszczeń w końcowym kompoście wynosi 0,4% sm, a dla tworzyw sztucznych 0,1% sm (BGK, 2018).

W tabeli 23 przedstawiono właściwości kompostu wytworzonych z bioodpadów wstępnie oczyszczonych mechanicznie obecnie stosowaną metodą (wariant I) oraz w nowych, zaprojektowanych i skonfigurowanych liniach podczyszczania bioodpadów (wariant II i III).

Wariant I**Wariant II****Wariant III**

Rys. 37. Bilans masowy kompostowania bioodpadów podczyszczanych metodą obecnie stosowaną (wariant I) oraz na dwóch proponowanych liniach do mechanicznego ich oczyszczania (wariant II i III – wartości średnie dla 3 serii pomiarowych)



Rys. 38. Skład morfologiczny polepszaczy glebowych (kompostów) uzyskanych w procesie przetwarzania bioodpadów wstępnie mechanicznie podczyszczanych trzema analizowanymi metodami: obecnie stosowaną (W- I) i w dwóch nowych rozwiązaniach linii (W- II i W-III), wyrażony w procentach masy mokrej (A) i suchej (B)

Tabela 23. Charakterystyka kompostów otrzymanych z bioodpadów wstępnie oczyszczonych mechanicznie różnymi metodami

Lp.	Parametr	Jednostka	Wariant I	Wariant II	Wariant III	Wartości graniczne
1	Odczyn pH w 20°C	-	7,3	7,8	7,8	-
2	Zawartość suchej masy	%	76,5	74,7	73,8	-
3	Straty przy prażeniu	% sm	46,0	58,2	51,6	>30
4	Azot ogólny Kjeldahla	% (m/m)	2,4	2,6	2,4	>0,3
5	Fosfor ogólny (P)	% (m/m)	1,1	0,92	0,78	>0,2
6	Potas (K)	% (m/m)	>1,2	>0,8	>0,5	>0,2
7	Chrom ogólny (Cr)	mg/kg sm	11,6	17,0	8,7	100
8	Kadm (Cd)	mg/kg sm	1,8	<0,37	<0,69	5
9	Nikiel (Ni)	mg/kg sm	14,0	8,6	4,8	60
10	Ołów (Pb)	mg/kg sm	76,5	10,8	15,2	140
11	Rtęć/Hg	mg/kg sm	<0,05	0,06	<0,05	2

* (Rozporządzenie (MRiRW), 2024)

Kompost niezależnie od zastosowanej metody podczyszczania bioodpadów wykazywał podobną niską wilgotność od 23,5 do 26,2%, o blisko 10% niższą od zalecanej dla kompostów. W przypadku nawozów organicznych w postaci stałej zawartość substancji organicznej w przeliczeniu na suchą masę powinna wynosić >30%, a w przypadku zadeklarowania w odniesieniu do tych nawozów azotu, fosforu lub potasu albo ich sumy – zawartość poszczególnych składników nie powinna być mniejsza niż: 0,3% (m/m) azotu całkowitego (N),

0,2% (m/m) fosforu w przeliczeniu na pięciotlenek fosforu (P_2O_5) i 0,2% (m/m) potasu w przeliczeniu na tlenek potasu (K_2O). Badane komposty spełniają te wymagania. Komposty zawierały wysokie i podobne ilości azotu ogólnego ok. 2,5% (m/m) i zróżnicowane, ale niskie ilości metali ciężkich, znacznie niższe niż dopuszczalne dla nawozów organicznych (Rozporządzenie (MRiRW), 2024).

Zawartość w kompostach zanieczyszczeń, substancji organicznej, fosforu organicznego, a także metali ciężkich, były wprawdzie zróżnicowane, ale trudno uznać obserwowane zmiany jako wynik metody podczyszczania bioodpadów. Wynikały one prawdopodobnie z różnicy w składzie surowca.

W tabeli 24 przedstawiono zawartość zanieczyszczeń w bioodpadach, bioodpadach po kompostowaniu oraz w kompoście oraz sprawność ich usuwania wyrażone w procentach masy suchej.

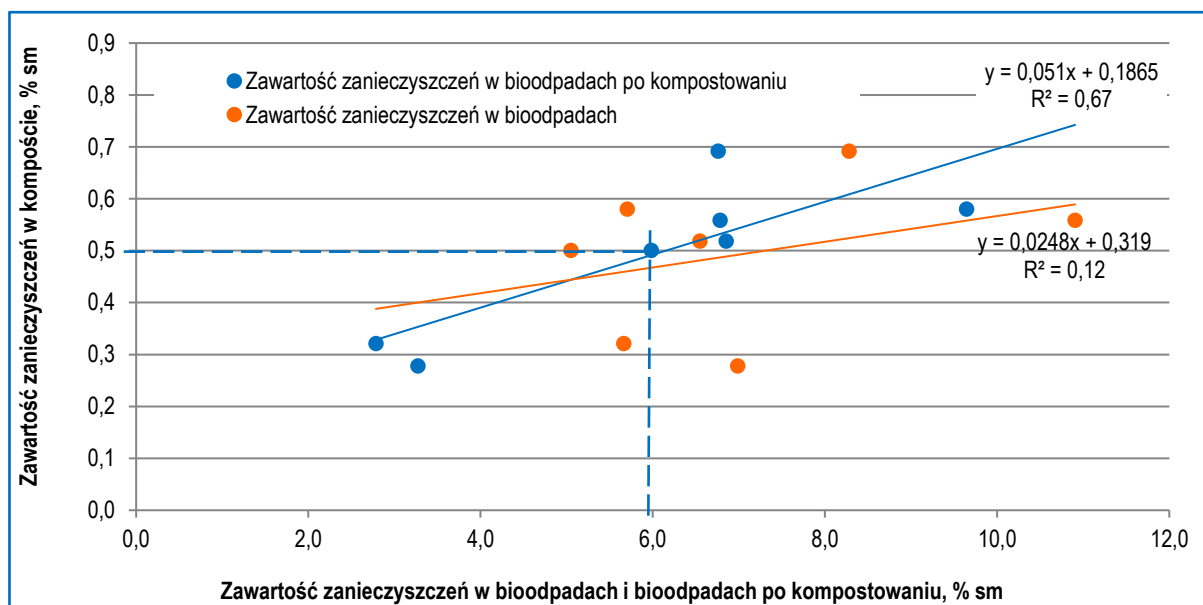
Tabela 24. *Zawartość zanieczyszczeń w bioodpadach, bioodpadach po kompostowaniu, w kompoście oraz sprawność ich usuwania*

Parametr	Jednostka	Wariant II			Wariant III			Wariant I	Wart. min	Wart. max.	Wart. śred.	OS
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7				
Zawartość zanieczyszczeń w bioodpadach	% sm	10,9	7,0	5,0	6,5	8,3	5,7	5,7	5,0	10,9	7,0	2,0
Zawartość zanieczyszczeń w bioodpadach po kompostowaniu	% sm	6,8	3,3	6,0	6,8	6,8	2,8	9,6	2,8	9,6	6,0	2,3
Zawartość zanieczyszczeń w kompoście	% sm	0,56	0,28	0,50	0,52	0,69	0,32	0,58	0,28	0,69	0,49	0,15
Sprawność usuwania zanieczyszczeń w odniesieniu do bioodpadów	%	94,9	96,0	90,1	92,1	91,6	94,3	89,8	89,8	96,0	92,7	2,4
Sprawność usuwania zanieczyszczeń w odniesieniu do bioodpadów po kompostowaniu	%	91,8	91,5	91,6	92,4	89,8	88,5	94,0	88,5	94,0	91,4	1,8

Zawartość zanieczyszczeń w badanych bioodpadach wahała się od 5,0 do 10,9% sm. W przekompostowanych bioodpadach zmieniała się w zakresie od 2,8 do 9,6% sm, a kompoście po oczyszczeniu przez przesiewanie wynosiła od 0,28 do 0,69% sm (średnio 0,49% sm). Zgodnie z rozporządzeniem UE w sprawie nawozów suma zanieczyszczeń >2 mm (np. szkło, metale, TS) nie powinna przekraczać 0,5% sm. W normowanej grupie zanieczyszczeń pominięto kamienie. Kamienie nie są postrzegane jako zanieczyszczenia, ponieważ nie stanowią zagrożenia dla środowiska ani zdrowia ludzi. Kompost wyprodukowany w trzech seriach pomiarowych na siedem osiągnął wymagany poziom czystości.

Sprawność usuwania zanieczyszczeń w odniesieniu do bioodpadów osiągała wartości od 89,8 do 96,0% (średnio $92,7\% \pm 2,4\%$), a w odniesieniu do bioodpadów po kompostowaniu od 88,5 do 94,0% (średnio $91,4\% \pm 1,8\%$). Uzyskane wyniki potwierdzają informacje z kompostowni z Niemiec, które sugerują, że wydajność oczyszczania przekompostowanych bioodpadów (odpady kuchenne z gospodarstw domowych i odpady ogrodowe) przez przesiewanie sięga 95% wagowo (Bundesgütegemeinschaft Kompost, 2016).

Na rysunku 39 przedstawiono zmiany zawartości zanieczyszczeń w kompoście w zależności od ich zawartości w bioodpadach (surowcu) i w bioodpadach po kompostowaniu wyrażone w procentach masy suchej.



Rys. 39. Zmiany zawartości zanieczyszczeń w kompoście w zależności od ich zawartości w bioodpadach (surowcu) i w bioodpadach po kompostowaniu wyrażone w procentach masy suchej

Zawartość zanieczyszczeń w kompostach wykazała bardzo wysoką dodatnią korelację z łączną zawartością zanieczyszczeń w bioodpadach po kompostowaniu (przed o ($R^2=0,67$). Nie stwierdzono występowania takiej zależności korelacyjnej dla zawartości zanieczyszczeń w bioodpadach przed kompostowaniem ($R^2=0,12$). Jest to w pełni zrozumiałe, ponieważ podczas kompostowania ma miejsce znaczny ubytek masy bioodpadów w wyniku rozkładu łatwo biodegradowalnych składników oraz znaczne odparowanie wody. W instalacji w Marszowie obniżenie wilgotności odpadów jest bardzo wysokie. Można nawet stwierdzić, że w instalacji realizowany jest nie tylko proces kompostowania, ale również biosuszenia bioodpadów (tab. 23).

Z wyznaczonej zależności zawartości zanieczyszczeń w kompostach od ich zawartości w bioodpadach po kompostowaniu wynika, że jeżeli bioodpady zawierają średnio <6% ciał obcych można będzie wytworzyć z nich wysokiej jakości nawóz organiczny.

9. Porównanie wariantów instalacji mechanicznego oczyszczania bioodpadów i wybór ostatecznego rozwiązania

Zagadnienie oceny i wyboru wariantu przedsięwzięcia inwestycyjnego jest zadaniem złożonym. Największa trudność polega na właściwym określeniu kryteriów oceny. W celu Obecnie stosowany (wariant I) i zaprojektowane układy oczyszczania bioodpadów (wariant II i wariant III) porównano w oparciu o następujące kryteria:

- sprawność usuwania zanieczyszczeń,
- strata masy strumienia bioodpadów,
- dystrybucja masowa składników,
- bilans masowy procesu w procentach sm,
- skład i jakość produktu końcowego,
- analiza ekonomiczna.

9.1. Sprawność usuwania zanieczyszczeń

W wariantcie I sprawność średnia usuwania zanieczyszczeń wynosiła 4,7% m/m. Wariant II osiągał wysoką sprawność usuwania zanieczyszczeń na poziomie $71,7 \pm 15,2\%$ m/m (średnia z 14 serii badań). W przypadku bioodpadów z terenów wiejskich skuteczność wynosiła $64,9 \pm 15,6\%$, w miastach dla zabudowy jednorodzinnej $79,6 \pm 14,4\%$, a z zabudowy wielorodzinnej w miastach $66,3 \pm 14,2\%$. Wariant III miał wyższą średnią sprawność, która wynosiła $75,5 \pm 10,7\%$ m/m (średnia z 6 serii badań). W przypadku bioodpadów z terenów wiejskich usuwano 85,6% zanieczyszczeń, w miastach dla zabudowy jednorodzinnej 69,2%, dla wielorodzinnej 71,5%.

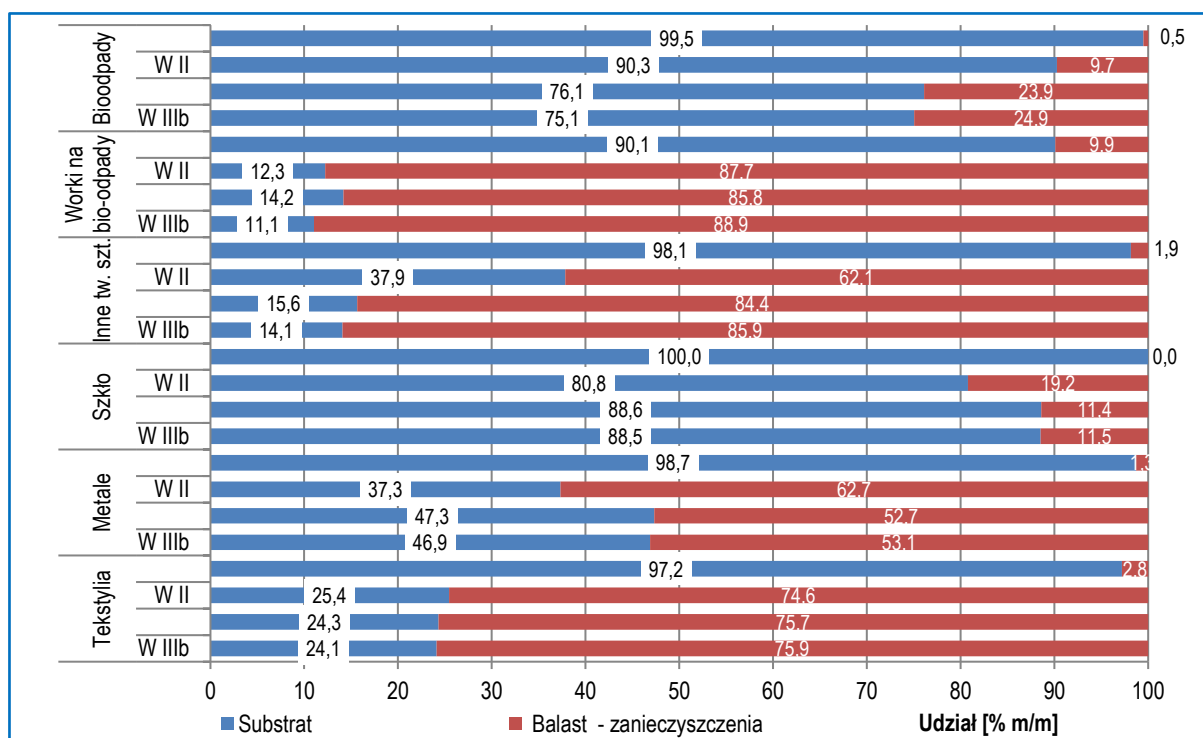
9.2. Straty masy strumienia odpadów

Straty masy substratów w odniesieniu do masy bioodpadów kierowanych do wstępnego oczyszczania dla badanych wariantach były różne. Największe ubytki masy wystąpiły dla opcji wariantu III bez sita (wariant IIIa) ($27,3\%$ m/m) i z sitem obrotowym na końcu linii (wariant IIIb) ($28,4\%$ m/m). Ubytek masy dla wariantu II był blisko o połowę mniejszy ($13,9\%$ m/m), a dla wariantu I straty masy nie przekraczały 1% m/m. Na straty masy składały się masa zanieczyszczeń usuniętych z bioodpadów, masa gałęzi usuniętych w sicie obrotowym i przesiewaczu gwiaździstym oraz masa woda, która odparowywała z bioodpadów w czasie ich przesiewania. Łączna masa usuniętych zanieczyszczeń dla wariantów I, II, IIIa i IIIb wynosiła, kolejno: 0,5, 4,9, 5,1 i 5,2% m/m bioodpadów. Masa usunięty gałęzi wynosiła kolejno: 0,3, 2,3, 6,8 i 7,7% m/m.

9.3. Dystrybucja masowa składników

Rozdział masy składników bioodpadów między substrat i balast (frakcje wydzielane z bioodpadów podczas ich oczyszczania) w procentach m/m, przedstawiono na rysunku 40. Przedstawienie wyników opiera się na pracy Lopesa i in. (2019).

Substancje organiczne: W wariancie I do substratu przechodziło >99,5% m/m substancji organicznych, a w wariancie II 90,3% m/m. Na straty substancji organicznej składały się masa gałęzi i innej organiki o uziarnieniu >80 mm odsiewana w sicie obrotowym (kolejno 2,3 i 6,6%) oraz strata w wody w czasie operacji przesiewania i sortowania bioodpadów (0,6%). Straty organiki w wariancie IIIa i IIIb były ponad 2-krotnie wyższe niż w wariancie II. Do balastu przechodziło kolejno 23,9 i 24,9% m/m substancji organicznych. W tym przypadku na straty składały się gałęzie i inna organika odsiewane w przesiewaczu gwiaździstym oraz w sicie obrotowym. Straty powiększał ubytek wody odparowującej w czasie operacji przesiewania i sortowania bioodpadów.



Rys. 40. Rozkład masy substancji organicznych i składników frakcji „zanieczyszczenia” pomiędzy substratem do biologicznego przetwarzania i balastem dla badanych wariantów wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów (W-I (ręczne wybieranie zanieczyszczeń), W-II (rozdrabniacz dwuwalowy + SFM + kabina sortownicza + przesiewacz bębnowy), W-III w dwóch wersjach bez sita na końcu linii (W- IIIa) i z sitem bębnowym (W-IIIb) (rozdrabniacz dwuwalowy + SFM + przesiewacz gwiaździsty + kabina sortownicza + przesiewacz bębnowy))

Tworzywa sztuczne: Wariant I (obecnie stosowany) uzyskał najniższą skuteczność usuwania tworzyw sztucznych (9,9% m/m dla worków na bioodpady i 1,9% m/m dla innych tworzyw sztucznych). W przypadku zaproponowanych nowych rozwiązań (warianty II, IIIa i IIIb) skuteczność oddzielania tworzyw sztucznych była wysoka. Z bioodpadów usuwano

worki na bioodpady w ilości 88,9 (W-IIIb), 87,7 (W-II) i 85,9% m/m (W-IIIa). Z kolei „inne tworzywa” usuwano w podobnych dużych ilościach w wariancie IIIa i IIIb; 85,9 i 84,4% m/m. W wariancie II z bioodpadów wydzielano o ponad 20% mniej innych tworzyw (62,1%).

Szkło: W obecnie stosowanym systemie podczyszczania bioodpadów szkło praktycznie nie jest usuwane. W zaproponowanych nowych rozwiązaniach linii podczyszczania bioodpadów skuteczność wydzielania szkła była niska. W wariancie II usuwano 19,2% m/m szkła, a wariantach IIIa i IIIb tylko około 11,5% m/m.

Metale: Skuteczność usuwania metali była około 3 krotnie wyższa w porównaniu z wartościami stwierdzonymi dla szkła. Najlepszą skuteczność usuwania metali osiągnął wariant II (62,7% m/m). W przypadku wariantów IIIa i IIIb z bioodpadów usuwano, kolejno 52,7 i 53,1% m/m metali. W obecnie stosowanym systemie podczyszczania bioodpadów usuwa się zaledwie 1,3% m/m metali.

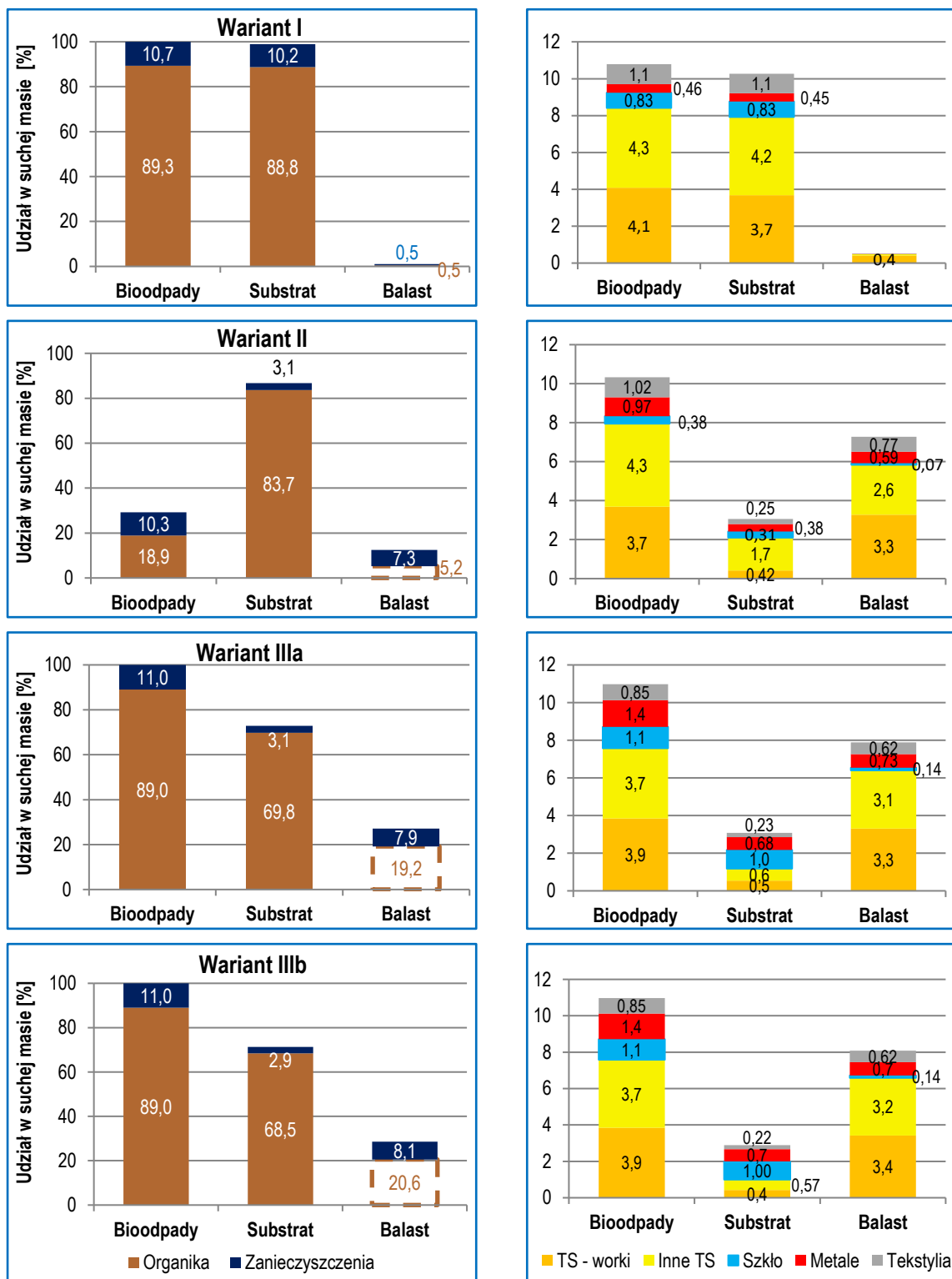
Tekstylia: W obecnie stosowanym systemie podczyszczania bioodpadów usuwa się 2,8% m/m tekstyliów występujących w bioodpadach. Skuteczność usuwania tekstyliów w proponowanych nowych systemach podczyszczania bioodpadów wynosiła około 75% m/m.

9.4. Bilans masowy procesu

Na rysunku 41 przedstawiono bilans masowy analizowanych układów podczyszczania, na bazie suchej masy. Lewa strona rysunku przedstawia bilans masowy dwóch parametrów: sucha masa substancji organicznych ulegających biodegradacji i łączna sucha masa zanieczyszczeń, dla każdego z trzech wariantów podczyszczania bioodpadów. Wariant III przedstawiono w dwóch ujęciach: IIIa i IIIb. Prawa strona rysunku przedstawia bilans masowy składników zanieczyszczeń (worki na bioodpady, inne TS, szkło, metale i tekstylia). Na przykład w wariancie I, obecnie stosowanym do podczyszczania, materiał wejściowy składał się z 89,3% sm substancji organicznych i 10,7% sm zanieczyszczeń. Z całkowitej masy dostarczanych bioodpadów (100% sm) w substracie do kompostowania pozostaje 88,8% sm w postaci substancji organicznych i 10,2% sm w postaci zanieczyszczeń. Z bioodpadów usuwa się około 0,5% sm zanieczyszczeń i 0,5% sm grubych gałęzi, które po rozdrobnieniu mogą trafić do komór intensywnego kompostowania jako materiał strukturalny. Z zanieczyszczeń, w substracie do kompostowania przenosi się 3,7% sm worków na bioodpady i 4,3% sm innych TS oraz 0,83% sm szkła, 0,45% sm metali i 1,05% sm tekstyliów.

W proponowanym wariancie II rozwiązania linii podczyszczania bioodpadów średni skład bioodpadów dostarczanych do instalacji w przeliczeniu na suchą masę był podobny jak w wariancie I. Substancje organiczne stanowiły 89,7% sm, a zanieczyszczenia 10,3% sm. Do substratu do biologicznego przetwarzania przechodziło 83,7% sm organiki i 3,1% sm zanieczyszczeń. W balaście z procesu oczyszczania bioodpadów usuwano 7,3% zanieczyszczeń i tracono 5,2% sm organiki. Organikę usuwano na sicie obrotowym. Stanowiła ona główny składnik odsiewu.

Skład suchej masy bioodpadów kierowanych do badań wstępnego podczyszczania w proponowanym wariancie III linii podczyszczania bioodpadów był podobny jak w wariancie I i II. Substancje organiczne stanowiły 89,0% sm a zanieczyszczenia 11,0% sm bioodpadów. Do substratu przechodziło 69,8% sm organiki i 3,1% sm zanieczyszczeń.



Rys. 41. Bilans masowy substancji organicznych i zanieczyszczeń w zbieranych bioodpadach (Bioodpady), podczyszczonych bioodpadach (Substrat) i usuwanych zanieczyszczeniach (Balast), w % sm, dla trzech badanych wariantów mechanicznego oczyszczania bioodpadów (W-I (ręczne wybieranie zanieczyszczeń), W-II (rozdrabniacz dwuwalowy + SFM + kabina sortownicza + przesiewacz bębnowy), W-III w dwóch wersjach z sitem bębnowym i bez na końcu linii (rozdrabniacz dwuwalowy + SFM + przesiewacz gwiazdzisty+ kabina sortownicza + przesiewacz bębnowy))

W balasce z procesu oczyszczania bioodpadów usuwano 7,9% zanieczyszczeń i tracono 19,2% sm organiki. Strata organiki była stosunkowo wysoka w porównaniu do wariantu II. Za tak duże straty odpowiedzialny był przesiewacz gwiaździsty usytuowany po rozdrabniaczu w celu mechanicznego usuwania worków na bioodpady i odciążenia z tej operacji linii do sortowania ręcznego (rys. 34). Rozbudowa instalacji według wariantu III o przesiewacz obrotowy 80 mm na końcu linii, podobnie jak w wariacie II (wariant IIIb), zwiększa masę usuniętych zanieczyszczeń z substratu o 0,2% sm, ale zwiększa również straty organiki (głównie gałęzi).

Prawa strona rysunku 41 przedstawia skład materiałowy „frakcji zanieczyszczenia” w procentach suchej masy. Mimo pobierania bioodpadów z tych samych rejonów zbierania, w podobnym okresie czasu, rozkłady udziałów suchej masy „ciał obcych” we „frakcji zanieczyszczenia” obecnej w bioodpadach poddawanych oczyszczaniu, były różne w każdym z badanych systemów obróbki wstępnej. Przykładowo udziały worków na odpady w bioodpadach wynosiły w wariantach I, II i III kolejno: 4,08, 3,69 i 3,85% sm. Udziały sumy tworzyw sztucznych różniły się podobnie i wynosiły kolejno: 8,41, 7,95 i 7,58% sm. Obserwowane różnice można wytłumaczyć dużą liczbą czynników wpływających na skład bioodpadów (zmienne proporcje odpadów ogrodowych i spożywczych w każdym gospodarstwie, zmienny udział w zbieraniu i aktywności mieszkańców, itd.).

9.5. Skład i jakość produktu końcowego

Produkt końcowy (frakcja <10 mm) w po przejściu przez układ (Wariant II) zawierał najmniej zanieczyszczeń (0,39% m/m). Charakteryzował się bardzo niską zawartością szkła (0,05% m/m kompostu) oraz brakiem fragmentów worków na bioodpady. Udział „innych tworzyw sztucznych” wynosił 0,22%, metali 0,05%, a tekstyliów 0,07% m/m.

Skuteczność usuwania zanieczyszczeń w przypadku Wariantu III była również wysoka. Zanieczyszczenia stanowiły 0,44% m/m produktu. Kompost zawierał małą ilość szkła (0,08% m/m) i również nie zawierał fragmentów worków na bioodpady. Inne tworzywa sztuczne stanowiły od 0,23% m/m kompostu, udział metali wynosił tylko 0,02%, a tekstyliów 0,11%.

W kompoście z obecnego systemu podczyszczania, wariant I, wyraźnie więcej było drobnych fragmentów tekstyliów (0,15%), kawałków szkła (0,07%) i metali (0,07%) oraz, przy podobnej ilości innych tworzyw sztucznych jak w wariacie II i III, w kompoście występowały niewielkie ilości fragmentów worków na bioodpady (0,03%). Całkowita zawartość zanieczyszczeń wynosiła 0,52% m/m kompostu. Przetestowane systemy podczyszczania bioodpadów były skuteczne w usuwaniu większości zanieczyszczeń. Okazały się też wystarczające do wytworzenia kompostu spełniającego wymagania odpowiednich przepisów w zakresie zawartości tworzyw sztucznych, szkła i metali w kompoście.

9.6. Analiza ekonomiczna

W celu określenia opłacalności inwestycji budowy lub rozbudowy instalacji zazwyczaj można posłużyć się trzema podstawowymi wskaźnikami: okresem zwrotu, wartością bieżącą netto oraz wewnętrzną stopą zwrotu.

Okres zwrotu jest najprostszym wskaźnikiem miary zwrotu inwestycji w czasie i jest niczym innym jak czasem, w którym wydatki poniesione na inwestycję zwrócą się z dochodów przez nią generowanych. Bardziej dokładne wskaźniki ekonomiczne uwzględniają zmianę wartości pieniądza w czasie. Jednym z podstawowych i najważniejszych wskaźników w ocenie efektywności projektów inwestycyjnych jest tzw. wartość bieżąca netto, czyli NPV (Net Present Value), w której dokonuje się dyskontowania przyszłych przepływów pieniężnych do wartości obecnych, przy użyciu tzw. stopy dyskontowej. Powiązanym z NPV wskaźnikiem używanym również przy ocenie projektów inwestycyjnych jest IRR (Internal Rate of Return), czyli wewnętrzna stopa zwrotu. Wskaźnik ten pokazuje, po jakiej stopie dyskontowej wydatki będą równać się wpływom po aktualizacji do wartości dzisiejszych.

Zaprojektowany układ (inwestycja) będzie fragmentem linii technologicznej. Co więcej fragment ten nie wpływa na generowane dochody, gdyż te, w przypadku przetwarzania bioodpadów, stanowią przychody ze sprzedaży kompostu. Z tego powodu, w niniejszej pracy, odstąpiono od posługiwania się wymienionymi wskaźnikami, a skupiono się, przede wszystkim, na analizie poszczególnych pozycji kosztowych dla przeanalizowanych możliwych scenariuszy.

Dla badanych wariantów, oprócz wymaganych nakładów inwestycyjnych, przeanalizowano i skalkulowano następujące pozycje kosztowe: wynagrodzenia dla pracowników, zakup paliwa dla maszyn obsługujących linię, zużycie mediów, koszty ubezpieczenia, amortyzację oraz koszty konserwacji. Szczegółowe zestawienie analizowanych wskaźników i ich wartości dla analizowanych wariantów podczyszczania bioodpadów pokazano w tabeli 25.

Z zestawienia tabelarycznego można wywnioskować, że wariant ręcznego sortowania odpadów (obecnie stosowany w przedsiębiorstwie) jest relatywnie najtańszy. Nie wymaga on nakładów inwestycyjnych jak również bieżące koszty eksploatacyjne są na najniższym poziomie - około 500 tys. zł rocznie, przy czym 99,6% stanowią koszty pracownicze.

Najdroższy inwestycyjnie wariant III będzie generować także największe koszty eksploatacyjne (ok. 1 mln zł rocznie), z czego koszty pracownicze będą stanowić ok. 37%. Wariant III będzie generował koszty na poziomie około 760 tys. zł rocznie, a koszty pracownicze wniosą około 49% tej wartości.

W wariantach II i III niezbędny będzie zakup urządzeń, które z jednej strony umożliwią ograniczenie prac ręcznych i zapotrzebowania na pracowników (z 8 do 6 etatów), ale z drugiej strony będą wymagały zaangażowania maszyn do obsługi linii i w efekcie generować będą koszty zakupu paliwa i energii elektrycznej oraz konserwacji. Ponadto, ponoszone będą również koszty związane z ubezpieczeniem i amortyzacją maszyn. Warianty te wiążą się z nakładami inwestycyjnymi na poziomie ok. 1,4 mln złotych (W-II) oraz ok. 2,4 mln zł (W-III). Przyjmując przepustowość linii wstępnego mechanicznego podczyszczania 7,5 tys. ton bioodpadów rocznie (podczyszczanie na linii jedynie bioodpadów kierowanych do nowej instalacji fermentacji odpadów), jednostkowy koszt inwestycyjny linii wyniesie dla W-II i W-III odpowiednio 187,33 oraz 320,67 zł/Mg. Wydajność urządzeń zamontowanych w linii może osiągnąć wydajność do 10 Mg/h. Instalacja może być zatem wykorzystana do podczyszczalnia około 17 tys. Mg bioodpadów/rok, czyli wszystkich bioodpadów, które mogą trafić do instalacji w 2035 roku (punkt 4.2). Odnosząc koszty do tej przepustowości jednostkowe koszty inwestycyjny i eksploatacyjny będą 2,3- krotnie niższe.

Tabela 25. *Kalkulacja kosztów dla analizowanych wariantów*

Pozycja kosztowa	Jednostka	W-I system manualny	W-II rozdrabniacz	W-III rozdrabniacz +sito gwiaździste
Nakłady inwestycyjne				
• Koszt zakupu urządzeń wchodzących w skład linii technologicznej	zł	0,00	1 405 000,00	2 405 000,00
Wynagrodzenia				
• Etaty- wymagani pracownicy	Osoba	8	6	6
• Miesięczny koszt utrzymania pracownika	zł/mies.	5 189,57	5 189,57	5 189,57
• Koszty utrzymania pracowników łącznie	zł/rok	498 198,72	373 649,04	373 649,04
Paliwo do maszyn obsługujących linię				
• Zakładane zużycie ON	dm ³ /rok	0	19 500,00	42 000,00
• Cena zakupu ON	zł/dm ³	4,89	4,89	4,89
• Koszty zakupu paliwa	zł/rok	0	95 355,00	205 380,00
Zużycie wody				
• Zużycie na cele socjalne	l/os/dzień	90	90	90
• Zużycie wody cele socjalne	m ³ /rok	181	136	136
• Koszt zakupu wody	zł/m ³	3,2	3,2	3,2
• Łączny koszt zakupu wody	zł	580,608	435,46	435,46
Zużycie energii elektrycznej				
• Zwiększenie zużycia EE	kWh/godz.	0	50	60
• Cena zakupu EE	m ³ /rok	0	971,71	971,71
• Koszt zakupu EE	zł/m ³	0	72 878,25	87 453,90
Ścieki bytowe				
• Ścieki socjalno-bytowe	m ³ /rok	163	122	122
• Koszt odprowadzenia ścieku	zł/m ³	8,7	8,7	8,7
• Łączny koszt odprowadzenia ścieków	zł	1420,68	1 065,51	1 065,51
Koszty inne				
• Ubezpieczenie (0,3% od wartości)	zł/rok	0,00	4 215,00	7 215,00
• Amortyzacja maszyny i urządzenia - 10%	zł/rok	0	140 500,00	240 500,00
• Łącznie	zł/rok	0	144 715,00	247 715,00
Serwisy i części				
• Koszt konserwacji (5% wartości na rok)	zł/rok	0	70 250,00	120 250,00
Koszty eksploatacyjne	zł	500 200,00	758 348,25	1 035 948,90

Warto także zwrócić uwagę na to, że stosowany obecnie system ręcznego doczyszczania odpadów jest niewydajny, ponieważ uniemożliwia przetworzenia całego strumienia bioodpadów. Z danych eksploatacyjnych wynika, że w ciągu godziny udaje się przetworzyć około 1,5 Mg bioodpadów, a w ciągu roku zaledwie 4 000 ton. Wpływają na to, między innymi, warunki atmosferyczne (doczyszczanie odbywa się na otwartym placu), czy komfort pracy (zmęczenie, brak motywacji, itp.). Ponadto obecnie firma boryka się z brakami kadrowymi, które mogą skutkować spadkiem jakości procesu oczyszczania.

W tabeli 26 przedstawiono dane obrazujące jednostkowe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne dla analizowanych wariantów instalacji. Na podstawie danych z tej tabeli można zauważyć, że najniższy koszt przetworzenia 1 Mg odpadów jest dla wariantu II i wynosi około 45 zł. W przypadku ręcznego sortowania kształtuje się on na poziomie około 125 zł, a dla wariantu III osiąga blisko 61 zł. W wariantcie I mamy do czynienia z najwyższymi kosztami

eksploatacyjnymi, przy najniższej ilości przetwarzanych odpadów. Ponadto temu wariantowi towarzyszy duże uzależnienie od czynnika ludzkiego.

Biorąc pod uwagę dane i wskaźniki finansowe oraz efekty jakie może przynieść realizacja przedsięwzięcia w przeanalizowanych wariantach, za najbardziej korzystny uznano wariant II, pomimo konieczności poniesienia stosunkowo dużych nakładów inwestycyjnych. Zakup i zastosowanie rozdrabniacza pozwoli na zwiększenie wydajności procesu, zmniejszenie zapotrzebowania na pracowników, a w efekcie na uzyskanie najniższego kosztu przetworzenia tony odpadu.

Tabela 26. Jednostkowe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne

Wskaźnik	Jednostka	W-1 system manualny	W-2 rozdrabniacz	W-3 rozdrabniacz + sito gwiazdźiste
Ilość przetworzonych odpadów	Mg/rok	4 000,00	17 000	17 000
Jednostkowe koszty inwestycyjne	zł/Mg	0,00	82,64	141,47
Jednostkowe koszty eksploatacyjne	zł/Mg	125,05	44,61	60,94

9.7. Wybór systemu

Dokonując podsumowania pracy zaprojektowanych wariantów należy podkreślić, iż Wariant III jest bardziej skuteczny pod względem ogólnego usuwania zanieczyszczeń (76,7%) od Wariantu II (72,2%). Skuteczność obecnie stosowanego systemu to zaledwie 4,7%. Wyższa skuteczność była szczególnie widoczna w przypadku bioodpadów pochodzących z terenów wiejskich. Z kolei straty masy substratów w odniesieniu do masy bioodpadów kierowanych do wstępnego oczyszczania dla wariantu II (13,9% m/m) były blisko połowę mniejsze niż dla obu opcji wariantu III (IIIa - 27,3 i IIIb - 28,4% m/m).

W wariantcie II straty substancji organicznej (gałęzie i inna organika o uziarnieniu >80 mm) wynosiły 9,7% m/m, a w wariantcie IIIa i IIIb kolejno 21,4 i 22,4% m/m.

Wszystkie warianty wykazały wysoką, podobną skuteczność w usuwaniu worków na bioodpady (około 88% sm) i tekstyliów (około 75%). Wariant II okazał się bardziej skuteczny w usuwaniu z bioodpadów szkła (W-II 11,9%; W-IIIa 11,3% i W-IIIb - 11,5% sm), a wariant III innych tworzyw sztucznych (W-II 62,1%; W-IIIa 84,4% i W-IIIb - 85,9% sm). Oba warianty zapewniały skuteczność usuwania zanieczyszczeń w stopniu gwarantującym spełnienie obowiązujących norm dla produktów końcowych.

W świetle przedstawionych faktów można stwierdzić, że Wariant III jest rozwiązaniem skuteczniejszym, a zwłaszcza układ IIIb, jeśli priorytetem jest efektywność usuwania zanieczyszczeń, w szczególności tworzyw sztucznych. Wariant II może być preferowany w sytuacjach, gdzie istotna jest minimalizacja strat masy biodegradowalnej, co przekłada się na wyższą wydajność produkcji produktu w postaci kompostu. W ogólnej ocenie należy uwzględnić również aspekt ekonomiczny, który przemawia za wyborem Wariantu II jako optymalny pod względem zarówno finansowym jak i osiągniętych parametrów pracy.

10. Podsumowanie

Niniejsza praca doktorska była realizowana w ramach V edycji programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Doktorat wdrożeniowy”. Celem pracy było opracowanie linii technologicznej do opróżniania worków z selektywnie zbieranymi bioodpadami (przy wykorzystaniu powszechnie dostępnych maszyn i urządzeń wykorzystywanych w gospodarce odpadami), która pozwoli na skuteczne usuwanie z nich zanieczyszczeń, przy niewielkich stratach masy organicznej oraz stosunkowo niskich nakładach inwestycyjnych i kosztach eksploatacji. Badania prowadzone były na terenie Instalacji Komunalnej Łużyckiego Centrum Recyklingu w Marszowie. Efektem końcowym pracy ma być zaprojektowanie i wybudowanie w skali przemysłowej instalacji do doczyszczania bioodpadów.

W Polsce istnieje praktycznie całkowita luka w wiedzy na temat składu morfologicznego selektywnie zbieranych bioodpadów i przebiegu jego zmian w okresie roku. Realizacja celu pracy wymagała zatem w pierwszej kolejności ustalenia składu materiałowego bioodpadów dostarczanych do zakładu. Badania przeprowadzono na terenie gmin będących właścicielami instalacji. Badano bioodpady zbierane w 4 gminach wiejskich w workach oraz w 4 miastach w dzielnicach z zabudową jednorodzinną (zbierane w workach) i w dzielnicach z zabudową wielorodzinną (zbierane w pojemnikach). Badania wykonano w cyklu raz na miesiąc, w okresie od listopada 2021 do października 2022 r.

Wyniki badań morfologii bioodpadów dostarczyły szeregu interesujących informacji. Stwierdzono, że:

- w okresie od listopada 2021 do października 2022 r. mieszkańcy gmin wiejskich zbierali średnio 2,0 kg/(M·miesiąc) bioodpadów, a mieszkańcy miast średnio 4,6 kg/(M·miesiąc) (7,3 kg/(M·miesiąc) w zabudowie jednorodzinnej i 3,5 kg/(M·miesiąc) w zabudowie wielorodzinnej);
- skład morfologiczny bioodpadów był bardzo zróżnicowany w ciągu roku;
- głównym składnikiem bioodpadów z gospodarstw domowych są odpady spożywcze, których udział w masy mokrej bioodpadów na terenach gmin wiejskich oraz w miastach w dzielnicach z zabudową wielorodzinną przekraczał 45% (kolejno: $46,9 \pm 16,3$ i $47,7 \pm 16,5\%$), a w bioodpadach z domów jednorodzinnych w miastach, stanowił zaledwie $36,6 \pm 18,4\%$; przeważały w nich odpady ogrodowe $52,9 \pm 18,4\%$;
- udział „zanieczyszczeń” w bioodpadach był stosunkowo wysoki: w bioodpadach zbieranych w workach (tereny wiejskie i miasta z zabudową jednorodziną) wynosił kolejno 12,2 i 11,1% m/m (łącznie z opróżnionymi workami na bioodpady), a w bioodpadach zbieranych w pojemnikach (dzielnice miast z zabudową wielorodzinną) 16,6% m/m; tak wysoki udział zanieczyszczeń może dyskwalifikować ten strumień bioodpadów do produkcji wysokiej jakości kompostu.

Przeprowadzone badania składu morfologicznego bioodpadów wykazały również, iż główną grupą zanieczyszczeń stanowią tworzywa sztuczne (58,7% m/m), bez względu na

fakt w jakim systemie prowadzone jest ich zbieranie. Tworzywa sztuczne powinny być usunięte z surowca, ponieważ w czasie przetwarzania bioodpadów rozdrabniane są na małe cząsteczki, które zostaną rozproszone w środowisku podczas nawożenia pól i będą negatywnie wpływać na ekosystemy. Druga grupa zanieczyszczeń to papier i drewno przetworzone, które mogą pozostać w masie bioodpadów. Trzecia grupa to odpady mineralne – kamienie i gruz (8,3%), tekstylia (5,3%), szkło (4,8%) i metale (2,7%). Są to składniki niepożądane w surowcach do biologicznego przetwarzania (zarówno do kompostowania, jak i fermentacji) i powinny być z nich usunięte.

Stwierdzono również ścisłą dodatnią zależność pomiędzy łączną zawartością zanieczyszczeń, w szczególności z tworzywami sztucznymi, a odpadami kuchennymi w bioodpadach zbieranych w gminach wiejskich i z zabudowy wielorodzinnej w miastach, co wskazuje, że prawdopodobnie są one głównym źródłem pochodzenia tych zanieczyszczeń.

Analiza danych dostępnych w literaturze pozwala na stwierdzenie, iż badania bioodpadów, przeprowadzone w takim zakresie i w takiej skali, były pierwsze w Polsce, i jedne z nielicznych na świecie, mimo że wiedza na ten temat jest interesująca dla szeregu zainteresowanych stron (władze krajowe i lokalne, firmy zajmujące się gospodarką odpadami i naukowcy).

W oparciu o wyniki badań składu materiałowego bioodpadów oraz informacje literaturowe ustalono, że optymalne rozwiązanie linii wstępnej obróbki bioodpadów powinno zapewnić maksymalne usunięcie z bioodpadów tworzyw sztucznych, tekstyliów, szkła i metali, przy niewielkich stratach materiału organicznego. Pierwszym urządzeniem linii obróbki mechanicznej powinna być rozrywarka worków, drugim kabina sortownicza z minimum 3 stanowiskami i 6 zsykami (ręczne usuwanie rozerwanych worków i innych tworzyw sztucznych, szkła, ewentualnie tekstyliów, gruzu i dużych kamieni oraz innych zidentyfikowanych przez personel „ciał obcych”), kolejnym separator ferromagnetyczny (opcjonalnie dodatkowo separator nFe) i ostatnim przesiewacz 80 mm (usuwanie gałęzi i innych materiałów o dużych rozmiarach).

Przeprowadzono badania w skali przemysłowej sześciu urządzeń do rozrywania worków (3 rozrywarki worków i 3 rozdrabniacze odpadów), które dostępne są na rynku europejskim. Na podstawie wyników badań ich wydajności i skuteczności rozrywania worków, biorąc pod uwagę równomierność rozkładu bioodpadów na przenośniku taśmowym, straty bioodpadów w usuwanych workach i koszt zakupu urządzenia, a także cenne informacji na temat urządzeń ich użytkowników, do budowy linii wytypowano rozdrabniacz dwuwałowy.

Zaprojektowano i wybudowano dwa warianty instalacji wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów przygotowującej je do procesów kompostowania bądź fermentacji:

- Wariant II: rozdrabniacz dwuwałowy z SFM zamontowany na końcu urządzenia + kabina sortownicza + sito obrotowe o oczkach 80 mm;
- Wariant III: rozdrabniacz dwuwałowy z SRM na końcu urządzenia + sito gwiazdźiste + kabina sortownicza + sito obrotowe o oczkach 80 mm (opcja).

Analizie i ocenie poddano również proces obecnie stosowany do podczyszczania bioodpadów przed ich kompostowania (wariant I).

Przeprowadzone badania skuteczności usuwania zanieczyszczeń w zaprojektowanych konfiguracjach linii technologicznej (W-II i W-III) wykazały, że:

- wariant II osiągał skuteczność usuwania zanieczyszczeń na poziomie $71,7 \pm 15,2\%$ m/m (średnia z 14 serii badań), a wariant III $75,5 \pm 10,7\%$ m/m (średnia z 6 serii badań), podczas gdy w wariantcie I wynosi ona zaledwie $4,9\%$ m/m;
- straty masy substratów w odniesieniu do masy bioodpadów kierowanych do wstępnego oczyszczania dla W-II były blisko o połowę mniejsze ($13,9\%$ m/m), niż dla W-IIa ($27,3\%$ m/m) i W-IIb ($28,4\%$ m/m); a dla wariantu I straty masy nie przekraczały 1% m/m;
- straty substancji organicznej (masa gałęzi i innej organiki o uziarnieniu >80 mm odsiewana w sitach oraz masa odparowanej wody) wynosiły dla badanych wariantów linii W-I, W-II, W-IIa i W-IIb, kolejno: $0,5$, $9,7$, $23,9$ i $24,9\%$ m/m substancji organicznych.

Zaproponowane nowe rozwiązania linii podczyszczania bioodpadów (warianty II, IIIa i IIIb) wykazywały podobną, wysoką skuteczność usuwania fragmentów worków na bioodpady (ponad 85% m/m) i tekstyliów (około 75% m/m). Warianty IIIa i IIIb w porównaniu wariantu II zapewniały wyższą skuteczność usuwania frakcji „inne tworzywa” o około 20 punktów procentowych m/m, ale niższą metali (o około 10% m/m) i szkła (o około $7,7$ m/m).

Przy podobnym składzie materiałowym suchej masy bioodpadów kierowanych do wstępnego podczyszczania w badanych wariantach linii z całkowitej ich masy (100% sm) w substracie do kompostowania pozostawała organika i zanieczyszczenia w ilości, kolejno: W-I: $88,8$ i $10,2\%$ sm, W-II: $83,7$ i $3,1\%$ sm, W-IIa: $69,8$ i $3,1\%$ sm i W-IIb: $68,5$ i $2,9\%$ sm.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów badań zawartości zanieczyszczeń w wytworzonym kompoście i poziomu ich usunięcia z bioodpadów po przejściu przez obecnie stosowany i zaprojektowane ciągi technologiczne do mechanicznego podczyszczania bioodpadów oraz przez obecnie stosowany system oczyszczania przekompostowanych bioodpadów stwierdzono, że:

- Produkty końcowe kompostowania bioodpadów podczyszczanych proponowanymi metodami W-II i W-III linii były podobne, i stanowiły kolejno: kompost workowany $27,1$ i $26,5\%$ sm wsadu, a frakcja $10-20$ mm sprzedawana luzem $36,3$ i $31,2\%$ sm, podczas gdy w obecnie stosowanej metodzie (W-I) stanowiły: $30,7$ i $18,4\%$ m/m.
- Udział zanieczyszczeń odniesiony do suchej masy kompostu (frakcja <10 mm) wynosiły $0,52$ (W-I), $0,39$ (W-II) i $0,44\%$ sm (W-III), w tym suma udziałów szkła, metali, tworzyw sztucznych wynosiła, kolejno $0,38$; $0,32$ i $0,33\%$ sm. Były to wartości mniejsze od dopuszczalnych dla kompostów w rozporządzeniu UE w sprawie nawozów (Rozporządzenia (UE), 2019). Udziały tworzyw sztucznych w kompoście wytwarzanym we wszystkich wariantach są podobne i mieszczą się w zakresie od $0,21$ do $0,23\%$ sm.

Komposty niezależnie od zastosowanej metody podczyszczania bioodpadów spełniały wymagania dla nawozów organicznych. Zawierały wysokie i podobne ilości azotu ogólnego ok. $2,5\%$ (m/m) i zróżnicowane, ale niskie ilości metali ciężkich, znacznie niższe niż dopuszczalne dla nawozów organicznych (Rozporządzenie (MRiRW), 2024).

Sprawność usuwania zanieczyszczeń w odniesieniu do bioodpadów osiągała wartości od $89,8$ do $96,0\%$ (średnio $92,7\% \pm 2,4\%$), a w odniesieniu do bioodpadów po kompostowaniu od

88,5 do 94,0% (średnio $91,4\% \pm 1,8\%$). Zawartość zanieczyszczeń w kompostach wykazała bardzo wysoką dodatnią korelację z łączną zawartością zanieczyszczeń w bioodpadach po kompostowaniu przed oczyszczaniem ($R^2=0,67$). Nie stwierdzono występowania takiej zależności korelacyjnej dla zawartości zanieczyszczeń w bioodpadach przed kompostowaniem ($R^2=0,12$).

Wyznaczona zależność zawartości zanieczyszczeń w kompostach od ich zawartości w bioodpadach po kompostowaniu pozwala na stwierdzenia, że jeżeli bioodpady zawierają średnio <6% ciał obcych można z nich wytworzyć nawóz organiczny o wysokiej jakości.

Reasumując należy stwierdzić, że oba analizowane warianty instalacji podczyszczania bioodpadów charakteryzowały się skutecznością usuwania zanieczyszczeń, która zapewnia uzyskiwanie surowców o jakości „czystych” bioodpadów. Udział zanieczyszczeń odniesiony do suchej masy kompostu był niższy od wartości dopuszczalnych określonych w rozporządzeniu UE w sprawie nawozów (Rozporządzenia (UE), 2019).

Wariant III jest bardziej skuteczny pod względem ogólnego usuwania zanieczyszczeń (75,5% m/m) od Wariantu II (71,7%). Skuteczność obecnie stosowanego systemu to zaledwie 4,9%. Z kolei straty masy substratów w odniesieniu do masy bioodpadów kierowanych do wstępnego oczyszczania dla badanych wariantach dla wariantu II (13,9% m/m) były blisko połowę mniejsze od uzyskiwanej obu opcji wariantu III (IIIa - 27,3 i IIIb - 28,4% m/m).

Jednakże w ogólnej ocenie należy uwzględnić również aspekt ekonomiczny, który w tym przypadku przemawia za wyborem Wariantu II, który jest optymalny pod względem zarówno finansowym, jak i osiągniętych parametrów pracy.

11. Wnioski końcowe

Na podstawie postawionych tez, przeprowadzonych badań eksperymentalnych oraz analizy ich wyników można sformułować następujące wnioski końcowe:

1. Głównym składnikiem bioodpadów z gospodarstw domowych są odpady spożywcze, których udział w masie mokrej bioodpadów na terenach gmin wiejskich oraz w miastach w dzielnicach z zabudową wielorodzinną przekraczał 45% (kolejno $46,9 \pm 16,3$ i $47,7 \pm 16,5\%$), a w bioodpadach z gospodarstw jednorodzinnych w miastach, stanowił $36,6 \pm 18,4\%$. W bioodpadach tych przeważały w odpady ogrodowe $52,9 \pm 18,4\%$.
2. Udział „zanieczyszczeń” w bioodpadach jest stosunkowo wysoki: w bioodpadach zbieranych w workach (tereny wiejskie i miasta z zabudową jednorodziną) wynosił kolejno 12,2 i 11,1% m/m (z workami na bioodpady). Najbardziej zanieczyszczone były bioodpady zbierane w pojemnikach na terenie dzielnic miast z zabudową wielorodzinną (16,6% m/m). Tak wysoki udział zanieczyszczeń może dyskwalifikować ten strumień bioodpadów do produkcji wysokiej jakości kompostu.
3. Przeprowadzone badania wykazały, że procesy fizyczne takie jak mechaniczne rozrywanie i opróżnianie worów, separacja magnetyczna oraz przesiewanie, wsparte sortowaniem ręcznym są skuteczne w usuwaniu zanieczyszczeń z bioodpadów w stopniu gwarantującym spełnienie przez produkty końcowe biologicznego przetwarzania norm (kompost, fermentat) obowiązujących dla nawozów organicznych,
4. Oba badane warianty instalacji mechanicznego oczyszczania bioodpadów przygotowującej odpady do procesów kompostowania bądź fermentacji:
 - o Wariant II: rozdrabniacz dwuwałowy z SFM + kabina sortownicza + sito obrotowe 80 mm;
 - o Wariant III: rozdrabniacz dwuwałowy z SFM + sito gwiazdziste + kabina sortownicza + sito obrotowe 80 mm (opcja);

wykazywały skuteczność usuwania zanieczyszczeń $>72\%$ m/m, a udziały zanieczyszczeń odniesione do suchej masy wytworzonego kompostu wynosiły 0,45 (W-II) i 0,52% sm (W-III).

5. Wariant II linii do mechanicznego oczyszczania bioodpadów, jest optymalnym kompromisem pomiędzy skutecznością a ekonomią. Linia zapewnia wysoką skuteczność usuwania zanieczyszczeń (do poziomu poniżej wartości dopuszczalnych dla kompostów w rozporządzeniu UE w sprawie nawozów (2019) przy niskich jednostkowych kosztach inwestycyjnym (83 zł/Mg) i eksploatacyjnym (45 zł/Mg). Wariant II potwierdza tezę, że możliwe jest wybudowanie linii technologicznej, wykorzystując maszyny i urządzenia powszechnie dostępne na rynku, przy stosunkowo niewielkich nakładach inwestycyjnych oraz kosztach eksploatacji, która pozwoli na skuteczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów.
6. Komposty niezależnie od zastosowanej metody podczyszczania bioodpadów spełniały wymagania dla nawozów organicznych (podobna niska zawartość zanieczyszczeń). Zawierały wysokie i podobne ilości azotu ogólnego ok. 2,5% (m/m) i zróżnicowane, ale

niskie ilości metali ciężkich, znacznie niższe niż dopuszczalne dla nawozów organicznych (Rozporządzenie (MRiRW), 2024). Zastosowanie mechanicznego oczyszczania bioodpadów wpływa jednak znacząco na ilość wytwarzanego kompostu i zawartość w nim substancji organicznych.

7. Mechaniczne opróżnianie worków i oczyszczania bioodpadów nie wpływa negatywnie na przebieg procesu przetwarzania bioodpadów i jakość produkowanego kompostu, ale wpływa na wydajność procesu kompostowania. Teza 2 jest tylko w części prawdziwa.

12. Kierunki dalszych badań

Realizacja badań przedstawionych w niniejszej pracy wykazała wiele zależności i zagadnień wymagających wyjaśnienia oraz szereg elementów procesu, których skuteczność wymagała poprawy.

Głównym kierunkiem dalszych badań będzie wprowadzenie do instalacji oczyszczania zaawansowanych separatorów optycznych. Badania nad wykorzystaniem separacji fotooptycznej mogą znacząco zwiększyć efektywność usuwania drobnych zanieczyszczeń, takich jak mikroplastik, kamienie. Separatory te mogą być zastosowane jako uzupełnienie klasycznych metod oczyszczania, szczególnie w przypadku odpadów kuchennych zawierających drobne cząstki plastiku.

Ważnym zagadnieniem jest też automatyzacja procesów separacji i analiza składu w czasie rzeczywistym. Rozwój systemów opartych na sztucznej inteligencji (AI) oraz czujnikach optycznych pozwoli na bieżące monitorowanie składu strumienia bioodpadów oraz automatyczne dostosowanie parametrów pracy separatorów, co zwiększy efektywność oczyszczania i zmniejszy straty procesowe.

Literatura

1. Accreditation certificate of testing laboratory No AB 772 is valid until 02.01.2027. PCA, Warszawa, 2018.
2. Agyeman F.O., Tao W., 2014. Anaerobic co-digestion of food waste and dairy manure: Effects of food waste particle size and organic loading rate. *Journal of Environmental Management*, 133, 268–274. Pozyskano z: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.016>.
3. Ahmed B., Tyagi V.K., Khan A.A., Kazmi A., 2020. Optimization of process parameters for enhanced biogas yield from anaerobic co-digestion of OFMSW and bio-solids. *Biomass Conversion Biorefinery*, 1–12. Pozyskano z: <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00919-3>.
4. Alessi A., Lopes A.C.P., Muller W., Gerke F., Robra S., Bockreis A., 2020. Mechanical separation of impurities in bio-waste: Comparison of four different pretreatment systems. *Waste Management*, 106, 12–20. Pozyskano z: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.-2020.03.006>.
5. Angouria-Tsorochidou E., Thomsen M., 2021. Modelling the quality of organic fertilizers from anaerobic digestion – Comparison of two collection systems. *Journal of Cleaner Production*, 304, 127081. Pozyskano z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.-2021.127081>.
6. Ariunbaatar J., Panico A., Esposito G., Pirozzi F., Lens P.N.L., 2014. Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste. *Applied Energy*, 123, 143–156.
7. Ba S., Qu Q., Zhang K., Groot J.C.J., 2020. Meta-analysis of greenhouse gas and ammonia emissions from dairy manure composting. *Biosystems Engineering*, 193, 126–137.
8. Badagliacca G., Testa G., La Malfa S.G., Cafaro V., Lo Presti E., Michele Monti M., 2024. Organic Fertilizers and Bio-Waste for Sustainable Soil Management to Support Crops and Control Greenhouse Gas Emissions in Mediterranean Agroecosystems: A Review. *Horticulturae*, 10(5), 427. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050427>.
9. Banks C.J., Heaven S., Zhang Y., Baier U., 2018. Food waste digestion: Anaerobic Digestion of Food Waste for a Circular Economy, IEA Bioenergy Task 37. Pozyskano z: www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/11/IEA-Bioenergy_Task-37-Triennium-2016-2018-2.pdf (dostęp: 2.10.2023).
10. Bayo J., López-Castellanos J., Martínez-García R., Alcolea A., Lardín C., 2015. Hydrocyclone as a cleaning device for anaerobic sludge digesters in a wastewater treatment plant. *Journal of Cleaner Production*, 87, 550–557. Pozyskano z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.064> (dostęp: 8.10.2023).
11. Bernstad A., 2010. Environmental Evaluation of Solid Household Waste Management – the Augustenborg Ecocity Example. Licentiate Thesis, Department for Environmental Engineering, Lund University, Lund, Sweden. Pozyskano z: <https://www.ekoistan.se/wp-content/uploads/2013/07/Kappa-Lic.pdf> (dostęp: 10.11.2023).

12. Bernstad A., 2014. Household food waste separation behavior and the importance of convenience. *Waste Management*, 34 (7), 1317-1323.
13. Bernstad A., Malmquist L., Truedsson C., la Cour Jansen J., 2013. Need for improvements in physical pretreatment of source-separated household food waste. *Waste Management*, 33(3), 746-754. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.06.012>.
14. BioAbfV, 2013: Bioabfallverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 4. April 2013 (BGBl. I S. 658), die zuletzt durch Artikel 5 der Verordnung vom 5. Dezember 2013 (BGBl. I S. 4043) geändert worden ist. Berlin.
15. BiPRO/CRI 2015, Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU, Final report, November 2015, European Commission – DG ENV, Brussels.
16. Boldrin A., Christensen T.H., 2010. Seasonal generation and composition of garden waste in Aarhus (Denmark). *Waste Management*, 30, 551–557.
17. Brás P., Maia S., Simões L.M., Rabaça T., Silva M.E., 2022. Selective collection of bio-waste in a non-intensive urban region – Producers characterization. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 29, 100738.
18. Brown D., Li Y., 2013. Solid state anaerobic co-digestion of yard waste and food waste for biogas production. *Bioresource Technology*, 127, 275–280.
19. Bundesgütegemeinschaft Kompost 2016. Sortenreinheit von Bioabfällen gewährleisten. https://www.kompost.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Themen_Positionen/5.4.6_Position_Sortenreinheit_von_Bioabfaellen_gewaehrleisten.pdf (dostęp: 6.02.2024).
20. Capson-Tojo G., Rouez M., Crest M., Steyer J.F., Delgenès J.F., Escudié R., 2016. Food waste valorization via anaerobic processes: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 15 (3) 499–547.
21. Carlsson M., Lagerkvist A., Morgan-Sagastume F., 2012. The effects of substrate pre-treatment on aerobic digestion systems: A review. *Waste Management*, 32, 1634-1650.
22. Carlsson M., Naroznova I., Møller J., Scheutz Ch., Lagerkvist A., 2015. Importance of food waste pre-treatment efficiency for global warming potential in life cycle assessment of anaerobic digestion systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 102, 58-66.
23. Cesaro A., Belgiorno V., Siciliano, A., Guida, M., 2019. The sustainable recovery of the organic fraction of municipal solid waste by integrated zonation and anaerobic digestion. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 390–397. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.034>.
24. Cheong J.Ch., Lee J.T.E., Lim J.W., Song S., Tan J.K.N., Chiam Z.Y., Yap K.Y., Lim E.Y., Zhang J., Tan H.T.W., Tong Y.W., 2020. Closing the food waste loop: Food waste anaerobic digestate as fertilizer for the cultivation of the leafy vegetable, xiao bai cai (*Brassica rapa*). *Science of The Total Environment*, 715, 1 May, 136789. Pozyskano z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136789> (dostęp: 8.11.2023).
25. Christel W., Bruun S., Magid J., Jensen L.S., 2014. Phosphorus availability from the solid fraction of pig slurry is altered by composting or thermal treatment. *Bioresource technology*, 169, 543–551. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.07>.
26. Czekala W., 2022. Digestate as a Source of Nutrients: Nitrogen and Its Fractions. *Water*, 14, 4067. <https://doi.org/10.3390/w14244067>

27. Czekala W., 2023. Selective Collection and Management of Biowaste from the Municipal Sector in Poland: A Review. *Applied Sciences*, 13(19), 11015. <https://doi.org/10.3390/-app13191101>.
28. David A., Govil T., Tripathi A.K., Mcgeary J., Farrar K., Sani R.K., 2018. Thermophilic anaerobic digestion: enhanced and sustainable methane production from co-digestion of food and lignocellulosic wastes. *Energies*, 11, 1-13. <https://doi.org/10.3390/-en11082058>.
29. Davidsson A., Gruvberger Ch., Christensen T.H., Hansen T.L., 2007. Methane yield in source-sorted organic fraction of municipal solid waste. *Waste Management*, 27(3), 406-14. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.02.013>.
30. Di Maria F., Sisani F., Contini S., 2018. Are EU waste-to-energy technologies effective for exploiting the energy in bio-waste? *Applied Energy*, 230, 1557-1572. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.007>.
31. Dodbiba G., Fujita T., 2004. Progress in Separating Plastic Materials for Recycling. *Physical Separation in Science and Engineering*, 13(3-4), 165-182. <https://doi.org/10.1080/14786470412331326350>.
32. Dri M., Canfora P., Antonopoulos I. and Gaudillat P., 2018. Best Environmental Management Practice for the Waste Management Sector, EUR 29136 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-80361-1, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/50247>.
33. Dronia W., Kostecki J., Połomka J., Jędrzak A., 2023. Composition and selected properties of bio-waste collected in towns from single- and multi-family housing and in rural areas. *Waste Management*, 72(1), 140-150. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.-2023.10.024>.
34. Dronia W., Kostecki J., Połomka J., Jędrzak A., 2024. Bio-waste from urban and rural areas as a source of biogas and methane – A Case Study from Poland. *Energies*, 17(2), 317. <https://doi.org/10.3390/en17020317>.
35. Dubois M., Sims E., Moerman T., Watson D., Bauer B., Bel J-B., Mehlhart G., 2020. Guidance for separate collection of municipal waste, Framework contract: N°ENV/B.3/FRA/2017/005, European Commission Directorate-General for Environment. <https://doi:10.2779/691513>.
36. DüMV, 2023: Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung-DüMV). Pozyskano z: https://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2012/-D%C3%-BCMV.pdf (dostęp: 8.02.2023).
37. Dyrektywa (UE) 2018/849: Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/849 dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywy 2000/53/WE w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji, 2006/66/WE w sprawie baterii i akumulatorów oraz zużytych baterii i akumulatorów i 2012/19/UE w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (Tekst mający znaczenie dla EOG) (Dz.U. L 150/93 z 14.6.2018).
38. Dyrektywa (UE) 2018/850: Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/850 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 1999/31/WE w sprawie składowania odpadów (Dz.U. L 150/100 z 4.6.2018).

39. Dyrektywa (UE) 2018/851: Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2018/851, 2018. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r., zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów. (Dz.U. L 150/109 z 14.6.2018).
40. Dyrektywa (UE) 2018/852: Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/852, 2018. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/852 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 94/62/WE w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych. (Dz.U. L 150/141 z 14.6.2018).
41. ECN, 2019: ECN status report 2019 — European bio-waste management, overview of bio-waste collection, treatment and markets across Europe. Pozyskano z: www.compost-network.info/download/ecn-status-report-2019 (dostęp: 5. 08.2023).
42. ECN, 2022: ECN Data report 2022 - Compost and digestate for a circular bioeconomy: Overview of Bio-waste Collection, Treatment & Markets Across Europe - European Compost. Pozyskano z: <https://www.compostnetwork.info/wordpress/wpcontent/uploads/ECN-rapport-2022.pdf> (dostęp: 14.04.2023).
43. Edjabou M.E., Boldrin A., Astrup T.F., 2018. Compositional analysis of seasonal variation in Danish residual household waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 130, 70-79.
44. EEA, 2020: European Environment Agency. Bio-waste in Europe – Turning Challenges into Opportunities European Environment Agency Report, 10.2800/630938. Pozyskano z: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/waste-recycling-in-europe>. (dostęp: 10.11.2013).
45. Eionet, 2019: European Environment Agency. Environmental information systems. Pozyskano z: <https://www.eea.europa.eu/publications/eionet-core-data-flows-2019>.
46. Eurostat, 2022: Waste generation and treatment. Pozyskano z: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/data/database> (dostęp: 14.04.2023).
47. Faverial J., Sierra J., 2014. Home composting of household biodegradable wastes under the tropical conditions of Guadeloupe (French Antilles). *Journal of Cleaner Production*, 83, 238-244. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.068>.
48. Fisgativa H., Tremier A., Dabert P., 2016. Characterizing the variability of food waste quality: A need for efficient valorization through anaerobic digestion. *Waste Management*, 50, 264-274. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.041>.
49. Fitamo T., Boldrin A., Boe K., Angelidaki I., Scheutz C., 2016. Co-digestion of food and garden waste with mixed sludge from wastewater treatment in continuously stirred tank reactors. *Bioresource Technology*, 206: 245-254.
50. Fricke K., Heußner Ch., Huttner A., Turk T., 2017. Recycling of Biowaste: Experience with Collection, Digestion, and Quality in Germany. *Separation and Recycling*, 175-175. Pozyskano z: Maletz R., Dornack Ch., Institute of Waste Management and Circular Economy, Technische Universität Dresden, Pirna, Germany. DOI:-10.1007/698_2017_34.
51. González-Torre P.L., Adenso-Díaz B., 2005. Influence of distance on the motivation and frequency of household recycling. *Waste Management*, 25(1), 15-23.

52. Götze R., Boldrin A., Scheutz Ch., Astrup T.F., 2016. Physico-chemical characterization of material fractions in household waste: Overview of data in literature. *Waste Management*, 49, 3-14.
53. Gui J., Sun Y., Wang J., Chen X., Zhang S., and Wu D., 2021. Microplastics in composting of rural domestic waste: abundance, characteristics, and release from the surface of macroplastics. *Environmental Pollution*, 274, 116553. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116553>.
54. Gundupalli S.P., Hait S., Thakur A., 2016. A review on automated sorting of source separated municipal solid waste for recycling. *Waste Management*, 60, 56-74.
55. Hage O., Söderholm P., Berglund C., 2009. Norms and economic motivation in household recycling: empirical evidence from Sweden. *Resources, Conservation and Recycling*, 53 (3), 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.11.003>.
56. Hanc A., Novak P., Dvorak M., Habart J., Svehla P., 2011. Composition and parameters of household bio-waste in four seasons. *Waste Management*, 31, 1450-1460.
57. Hansen T.L., Jansen J., Davidsson Å., Christensen T.H., 2007. Effects of pre-treatment technologies on quantity and quality of source-sorted municipal organic waste for biogas recovery. *Waste Management*, 27, 398-405.
58. ISO 2020. ISO/TR 21960:2020, Plastics -environmental aspects - State of knowledge and methodologies (ISO/TR 21960:2020).
59. Jank A., Ebner C., Müller W., Fimml C., Markt R., Bockreis A., 2017a. Kosten und Erlöse bei der Co-Vergärung von mechanisch aufbereitetem Bioabfall in Faultürmen kommunaler Kläranlagen (English: Costs and revenues for codigestion of mechanically pretreated biowaste in wastewater treatment plants). *Österreichische Wasser und Abfallwirtschaft*, 69, 388–396. Pozyskano z: <https://d-nb.info/1140268260/34> (dostęp: 28.06.2017).
60. Jank A., Müller W., Schneider I., Gerke F., Bockreis A., 2015. Waste Separation Press (WSP): A mechanical pretreatment option for organic waste from source separation. *Waste Management*, 39, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.024>.
61. Jank A., Müller W., Waldhuber S., Gerke F., Ebner C., Bockreis A., 2016. Impurities in pretreated bio-waste for co-digestion: A determination approach. *Waste Management*, 52, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.055>.
62. Jank A., Müller W., Waldhuber S., Gerke F., Ebner C., Bockreis A., 2017b. Hydrocyclones for the separation of impurities in pretreated biowaste. *Waste Management*, 64, 12–19.
63. Jędrzak A., 2007. *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
64. Jędrzak A., 2018. Composting and fermentation of biowaste - advantages and disadvantages of processes. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 28 (4), 071-087. DOI:10.2478/ceer-2018-0052.
65. Jędrzak A., Butrymowicz T., 2020. Skład sitowy i morfologiczny odpadów komunalnych. Marszów 2019/2020. Raport IIS, Uniwersytet Zielonogórski.
66. JRC, 2014: Saveyn H., Eder P., 2014. End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals. Report

- EUR 26425, Publications Office of the European Union, Luxembourg. Pozyskano z: <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC87124.pdf>. (dostęp: 7.05.2020).
67. JRC, 2018: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment. Pozyskano z: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/publication/782f00-42-d66f-11e8-9424-01aa75ed71a1/language-en> (dostęp: 7.05.2020).
68. Kelley A., Wilkie A.C., Maltais-Landry G., 2020. Food-Based Composts Provide More Soil Fertility Benefits Than Cow Manure-Based Composts in Sandy Soils. *Agriculture*, 10(3):69. DOI:10.3390/agriculture10030069 (dostęp: 10.10.2023).
69. Kpgo2014: Krajowy plan gospodarki odpadami 2014. Uchwała nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. w sprawie “Krajowego planu gospodarki odpadami 2014” (M.P. 2010.101.1183).
70. Kpgo2028: Krajowy plan gospodarki odpadami 2028. Projekt z dnia 14.06.2022. Pozyskano z: <https://bip.mos.gov.pl/strategie-plany-programy/krajowy-plan-gospodarki-odpadami> (dostęp: 20.09.2023).
71. Kübler H., Hentschke C., Bakenecker U., 2004. Bestimmung von Schwerstoffen in Abfall-Pulpen. *Müll und Abfall*, 581-584. doi.org/10.37307/j.1863-9763.2004.12.01.
72. Kuruti K., Begum S., Ahuja S., Anupaju R.G., Juntupally S., Gandu B., Ahuja K.D., 2017. Exploitation of rapid acidification phenomena of food waste in reducing the hydraulic retention time (HRT) of high rate anaerobic digester without conceding on biogas yield. *Bioresource Technology*, 226, 65-72.
73. Le Pera A., Sellaro M., Bencivenni E., 2022. Composting food waste or digestate? Characteristics, statistical and life cycle assessment study based on an Italian composting plant. *Journal of Cleaner Production*, 350, 131552. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131552>.
74. Lebersorger S., Schneider F., 2011. Discussion on the methodology for determining food waste in household waste composition studies, *Waste Management*, 31, 1924–1933.
75. LeClerc H.O., Page J.R., Tompsett G.A., Niles S.F., McKenna A.M., Valla J.A., Timko M.T., Teixeira A.R., 2023. Emergent Chemical Behavior in Mixed Food and Lignocellulosic Green Waste Hydrothermal Liquefaction. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11, 2427–2439. Pozyskano z: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c06266>.
76. Lopes A.C.P., Robra S., Müller W, Meirer M., Thumser F., Alessi A., Bockreis A., 2019. Comparison of two mechanical pre-treatment systems for impurities reduction of source-separated biowaste, *Waste Management*, 100, 66-74, [doi: 10.1016/j.wasman.2019.09.003](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.003).
77. LUBW, 2018. Sortenreinheit von Bioabfällen, Datenerhebung am Beispiel zweier öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger in Baden-Württemberg (English: Purity degree of biowaste, data collection on the example of two public waste disposal companies in Baden-Württemberg), Karlsruhe, Deutschland. Pozyskano z: [67195-Daten-erhebung-am-Beispiel-zweier-öffentlich-rechtlicher-Entsorgungsträger-in-Baden-Württemberg.pdf](#) (14.10.2023 r.).
78. Malamis D., Moustakas K., Bourka A., Valta K., Skiadi O., Stamatopoulou E., Sotiropoulos A., Panaretou V., Margaritis M., Papadaskalopoulou C., Loizido M., 2015.

- Compositional analysis of food waste from study sites in Greek municipalities, *Waste and Biomass Valorization*, 6(5), 637-646.
79. Manczarski P., Rolewicz-Kalińska A., Lelicińska-Serafin K., 2023. Quantitative Analysis of Household Food Waste Collection in Warsaw: Assessing Efficiency and Waste Minimization. *Sustainability*, 15(24), 16827. doi.org/10.3390/su152416827.
80. Meirer M., 2018. Physikalische Aufbereitung von Restabfällen zur Co-Vergärung in Abwasserreinigungsanlagen (English: Physical pre-treatment of municipal solid waste for the co-digestion in wastewater treatment plants). Universität Innsbruck (Doctoral dissertation), 213.
81. Micolucci F., Gottardo M., Cavinato C., Pavan P., Bolzonella D., 2016. Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of the liquid fraction of pressed bio-waste for high energy yields recovery. *Waste Management*, 48, 227-235.
82. Mondello G., Salomone R., Ioppolo G., Saija G., 2017. Comparative LCA of Alternative Scenarios for Waste Treatment: The Case of Food Waste Production by the Mass-Retail Sector. *Sustainability*, 9(5), 827. <https://doi.org/10.3390/su9050827>.
83. Moretti P., Morais de Araujo J., Borges de Castilhos A., Buffière P., Gourdon R., Bayard R., 2020. Characterization of municipal bio-waste categories for their capacity to be converted into a feedstock aqueous slurry to produce methane by anaerobic digestion. *Science of The Total Environment*, 716, 137084. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137084>.
84. Mshandete A., Björnsson L., Kivasi A., Rubindamayugi M., Mattiasson B., 2006. Effect of particle size on biogas yield from sisal fiber waste. *Renewable Energy*, 31, 2385 – 2392.
85. Nayono S.E., Winter J., Gallert C., 2010. Anaerobic digestion of pressed off leachate from the organic fraction of municipal solid waste. *Waste Management*, 30 (10), 1828 - 1833.
86. Neugebauer M., Sołowiej P., 2017. The use of green waste to overcome the difficulty in small-scale composting of organic household waste. *Journal of Cleaner Production*, 156, 865-875. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.095>.
87. Nowak O., Ebner C., 2016. Verwertung organischer Reststoffe in Faulbehältern kommunaler Kläranlagen (Utilisation of organic residues in sludge digesters of municipal wastewater treatment plants). *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 68, 108-117.
88. De Oliveira M.M., Moretti P., Malinowsky C., Bayard R., Buffière P., de Castilhos Júnior A.B., de Araujo Morais Júnior J., Athayde Júnior G.B., Gourdon R., 2022. Mechanical pre-treatment of source-collected municipal biowaste prior to energy recovery by anaerobic digestion. *Chemosphere*, 292, 133376.
89. Oladejo O., Dahunsi S., Adesulu-Dahunsi A., Ojo O., Lawal A., Idowu E., Olanipekun A., Ibikunle R., Osueke C., Ajayi O., Osueke N., Evbuomwan I., 2020. Energy generation from anaerobic co-digestion of food waste, cow dung and piggery dung. *Bioresource Technology*, 313, 123694. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123694>.
90. Paes L.A.B., Bezerra B.S., Deus R.M., Jugend D., Battistelle R.A.G., 2019. Organic solid waste management in a circular economy perspective – A systematic review and

- SWOT analysis. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118086. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118086>.
91. Panigrahi S., Sharma H.B., Dubey B.K., 2020. Anaerobic co-digestion of food waste with pretreated yard waste: a comparative study of methane production, kinetic modelling and energy balance. *Journal of Cleaner Production*, 243, 1–9.
 92. Pavi S., Kramer L.E., Gomes L.P., Miranda L.A.S., 2017. Biogas production from co-digestion of organic fraction of municipal solid waste and fruit and vegetable waste. *Bioresource Technology*, 228, 362-367. [doi: 10.1016/j.biortech.2017.01.003](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.003).
 93. Perin J.K.H., Borth P.L.B., Torrecilhas A.R., Cunha L.S., Kuroda E.K., Fernandes F., 2020. Optimization of methane production parameters during anaerobic co-digestion of food waste and garden waste. *Journal of Cleaner Production*, 272, 1-7.
 94. Ponsá S., Gea T., Sánchez A., 2010. The effect of storage and mechanical pretreatment on the biological stability of municipal solid wastes. *Waste Management*, 30, 441–445.
 95. Poszytek K., 2016. Mikrobiologiczna Utylizacja Celulozy. *Postępy Mikrobiologii*, 6, 132–146.
 96. Puig-Ventosa I., Freire-González J., Jofra-Sora M., 2013. Determining factors for the presence of impurities in selectively collected biowaste. *Waste Management, Res.* 31, 510–517. <https://doi.org/10.1177/0734242X13482030>.
 97. Rawtec, 2018: Analysis of NSW Food and Garden Bin Audit Data. Rawtec Pty Ltd (Rawtec) May 2018, 21. Pozyskano z: <https://rawtec.com.au/reports/> (dostęp: 9.01.2024).
 98. Rekomendacje dla budowy, 2017; Rekomendacje dla budowy sieci napraw i ponownego użycia oraz wytyczne dotyczące minimalnej funkcjonalności punktów selektywnego zbierania odpadów komunalnych dla jednostek samorządu terytorialnego. SWECO Consulting sp. z o.o., Poznań, listopad 2017. Pozyskano z: https://odpady-help.pl/uploads/files/115/rekomendacje_PSZOK.pdf (dostęp: 11.11.2023).
 99. Ren Y., Yu M., Wu C., Wang Q., Gao M., Huang Q., Liu Y., 2018. A comprehensive review on food waste anaerobic digestion: research updates and tendencies. *Bioresource Technology*, 247, 1069–1076.
 100. Reyes-Torres I.M., Oviedo-Ocaña E.R., Dominguez I., Komilis D., Sánchez A., 2018. A systematic review on the composting of green waste: Feedstock quality and optimization strategies. *Waste Management*, 77, 486-499. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.037>.
 101. Rios Mendoza L.M., Vargas D.L., Balcer M., 2021. Microplastics occurrence and fate in the environment. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 32, 100523. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100523>
 102. Rosemarin A., Macura B., Carolus J., Barquet K., Ek F., Järnberg L., Lorick D., Johannesdottir S., Pedersen S., Koskiahho J., Haddaway N.R., Okruszko T., 2020. Circular nutrient solutions for agriculture and wastewater – a review of technologies and practices. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 45, 78-91.
 103. Roust K., Boltona K., Lundina M., Dahlénb L., 2005. Quantitative assessment of distance to collection point and improved sorting information on source separation of household waste. *Waste Management*, 25(1), 15-23.

104. Rozporządzenia (UE), 2019: Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 z dnia 5 czerwca 2019 r. ustanawiające przepisy dotyczące udostępniania na rynku produktów nawozowych UE, zmieniające rozporządzenia (WE) nr 1069/2009 i (WE) nr 1107/2009 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 2003/2003. Dziennik Urzędowy PL Unii Europejskiej 25.6.2019 L 170/1.
105. Rozporządzenie (UE), 2009: Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 z dnia 21 października 2009 r. określające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi, i uchylające rozporządzenie (WE) nr 1774/2002 (rozporządzenie o produktach ubocznych pochodzenia zwierzęcego) (Dz. Urz. UE L 300/1 z 14.11.2009, z późn. zm.).
106. Rozporządzenie (UE), 2018/848: Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/848 z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie produkcji ekologicznej i znakowania produktów ekologicznych i uchylające rozporządzenie Rady (WE) nr 834/2007 (Dz.U. L 150/1 z 14.6.2018).
107. Rozporządzenie (MK), 2020: Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2020, poz. 10).
108. Rozporządzenie (MKiŚ), 2021: Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 10 maja 2021 r. w sprawie sposobu selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów (Dz.U. 2021, poz. 906).
109. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 9 sierpnia 2024 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2024, poz. 1261).
110. Sayara T., Basheer-Salimia R., Hawamde F., Sánchez A., 2020. Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture. *Agronomy* 10, 1838. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111838>.
111. Scarlat N., Dallemand, J.F., Fahl F., 2018. Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129, 457–472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>.
112. Van Schothorst B., Beriot N., Lwanga E. H., Geissen V., 2021. Sources of light density microplastic related to two agricultural practices: the use of compost and plastic mulch. *Environments* 8, 3. doi:10.3390/environments8040036.
113. Seruga P., Krzywonos M., den Boer E., Niedźwiecki Ł., Urbanowska A., Pawlak-Kruczek H., 2023. Anaerobic Digestion as a Component of Circular Bioeconomy-Case Study Approach. *Energies*, 16. <https://doi.org/10.3390/en16010140>.
114. Shapiro M., Galperin V., 2005. Air classification of solid particles: a review. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 44 (2), 279-285.
115. Shen F., Yuan H., Pang Y., Chen S., Zhu B., Zou D., Liu Y., Ma J., Yu L., Li X., 2013. Performances of anaerobic co-digestion of fruit & vegetable waste (FVW) and food waste (FW): single-phase vs. two-phase. *Bioresource Technology*, 144, 80-85.
116. Shen Y., Linville J.L., Urgun-Demirtas M., Mintz M.M., Snyder S.W., 2015. An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants (WWTPs) in the United States: Challenges and opportunities towards energy-neutral WWTPs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 346–362. Pozyskano z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.129> (dostęp: 6.01.2024).

117. Shi Y., Ge Y., Chang J., Shao H., Yuli Tang Y., 2013. Garden waste biomass for renewable and sustainable energy production in China - potential, challenges and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 432–437.
118. Silvestre G., Bonmatí A., Fernández B., 2015. Optimisation of sewage sludge anaerobic digestion through co-digestion with OFMSW: Effect of collection system and particle size. *Waste Management*, 43, 137-143. doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.029.
119. Souza Machado A.A., Wai Lau Ch., Till J., Kloas W., Lehmann A., Becker R., Rillig M.C., 2018. Impacts of Microplastics on the Soil Biophysical Environment. *Environmental Science & Technology*, 52, 17, 9656–9665.
120. Timlett R.E., Williams I.D., 2008. Public participation and recycling performance in England: A comparison of tools for behaviour change. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(4), 622-634.
121. Tonini D., Dorini G., Astrup T.F., 2014. Bioenergy, material, and nutrients recovery from household waste: advanced material, substance, energy, and cost flow analysis of a waste refinery process. *Applied Energy*, 121, 64-78.
122. Ustawa, 1996: Ustawa z dnia 13 września 1996 r. O utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz.U. 1996 Nr 132 poz. 622).
123. Ustawa, 2012: Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2013 poz. 21).
124. Vázquez M.A., Soto M., 2017. The efficiency of home composting programmers and compost quality. *Waste Management*, 64, 39-50.
125. Vicente P., Reis E., 2008. Factors influencing households' participation in recycling. *Waste Management&Research*, 26 (2), 140-146. <https://doi.org/10.1177/0734242-X07077371>.
126. Wainaina S., Kisworini A.D., Fanani M., Wikandari R., Millati R., Niklasson C., Taherzadeh M.J., 2020. Utilization of food waste-derived volatile fatty acids for production of edible *Rhizopus oligosporus* fungal biomass. *Bioresource Technology*, 310, 123444. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.123444>.
127. Ward C., Litterick A., Stephen N., 2005. Assessment of the potential for site and seasonal variations of composted materials across the UK. Final report: project ORG005, WRAP, Banbury, UK 2005.
128. Weithmann N., Möller J.N., Löder M.G.J., Piehl S., Laforsch C., Freitag R., 2018. Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment. *Science advances*, 4(4), eaap8060. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aap8060>.
129. WRAP, 2008: The food we waste. ISBN 1-84405-383-0 (version 2). WRAP (2008). Pozyskano z: <https://wrap.s3.amazonaws.com/the-food-we-waste.pdf> (dostęp: 10.04.2020).
130. Xu F, Li Y, Ge X, Yang L, Li Y., 2018. Anaerobic digestion of food waste – challenges and opportunities. *Bioresource Technology*, 247:1047–1058. Pozyskano z: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.020> (dostęp: 6.01.2024).
131. Ye M., Liu J., Ma C., Li Y.Y., Zou P., Qian G., Xu Z., 2018. Improving the stability and efficiency of anaerobic digestion of food waste using additives: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 192, 316-326.

132. Yong Z., Dong Y., Zhang X., Tan T., 2015. Anaerobic co-digestion of food waste and straw for biogas production. *Renewable Energy*, 78, 527-530.
133. Zamanzadeh M., Hagen L.H., Svensson K., Linjordet R., Horn S.J., 2016. Anaerobic digestion of food waste – effect of recirculation and temperature on performance and microbiology. *Water Research*, 96, 246–254.
134. Zhang C., Su H., Baeyens J., Tan T., 2014. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 383-392.
135. Zhang L., Sun X., 2016. Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. *Waste Management*, Vol. 48, 115–126.

Spis tabel

Tabela 1.	Średnie roczne składy materiałowe wytwarzanych odpadów komunalnych w roku 2020 (Kpgo2028).....	12
Tabela 2.	Masa bioodpadów zbieranych selektywnie w krajach członkowskich UE w roku 2021 (Eurostat, 2023)	16
Tabela 3.	Charakterystyka jakościowa bioodpadów pochodzenia komunalnego	20
Tabela 4.	Podział mokrej masy frakcji organicznej i balastu oraz suchej masy frakcji organicznej i zawartość w niej substancji organicznej po zastosowaniu prasy ślimakowej, przesiewacza dyskowego i rozdrabniacza z elektromagnesem	31
Tabela 5.	Zakres analizy materiałowej bioodpadów	41
Tabela 6.	Średnie miesięczne ilości wytworzonych bioodpadów i zawartych w nich zanieczyszczeń na mieszkańca oraz udział zanieczyszczeń w bioodpadach wagowo na kontrolowanych obszarach (2022 r.)	48
Tabela 7.	Średnie miesięczne ilości w bioodpadach wszystkich zanieczyszczeń bez frakcji <10 mm i 5 głównych składników na mieszkańca [kg/(M·miesiąc)] oraz średnie miesięczne udziały zanieczyszczeń w bioodpadach jako procent ich masy [% m/m] na kontrolowanych obszarach, w 2022 r.....	49
Tabela 8.	Współczynniki determinacji (R^2) regresji liniowej między zawartościami odpadów kuchennych i ogrodowych a składnikami zanieczyszczeń w bioodpadach w [kg/(M·miesiąc)].....	50
Tabela 9.	Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami w rozdrabniaczu MRW 2.85H	78
Tabela 10.	Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu STAR SELECT	80
Tabela 11.	Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu TEUTON Z50.....	81
Tabela 12.	Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu TERMINATOR	82
Tabela 13.	Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu MATTHIESSEN.....	83
Tabela 14.	Masa bioodpadów, wysortowanych zanieczyszczeń i podczyszczonych bioodpadów kierowanych do biostabilizacji w komorze – Wariant I	84
Tabela 15.	Masy wsadu, wysortowanych zanieczyszczeń i podczyszczonych bioodpadów otrzymane na linii do oczyszczania bioodpadów – Wariant II oraz skład materiałowy frakcji >80 mm i <80 mm.....	86
Tabela 16.	Masy wsadu, wysortowanych zanieczyszczeń i podczyszczonych bioodpadów oznaczone na linii do oczyszczania bioodpadów – Wariant III.....	88
Tabela 17.	Średnie masy strumieni i skład materiałowy surowców oraz produktów pośrednich w procesie produkcji kompostu z bioodpadów podczyszczanych	

	obecnie stosowaną metodą (wariant I) oraz na zaprojektowanych liniach mechanicznego ich oczyszczania (wariant II i III) h)	90
Tabela 18.	Właściwości kompostu.....	91
Tabela 19.	Podstawowe parametry techniczne wybranych do analizy urządzeń pobrane z katalogów i zmierzone w badaniach, cena rynkowa oraz ocena możliwości usunięcia z bioodpadów worków z tworzyw sztucznych	96
Tabela 20.	Masa i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w kolejnych etapach obecnie stosowanego procesu wstępnej obróbki bioodpadów dostarczanych do instalacji w Marszowie.....	98
Tabela 21.	Masa i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w kolejnych etapach procesu wstępnej obróbki bioodpadów dostarczanych do instalacji w Marszowie z zabudowy wiejskiej i jednorodzinnej w miastach, zbieranych w workach oraz z zabudowy wielorodzinnej w miasta zbieranych w pojemnikach – wariant II	101
Tabela 22.	Masa i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w kolejnych etapach procesu wstępnej obróbki bioodpadów (wariant III), dostarczanych do instalacji w Marszowie z zabudowy wiejskiej i jednorodzinnej w miastach, zbieranych w workach oraz z zabudowy wielorodzinnej w miasta zbieranych w pojemnikach	106
Tabela 23.	Charakterystyka kompostów otrzymanych z bioodpadów wstępnie oczyszczonych mechanicznie różnymi metodami	113
Tabela 24.	Zawartość zanieczyszczeń w bioodpadach, bioodpadach po kompostowaniu, w kompoście oraz sprawność ich usuwania	114
Tabela 25.	Kalkulacja kosztów dla analizowanych wariantów	122
Tabela 26.	Jednostkowe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne.....	123

Spis tabel w załączniku

Tabela Z1.	Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w listopadzie 2021 r. z trzech powtórzeń, w kg m/m).....	153
Tabela Z2.	Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w grudniu 2021 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m).....	154
Tabela Z3.	Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w styczniu 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m).....	155
Tabela Z4.	Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w lutym 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m).....	156
Tabela Z5.	Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w marcu 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m).....	157
Tabela Z6.	Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w kwietniu 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m).....	158
Tabela Z7.	Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w maju 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m).....	159
Tabela Z8.	Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w czerwcu 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m).....	160
Tabela Z9.	Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w lipcu 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m).....	161
Tabela Z10.	Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w sierpniu 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m).....	162
Tabela Z11.	Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie we wrześniu 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m).....	163
Tabela Z12.	Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w październiku 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m).....	164
Tabela Z13.	Wilgotność i straty prażenia składników bioodpadów zbieranych w workach na terenie miast z zabudową jednorodzinną	165
Tabela Z14.	Wilgotność i straty prażenia składników bioodpadów zbieranych w pojemnikach w miastach z zabudową wielorodzinną.....	166
Tabela Z15.	Wilgotność i straty prażenia składników bioodpadów zbieranych w workach na terenie gmin wiejskich	167
Tabela Z16.	Skład morfologiczny frakcji <10 mm wydzielanej z bioodpadów zbieranych na terenie gmin objętych badaniami	167
Tabela Z17.	Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu MRW 2.85 H	169
Tabela Z18.	Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu LIS.....	170
Tabela Z19.	Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu STAR SELECT S60 dla minimalnej i maksymalnej prędkości obrotowej pokładu gwiazd małych i dużych	171

Tabela Z20. Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu STAR SELECT S60 dla prześwitu gwiazd małych 10 i 25 mm.....	171
Tabela Z21. Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu TEUTON Z50	171
Tabela Z22. Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu TERMINATOR 5000S	172
Tabela Z23. Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu MATTHIESSEN	172
Tabela Z24. Zanieczyszczenia wysortowane w kabinie sortowniczej po rozrywaniu do worków MATTHIESSEN	173
Tabela Z25. Masy strumieni i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w kolejnych etapach procesu wstępnego oczyszczania bioodpadów z Marszowa - Wariant II, oraz wilgotność strumieni odpadów	174
Tabela Z26. Masy strumieni, ich wilgotność i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w kolejnych etapach procesu wstępnego oczyszczania bioodpadów z Marszowa - Wariant III	179
Tabela Z27. Masy strumieni, ich wilgotność i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w kolejnych etapach przetwarzania bioodpadów w kompost	182

Spis rysunków

Rys. 1. Wymagane poziomy przygotowania odpadów komunalnych do ponownego użycia i recyklingu.....	10
Rys. 2. Wytwarzanie bioodpadów komunalnych na osobę i udział bioodpadów w odpadach komunalnych, w krajach członkowskich UE, w 2017 r.	11
Rys. 3. Bioodpady zbierane selektywnie w Polsce w latach 2005-2022	17
Rys. 4. Skład komunalnych bioodpadów w krajach UE w 2017 r.	18
Rys. 5. Rozkład wielkości cząstek czterech rodzajów bioodpadów: odpadów ogrodowych oraz bioodpadów z restauracji, z gospodarstw domowych i z supermarketów. Wyniki odniesione do sm, wartości średnie z trzech powtórzeń testów	19
Rys. 6. Zawartość zanieczyszczeń w czterech rodzajach bioodpadów	23
Rys. 7. Ilości odpadów biodegradowalnych dostarczanych do instalacji w Marszowie, w latach 2016 – 2022	34
Rys. 8. Miesięczne zmiany wskaźnika ilości bioodpadów na mieszkańca zbieranych selektywnie w miastach i na terenach wiejskich w okresie od listopada 2021 do października 2022 r.....	43
Rys. 9. Średnie wartości roczne oraz miesięczne zmiany udziałów w bioodpadach: odpadów ogrodowych, jadalnych i niejadalnych odpadów żywności, zanieczyszczeń oraz worków do ich selektywnego zbierania, na kontrolowanych obszarach	44
Rys. 10. Wartości średnie dla okresu od listopada 2021 do października 2022 r. oraz miesięczne zmiany udziałów składników zaliczanych do zanieczyszczeń w bioodpadach zbieranych selektywnie na terenach gmin wiejskich oraz w miastach z zabudowy jednorodzinnej i wielorodzinnej	46
Rys. 11. Średni roczny skład materiałowy frakcji <10 mm wydzielonej z bioodpadów zbieranych selektywnie na terenie gmin wiejskich (W) oraz z gospodarstw domowych w miastach z zabudowy jednorodzinnej (MJ) i wielorodzinnej (MW) oraz skład materiałowy zawartych w nich zanieczyszczeń	47
Rys. 12. Korelacje między zawartością odpadów kuchennych (spożywczych) i ogrodowych w bioodpadach zbieranych na kontrolowanych terenach a łączną zawartością zanieczyszczeń.....	51
Rys. 13. Udział głównych grup zanieczyszczeń w bioodpadach – wartości średnie dla wszystkich typów zabudowy dla okresu od 11. 2021 do 10. 2022 r.	53
Rys. 14. Schemat blokowy układu modułu przygotowania wsadu do procesu fermentacji i kompostowania.....	54
Rys. 15. Budowa rozrywarki worków LIS	58
Rys. 16. Budowa urządzenia Matthiessen przeznaczonego do rozrywania worków	65
Rys. 17. Schemat technologiczny linii obecnie stosowanej do oczyszczania bioodpadów.....	71

Rys. 18. Schemat technologiczny proponowanej linii mechanicznego oczyszczania bioodpadów – wariant II	71
Rys. 19. Schemat technologiczny proponowanej linii mechanicznego oczyszczania bioodpadów – wariant III	72
Rys. 20. Schemat technologiczny linii mechanicznego oczyszczania kompostu	75
Rys. 21. Wydajność opróżniania worków z bioodpadami w zależności od prędkości przesuwu przenośnika płytowego (liczby obrotów wału zwrotnego).....	79
Rys. 22. Straty masy bioodpadów w zależności od prędkości (liczby obrotów) wału zwrotnego	79
Rys. 23. Wydajność urządzeń osiągnięta w badaniach dla najwyższej i najniższej prędkości wału obrotowego lub przesuwu taśmociągu oraz wartość podana przez producenta	92
Rys. 24. Zależność wydajności rozdrabniacza dwuwałowego PRONAR od czasu pracy urządzenia	93
Rys. 25. Zależność wydajności rozdrabniacza dwuwałowego PRONAR od prędkości obrotowej wałów rozdrabniających	93
Rys. 26. Strata bioodpadów łatwo usuwanych z worków uzyskana na urządzeniach objętych badaniami	94
Rys. 27. Całkowita strata bioodpadów uzyskana na urządzeniach objętych badaniami.....	95
Rys. 28. Poziomy wysortowania zanieczyszczeń w kabinie sortowniczej po rozdrabniaczu PRONAR MRW 2.85 i rozrywarce do worków MATTHIESSEN.....	97
Rys. 29. Bilans masowy obecnie stosowanego procesu oczyszczania bioodpadów w Marszowie	99
Rys. 30. Sprawność usuwana zanieczyszczeń (η) składników materiałowych w kolejnych etapach obecnie stosowanego procesu wstępnej obróbki bioodpadów.....	99
Rys. 31. Bilans masowy przetwarzania bioodpadów na linii do ich mechanicznego oczyszczania – wariant II (wartości średnie dla 14 serii pomiarowych przetwarzania bioodpadów)	102
Rys. 32. Sprawność usuwana składników materiałowych(η) w kolejnych etapach procesu wstępnej obróbki bioodpadów (wartości średnie z 14 serii pomiarów)	103
Rys. 33. Sprawność usuwana zanieczyszczeń (η) składników materiałowych w kolejnych etapach procesu wstępnej obróbki bioodpadów z terenów wiejskich (wartości średnie - 3 serie), z zabudowy jednorodzinnej w miastach (6 serii), odpady z zabudowy wielorodzinnej w miastach (5 serii).....	104
Rys. 34. Bilans masowy przetwarzania bioodpadów na linii do mechanicznego ich oczyszczania – wariant III wartości średnie dla 6 serii pomiarowych przetwarzania bioodpadów)	107
Rys. 35. Sprawność usuwana składników materiałowych (η) w kolejnych etapach procesu wstępnej obróbki bioodpadów (wartości średnie z 6 serii pomiarów)	107
Rys. 36. Średnia sprawność usuwana składników materiałowych (η) w kolejnych etapach procesu wstępnej obróbki bioodpadów z terenów wiejskich (2 serie) oraz z zabudowy jednorodzinnej (2 serie) i wielorodzinnej w miastach (2 serie) ...	108

- Rys. 37. Bilans masowy kompostowania bioodpadów podczyszczanych metodą obecnie stosowaną (wariant I) oraz na dwóch proponowanych liniach do mechanicznego ich oczyszczania (wariant II i III – wartości średnie dla 3 serii pomiarowych) 112
- Rys. 38. Skład morfologiczny polepszaczy glebowych (kompostów) uzyskanych w procesie przetwarzania bioodpadów wstępnie mechanicznie podczyszczanych trzema analizowanymi metodami: obecnie stosowaną (W- I) i w dwóch nowych rozwiązaniach linii (W- II i W-III), wyrażony w procentach masy mokrej (A) i suchej (B) 113
- Rys. 39. Zmiany zawartości zanieczyszczeń w kompoście w zależności od ich zawartości w bioodpadach (surowcu) i w bioodpadach po kompostowaniu wyrażone w procentach masy suchej 115
- Rys. 40. Rozkład masy substancji organicznych i składników frakcji „zanieczyszczenia” pomiędzy substratem do biologicznego przetwarzania i balastem dla badanych wariantów wstępnego mechanicznego oczyszczania bioodpadów (W-I, W-II, i W-III w dwóch wersjach bez sita na końcu linii (W- IIIa) i (W-IIIb) 117
- Rys. 41. Bilans masowy substancji organicznych i zanieczyszczeń w zbieranych bioodpadach (Bioodpady), podczyszczonych bioodpadach (Substrat) i usuwanych zanieczyszczeniach (Balast), w % sm, dla trzech badanych wariantów mechanicznego oczyszczania bioodpadów (W-I, W-II, W-IIIa i IIIb) 119

Spis fotografii

Fot. 1.	Manualne usuwanie zanieczyszczeń ze strumienia bioodpadów dostarczanych na instalację oraz proces formowania pryzm przez przerzucarkę	35
Fot. 2.	Mobilny dwuwałowy rozdrabniacz MRW 2.85H	56
Fot. 3.	Dwuwałowy rozdrabniacz PRONAR MRW 2.85H: A– wanna zasypowa, B – wały rozdrabniające	57
Fot. 4.	Rozrywarka worków LIS: A - układ rozrywania worków, B - przenośnik sortowniczy	58
Fot. 5.	Mobilny przesiewacz gwiaździsty STAR SELEKT S60	60
Fot. 6.	System oczyszczania pokładu gwiaździstego DURAMAX	60
Fot. 7.	Mobilny rozdrabniacz jednowałowy TEUTON Z50	61
Fot. 8.	Wał rozdrabniający wyposażony w noże Multi Grip	62
Fot. 9.	Budowa mobilnego rozdrabniacza jednowałowego TERMINATOR 5000S.....	63
Fot. 10.	Układ rozdrabniający TERMINATOR 5000S	64
Fot. 11.	Rozrywarka worków Matthiessen	66

Załączniki

Tabela Z1. Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w listopadzie 2021 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m)

Gmina		Wiejska				Miejska							
		Żary	Żagań	Trzebień	Wymiarki	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica
Rodzaj zabudowy		Jednorodzinna				Jednorodzinna				Wielorodzinna			
Data badań		2021-11-29	2021-11-26	2021-11-22	2021-11-24	2021-11-15	2021-11-24	2021-11-23	2021-11-23	2021-11-22	2021-11-30	2021-11-30	2021-11-23
Masa próbki		210,8	119,3	105,5	72,0	110,3	78,0	84,0	76,0	80,3	77,0	73,5	85,2
Masa opakowań (worki)		3,1	2,5	2,0	2,8	2,5	2,0	3,0	2,8	-	-	-	-
Odpady spożywcze (marmotrawstwo)	chleb i pieczywo	0,0	5,0	2,0	0,0	0,0	2,0	0,0	2,0	0,0	3,0	5,0	4,7
	mięso i ryby	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	8,0	2,0
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	1,0	0,0	2,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	5,0
	owoce i warzywa	4,8	3,0	1,0	0,0	0,0	5,0	0,0	2,0	15,0	8,0	0,0	1,0
	inne resztki	0,0	0,0	2,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0
	Razem frakcja	4,8	8,0	5,5	5,0	0,0	8,5	0,0	5,0	15,0	18,0	17,5	12,7
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	1,5	0,5	4,0	5,8	0,0	1,5	0,0
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0
	owoce i warzywa	74,2	28,0	15,0	0,0	0,0	3,5	9,5	15,0	24,5	35,0	28,0	35,0
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	74,2	28,0	15,0	3,5	2,0	8,0	10,0	19,0	30,3	36,0	31,5	35,0
Odpady roślinne	trawa	111,5	24,0	25,0	15,0	6,6	0,0	30,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	liście	0,0	47,0	35,0	20,0	98,0	38,0	25,0	20,0	5,0	0,0	4,0	0,0
	gałęzie i inne brązowe	0,0	0,0	18,0	15,0	1,4	12,0	8,0	15,0	8,0	15,0	5,0	0,0
	inne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	111,5	71,0	78,0	50,0	105,9	50,5	63,0	50,0	13,0	15,0	9,0	0,0
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	papier	worki torby	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	2,0	0,0	5,0
		reszta	0,0	1,0	2,0	0,0	0,5	1,0	0,0	2,0	0,0	3,5	0,0
	tworzywa sztuczne	worki torby	0,0	3,0	2,0	0,0	0,5	0,0	0,0	1,5	1,0	2,5	3,5
		reszta	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0	3,0	8,0
	szkło	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	tekstylia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	metale	nFe.	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Fe	0,0	0,0	0,5	0,0	1,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	2,5
	odpady wielomateriałowe	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	gruz, kamienie	8,4	4,8	0,0	8,0	0,0	5,0	10,0	0,0	8,0	1,0	5,0	15,0
	frakcja <10 mm	2,0	3,5	1,5	2,5	1,4	2,5	1,0	2,0	3,0	2,0	1,5	3,5
	Razem frakcja	20,3	12,3	7,0	13,5	2,4	11,0	11,0	2,0	22,0	8,0	15,5	37,5

Tabela Z2. Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w grudniu 2021 r.
(wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m)

Gmina		Wiejska				Miejska							
		Żary	Żagań	Trzebień	Wymiarki	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica
Rodzaj zabudowy		Jednorodzinna				Jednorodzinna				Wielorodzinna			
Data badań		2021-12-09	2021-12-14	2021-12-20	2021-12-16	2021-12-09	2021-12-09	2021-12-16	2021-12-22	2021-12-09	2021-12-09	2021-12-16	2021-12-22
Masa próbek		105,6	130,3	78,4	80,1	132,2	82,5	86,4	104,4	141,4	149,5	100,9	162,5
Masa opakowań (worki)		4,1	1,8	3,5	5,2	3,4	3,3	2,8	3,5	-	-	-	-
Odpady spożywcze (marnotrawstwo)	chleb i pieczywo	0,0	0,3	0,5	0,2	0,0	3,1	1,0	0,8	0,7	0,0	0,0	0,8
	mięso i ryby	2,0	0,3	1,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
	nabiał	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	2,9	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,5	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,7
	owoce i warzywa	0,0	18,7	5,0	8,0	2,9	0,0	8,0	0,5	1,3	5,2	0,0	5,9
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
	Razem frakcja	2,2	19,2	7,0	12,4	2,9	3,1	9,0	3,3	2,0	8,1	0,0	8,7
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	nabiał	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	72,2	38,8	24,0	25,0	35,5	45,8	35,0	39,0	20,8	67,5	0,0	68,3
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	72,2	38,8	25,5	25,5	35,5	45,8	35,0	39,6	20,9	67,5	0,0	68,3
Odpady roślinne	trawa	17,2	0,0	16,3	14,5	0,0	11,8	18,0	21,0	0,0	3,0	8,3	5,1
	liście	0,0	42,0	8,5	12,0	69,4	11,6	9,5	15,0	70,8	43,0	91,1	41,0
	gałęzie i inne brązowe	5,5	29,0	12,3	8,5	0,0	4,9	5,5	17,0	23,0	9,4	0,0	0,0
	inne	8,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,3
	Razem frakcja	31,2	71,4	37,1	35,0	69,4	28,2	33,0	53,0	93,8	55,3	99,3	61,4
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
	papier	worki torby	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
		reszta	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	4,6	2,5	0,5
	tworzywa sztuczne	worki torby	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	3,3	0,0	1,0	4,5	8,5	1,6
		reszta	0,0	0,3	0,5	0,5	0,1	2,1	0,5	2,5	0,7	4,2	0,4
	szkło	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	tekstylia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	metale	nFe.	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0
		Fe	0,0	0,0	0,2	0,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	odpady wielomateriałowe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	gruz, kamienie	0,0	0,4	2,5	0,0	20,0	0,0	2,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0
	frakcja <10 mm	0,0	0,0	5,5	3,5	1,0	0,0	5,0	4,5	12,9	0,0	0,0	19,0
	Razem frakcja	0,0	0,9	8,8	7,2	24,5	5,4	9,4	8,5	24,8	18,7	1,6	24,2

Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów

Tabela Z3. Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w styczniu 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m)

Gmina		Wiejska				Miejska							
		Żary	Żagań	Trzebień	Wymiarki	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica
Rodzaj zabudowy		Jednorodzinna				Jednorodzinna				Wielorodzinna			
Data badań		2022-01-11	2022-01-17	2022-01-12	2022-01-25	2022-01-20	2022-01-10	2022-01-11	2022-01-10	2022-01-20	2022-01-11	2022-01-31	2022-01-11
Masa próbki		148,5	168,4	185,9	85,2	311,1	138,6	187,2	92,7	305,3	98,4	80,3	168,8
Masa opakowań (worki)		5,5	8,5	4,3	4,8	7,6	4,5	4,3	4,3	-	-	-	-
Odpady spożywcze (marnotrawstwo)	chleb i pieczywo	14,9	1,2	1,7	1,0	1,4	1,1	3,8	1,9	2,5	2,2	1,5	4,9
	mięso i ryby	0,0	2,7	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,5	1,6
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	1,3	0,7	0,0	1,7
	suszona żywność	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	38,6	11,0	17,7	10,0	3,1	11,0	3,0	3,1	20,2	5,4	8,0	11,2
	inne resztki	0,0	0,6	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,1
	Razem frakcja	53,5	16,2	19,4	12,5	4,8	12,0	6,7	5,0	25,3	8,6	10,0	19,4
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	1,5	0,0
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	55,7	83,0	157,9	45,0	71,8	57,7	41,8	56,5	232,2	56,1	25,0	119,6
	inne resztki	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	55,7	85,5	157,9	45,0	71,8	57,7	41,8	57,0	232,2	56,1	26,5	119,6
Odpady roślinne	trawa	4,2	0,0	7,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	liście	32,2	0,0	0,0	15,0	205,8	59,1	108,2	18,9	20,1	15,9	18,0	0,0
	gałęzie i inne brązowe	0,0	0,0	0,0	8,0	5,5	9,4	25,6	5,4	2,6	9,0	12,5	0,0
	inne	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,3
	Razem frakcja	36,4	0,0	7,0	23,0	228,3	68,5	133,8	24,3	22,7	24,8	30,5	15,3
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	0,0	65,9	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8
	papier	worki torby	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0
		reszta	0,0	0,0	0,0	1,5	0,7	0,0	1,8	0,1	0,0	0,3	1,4
	tworzywa sztuczne	worki torby	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	19,5	3,5	4,5	9,1
		reszta	0,5	0,3	0,5	1,0	1,1	0,5	0,4	2,5	0,0	1,8	0,7
	szkło	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	tekstylia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,6	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0
	metale	nFe.	0,0	0,0	0,1	0,5	0,2	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
		Fe	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,7
	odpady wielomaterialowe	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,7	4,2	0,0	0,0
	gruz, kamienie	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0
	frakcja <10 mm	2,0	0,5	1,0	1,5	1,0	0,0	1,0	4,5	1,0	1,0	3,5	0,0
	Razem frakcja	3,0	66,7	1,6	4,7	6,2	0,5	4,9	6,5	25,2	8,9	13,3	14,5

Tabela Z4. Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w lutym 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m)

Gmina		Wiejska				Miejska							
		Żary	Żagań	Trzebień	Wymiarki	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica
Rodzaj zabudowy		Jednorodzinna				Jednorodzinna				Wielorodzinna			
Data badań		2022-02-04	2022-02-08	2022-02-08	2022-02-02	2022-02-23	2022-02-11	2022-02-10	2022-02-14	2022-02-07	2022-02-03	2022-02-15	2022-02-10
Masa próbek		217,3	151,3	127,2	144,2	156,7	149,2	85,7	128,1	231,3	144,7	108,8	116,9
Masa opakowań (worki)		8,5	7,2	6,9	5,5	12,0	6,4	4,3	5,0	-	-	-	-
Odpady spożywcze (marmotrawstwo)	chleb i pieczywo	1,4	0,4	0,4	5,3	3,7	5,5	2,9	1,9	0,7	0,5	1,2	1,2
	mięso i ryby	0,0	0,1	1,5	0,0	0,0	1,8	0,0	0,4	0,7	0,2	2,9	0,5
	nabiał	0,0	0,3	1,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2
	suszona żywność	0,4	0,0	0,5	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	9,6	11,7	12,3	3,8	6,3	4,8	2,0	2,4	0,0	3,1	10,5	5,9
	inne resztki	0,0	0,1	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	11,3	12,6	16,0	10,0	10,7	12,0	4,8	4,7	6,0	3,8	14,6	8,7
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	0,7	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,0	0,7	0,0
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	150,0	136,1	98,8	86,0	125,5	134,9	69,8	103,2	187,3	93,1	64,9	87,4
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	150,7	136,1	99,3	86,0	125,5	134,9	69,8	103,3	188,0	93,1	65,5	87,4
Odpady roślinne	trawa	0,0	0,0	0,0	9,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,7	0,0	0,0
	liście	28,8	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	2,9	12,9	0,0	16,0	0,0	0,0
	gałęzie i inne brzozy	6,1	0,0	0,0	10,8	10,4	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0
	inne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	34,9	0,0	0,0	23,8	10,4	0,0	2,9	12,9	1,4	29,6	0,0	0,0
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	15,6	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0	5,8	0,0	1,5	5,4	2,3	2,7
	papier	worki torby	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		reszta	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,3	2,0	0,9
	tworzywa sztuczne	worki torby	0,5	0,0	0,0	6,1	0,5	1,5	1,0	4,3	18,8	9,4	0,3
		reszta	2,1	0,0	3,3	1,2	0,7	0,0	0,0	0,8	3,3	0,1	8,7
	szkło	0,4	0,2	2,1	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	5,9	1,0
	tekstylia	0,0	0,1	3,3	0,4	0,9	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,9	2,5
	metale	nFe.	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,5	0,5
		Fe	0,3	0,5	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2	0,5	0,5
	odpady wielomateriałowe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	2,8	0,0	6,5	0,0
	gruz, kamienie	1,3	0,5	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	frakcja <10 mm	0,5	1,0	0,5	10,8	2,5	0,8	1,5	0,5	1,8	3,0	1,3	1,0
	Razem frakcja	20,5	2,7	11,9	24,5	10,3	2,3	8,3	7,3	36,0	18,2	28,8	20,8

Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów

Tabela Z5. Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w marcu 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m)

Gmina		Wiejska				Miejska							
		Żary	Żagań	Trzebień	Wymiarki	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica
Rodzaj zabudowy		Jednorodzinna				Jednorodzinna				Wielorodzinna			
Data badań		2022-03-17	2022-03-14	2022-03-16	2022-03-15	2022-03-28	2022-03-16	2022-03-14	2022-03-11	2022-03-10	2022-03-11	2022-03-10	2022-03-15
Masa próbki		148,0	136,7	154,4	118,5	139,5	106,1	102,6	100,8	114,1	100,9	106,5	123,4
Masa opakowań (worki)		3,5	4,8	7,0	6,5	5,9	4,0	4,8	3,9	-	-	-	-
Odpady spożywcze (marnotrawstwo)	chleb i pieczywo	5,2	0,6	10,9	0,4	2,2	3,8	1,0	1,3	0,7	6,0	1,0	5,5
	mięso i ryby	1,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
	owoce i warzywa	4,5	0,5	9,7	1,9	7,6	0,8	1,9	7,9	3,7	4,4	0,0	3,7
	inne resztki	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	0,0
	Razem frakcja	11,3	1,1	21,0	2,4	9,7	5,3	3,1	9,2	4,7	10,4	2,2	9,4
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2	0,4
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	34,2	36,2	124,3	53,1	42,3	24,5	36,7	28,7	35,2	35,9	22,6	55,1
	inne resztki	0,5	0,0	0,0	1,3	0,5	0,0	0,0	1,5	0,0	3,1	0,0	0,0
	Razem frakcja	35,7	36,4	124,3	54,7	42,8	24,5	36,7	30,2	35,2	40,0	22,8	55,5
Odpady roślinne	trawa	12,1	20,5	5,4	15,8	18,4	29,0	26,1	0,0	15,3	1,5	12,3	5,3
	liście	36,7	39,5	0,0	6,3	27,6	0,0	29,3	38,7	21,2	7,5	20,8	23,1
	gałęzie i inne brązowe	46,3	12,0	0,0	2,7	28,7	27,5	5,8	13,3	27,3	2,5	30,7	7,2
	inne	2,1	24,1	0,0	21,7	12,3	6,7	0,0	8,7	0,0	8,5	12,6	12,2
	Razem frakcja	97,2	96,1	5,4	46,5	87,0	63,2	61,2	60,7	63,8	20,0	76,4	47,8
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	papier	worki torby	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		reszta	0,0	0,0	0,3	1,1	0,0	0,8	0,0	0,8	4,3	0,7	1,3
	tworzywa sztuczne	worki torby	0,0	0,8	1,0	0,7	0,0	0,5	0,2	6,7	5,7	3,3	6,3
		reszta	3,0	0,0	0,9	0,4	0,0	5,8	0,0	0,5	6,9	0,6	2,0
	szkło	0,0	0,6	0,0	10,2	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	6,1	0,0	0,3
	tekstylia	0,3	0,0	0,7	2,3	0,0	0,9	0,0	0,0	0,3	4,8	0,1	0,0
	metale	nFe.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,5	0,7	0,0	0,4
		Fe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
	odpady wielomaterialowe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,7	0,3	0,0	0,0
	gruz, kamienie	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
	frakcja <10 mm	0,5	0,5	1,0	0,3	0,0	1,0	0,9	0,5	1,0	1,7	0,5	0,4
	Razem frakcja	3,8	3,1	3,9	14,9	0,0	13,2	1,6	0,7	10,5	30,6	5,1	10,8

Tabela Z6. Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w kwietniu 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m)

Gmina		Wiejska				Miejska							
		Żary	Żagań	Trzebień	Wymiarki	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica
Rodzaj zabudowy		Jednorodzinna				Jednorodzinna				Wielorodzinna			
Data badań		2022-04-11	2022-04-13	2022-04-12	2022-04-08	2022-04-11	2022-04-15	2022-04-08	2022-04-15	2022-04-11	2022-04-13	2022-04-14	2022-04-14
Masa próbek		112,6	145,3	127,7	119,2	117,7	136,3	111,1	103,3	139,4	132,4	146,6	100,1
Masa opakowań (worki)		4,0	6,0	6,5	3,9	5,8	4,8	5,0	6,0	-	-	-	-
Odpady spożywcze (marmotrawstwo)	chleb i pieczywo	5,4	0,9	3,9	0,0	0,0	0,0	5,9	6,1	4,2	1,4	1,9	3,5
	mięso i ryby	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,8	1,2	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,2	0,0
	owoce i warzywa	8,0	9,4	8,3	6,9	9,7	0,8	7,3	1,8	8,2	9,3	1,2	5,1
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	14,4	11,0	14,4	8,0	9,7	0,8	13,4	7,9	15,8	12,4	3,2	8,6
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,2
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	17,2	72,4	80,0	29,3	68,7	29,3	58,9	72,6	58,7	39,5	59,9	49,2
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	17,2	72,4	80,2	29,3	68,7	29,3	58,9	72,6	60,1	39,5	59,9	49,4
Odpady roślinne	trawa	27,4	12,5	6,8	19,3	22,4	80,2	18,3	2,8	32,0	12,4	0,0	19,2
	liście	23,4	19,3	7,5	37,2	0,0	7,4	14,9	0,0	5,7	13,8	54,0	0,0
	gałęzie i inne brzozy	12,6	0,0	12,2	7,3	11,9	15,7	0,0	0,0	8,9	8,3	0,0	0,0
	inne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0
	Razem frakcja	63,4	31,8	26,5	63,8	34,3	103,3	33,2	2,8	46,6	37,9	54,0	19,2
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	0,0	15,4	0,5	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	1,3	1,9	0,0	0,0
	papier	worki torby	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		reszta	1,4	0,0	0,3	1,3	0,0	3,2	0,0	1,1	13,6	0,0	2,3
	tworzywa sztuczne	worki torby	1,6	0,2	0,8	0,5	0,0	0,8	0,5	7,3	6,8	3,9	5,3
		reszta	0,0	0,9	0,7	0,0	0,0	0,2	0,0	1,7	0,0	0,0	2,4
	szkło	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,7	1,2	3,9	1,9	0,0	1,9
	tekstylia	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	1,2	0,0	1,2
	metale	nFe.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
		Fe	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	0,5	0,2	0,0	0,4
	odpady wielomateriałowe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0
	gruz, kamienie	0,0	0,0	0,5	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
	frakcja <10 mm	14,6	13,7	0,8	16,7	0,0	1,2	0,5	18,3	0,0	12,5	25,6	9,5
	Razem frakcja	17,6	30,1	6,7	18,1	5,1	2,9	5,7	20,0	16,9	42,7	29,5	22,9

Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów

Tabela Z7. Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w maju 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m)

Gmina		Wiejska				Miejska							
		Żary	Żagań	Trzebień	Wymiarki	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica
Rodzaj zabudowy		Jednorodzinna				Jednorodzinna				Wielorodzinna			
Data badań		2022-05-10	2022-05-18	2022-05-18	2022-05-11	2022-05-19	2022-05-10	2022-05-11	2022-05-09	2022-05-12	2022-05-19	2022-05-09	2022-05-18
Masa próbki		101,0	102,6	101,8	110,4	100,1	102,1	134,7	105,6	114,4	100,0	159,7	102,2
Masa opakowań (worki)		4,2	6,0	5,5	5,3	7,0	4,8	5,6	4,0	-	-	-	-
Odpady spożywcze (marnotrawstwo)	chleb i pieczywo	0,0	0,3	1,2	0,0	2,7	0,8	0,0	0,5	1,0	0,0	0,0	0,7
	mięso i ryby	0,0	0,0	0,2	1,9	0,5	0,0	0,0	0,0	0,7	0,3	0,0	0,0
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,4	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	0,0	1,3	17,8	4,7	3,9	2,1	0,9	3,6	2,6	3,8	1,2	6,2
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,9	0,0	0,0
	Razem frakcja	0,0	2,0	19,2	6,5	8,0	2,9	0,9	4,1	4,8	4,9	1,2	6,9
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	0,0	55,8	64,7	53,3	57,6	47,7	0,0	43,0	62,7	47,3	28,7	42,8
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0
	Razem frakcja	0,0	56,1	64,7	53,3	57,6	47,7	0,0	43,4	62,7	48,2	28,7	42,8
Odpady roślinne	trawa	40,3	5,8	0,0	14,6	7,8	28,4	122,1	32,7	0,0	8,3	88,3	36,5
	liście	21,1	1,5	0,0	26,3	6,3	6,9	0,0	12,6	2,1	0,0	0,0	0,0
	gałęzie i inne brązowe	26,3	8,8	0,0	4,8	5,8	12,5	10,3	2,5	7,3	14,7	0,0	4,9
	inne	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	88,2	16,1	0,0	45,7	19,9	47,8	132,4	49,3	9,4	23,0	88,3	41,4
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	0,0	0,8	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	12,6	0,4
	papier	worki torby	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		reszta	0,0	0,7	0,4	0,7	2,8	0,0	0,0	0,9	1,8	0,0	1,1
	tworzywa sztuczne	worki torby	0,5	0,5	1,2	0,3	1,2	1,7	1,4	0,9	6,8	7,5	4,3
		reszta	0,0	1,3	1,4	0,5	1,8	0,0	0,0	0,4	0,9	3,1	0,8
	szkło	0,0	0,0	0,6	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	2,7	4,4	0,0	0,4
	tekstylia	0,0	1,4	3,9	1,8	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,3
	metale	nFe.	0,0	0,5	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,7	0,0	0,0
		Fe	0,0	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,8	0,0	0,0
	odpady wielomaterialowe	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	gruz, kamienie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0
	frakcja <10 mm	12,3	16,8	9,9	1,5	7,3	0,0	0,0	7,6	25,2	0,0	24,7	3,3
	Razem frakcja	12,8	28,4	17,9	5,0	14,7	3,7	1,4	8,8	37,5	23,9	41,6	11,2

Tabela Z8. Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w czerwcu 2022 r.
(wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m)

Gmina		Wiejska				Miejska							
		Żary	Żagań	Trzebień	Wymiarki	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica
Rodzaj zabudowy		Jednorodzinna				Jednorodzinna				Wielorodzinna			
Data badań		2022-06-15	2022-06-13	2022-06-14	2022-06-22	2022-06-24	2022-06-20	2022-06-13	2022-06-08	2022-06-08	2022-06-21	2022-06-10	2022-06-08
Masa próbek		90,1	104,3	116,8	171,5	188,1	122,7	127,6	117,6	109,9	160,9	115,8	101,0
Masa opakowań (worki)		4,5	4,9	5,0	5,0	4,5	5,5	4,2	5,3	-	-	-	-
Odpady spożywcze (marmotrawstwo)	chleb i pieczywo	0,0	2,3	2,7	2,4	1,6	0,6	0,5	0,0	0,8	2,6	0,0	1,4
	mięso i ryby	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,6
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	1,1	0,8	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	4,3	2,9	9,5	4,7	0,0	3,6	15,4	3,9	1,2	8,4	2,7	7,1
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	4,3	6,7	12,9	7,1	1,6	4,8	15,9	4,8	2,0	11,0	2,7	9,0
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	0,0	0,0	0,0	0,6	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	18,3	54,4	59,9	24,8	32,7	0,0	18,7	41,2	27,6	27,4	23,4	26,5
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	18,3	54,4	59,9	25,4	36,9	0,0	18,7	41,2	27,6	27,4	23,4	26,5
Odpady roślinne	trawa	45,3	38,8	29,6	86,4	29,2	34,6	26,8	33,9	24,2	36,6	24,7	26,3
	liście	0,0	0,0	0,0	31,6	24,6	0,0	36,2	22,4	21,3	24,6	15,3	18,5
	gałęzie i inne brązowe	12,3	0,0	0,0	19,6	60,0	49,2	0,0	0,0	22,8	27,2	0,0	0,0
	inne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	57,6	38,8	29,6	137,6	113,8	83,8	63,0	56,3	68,3	88,4	40,0	44,8
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	1,7	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	29,6	0,9	1,2	0,8	2,8	0,0
	papier	worki torby	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		reszta	0,0	0,8	0,0	0,3	1,8	0,0	0,0	0,5	0,9	2,4	0,0
	tworzywa sztuczne	worki torby	0,5	0,4	1,2	1,0	2,6	0,5	0,5	5,8	8,0	4,9	4,8
		reszta	0,9	0,6	1,0	0,2	3,0	0,0	0,6	2,3	12,3	1,7	0,5
	szkło	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	3,2	0,0	0,0	0,7	5,6	1,9	0,0
	tekstylia	0,0	2,7	0,3	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	1,2	3,8	0,0	0,6
	metale	nFe.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Fe	0,0	0,0	0,3	0,0	0,8	0,0	0,5	0,0	1,2	1,2	0,0
	odpady wielomateriałowe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	gruz, kamienie	0,6	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0
	frakcja <10 mm	6,3	0,0	11,7	0,0	19,9	28,3	0,0	12,4	0,0	0,0	32,4	14,9
	Razem frakcja	9,9	4,5	14,4	1,4	35,8	34,1	30,1	15,3	12,0	34,1	49,7	20,7

Tabela Z9. Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w lipcu 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m)

Gmina		Wiejska				Miejska							
		Żary	Żagań	Trzebień	Wymiarki	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica
Rodzaj zabudowy		Jednorodzinna				Jednorodzinna				Wielorodzinna			
Data badań		2022-07-14	2022-07-25	2022-07-04	2022-07-04	2022-07-04	2022-07-14	2022-07-13	2022-07-14	2022-07-04	2022-07-13	2022-07-14	2022-07-13
Masa próbki		102,0	105,5	118,5	102,3	102,9	126,1	137,6	100,0	111,3	101,2	115,1	100,9
Masa opakowań (worki)		4,5	5,5	7,3	6,3	4,9	4,0	5,3	5,6	-	-	-	-
Odpady spożywcze (marnotrawstwo)	chleb i pieczywo	5,7	0,2	0,6	2,9	0,0	0,0	0,0	0,6	0,4	0,9	0,2	2,9
	mięso i ryby	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	3,0
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,3
	owoce i warzywa	8,7	9,5	6,1	15,7	0,0	4,4	38,6	1,4	24,3	0,0	2,0	2,5
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	14,4	9,6	6,7	19,2	0,0	4,4	38,6	2,2	24,7	1,5	2,1	8,6
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	38,7	10,0	61,4	38,7	0,0	0,0	23,4	7,6	10,9	40,3	38,7	65,0
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	38,7	10,0	61,4	38,7	0,0	19,4	23,4	7,6	10,9	40,3	38,7	65,0
Odpady roślinne	trawa	15,8	53,0	28,3	25,9	23,6	53,6	65,3	29,8	46,2	25,3	25,6	9,6
	liście	16,3	0,0	19,0	0,0	28,3	16,7	0,0	9,3	0,0	8,4	26,3	4,0
	gałęzie i inne brązowe	15,2	23,0	0,0	12,4	0,0	24,5	8,0	27,4	8,5	5,5	15,7	0,0
	inne	0,0	0,0	0,0	0,0	37,5	0,0	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	47,3	75,9	47,3	38,3	89,4	94,8	73,3	66,5	63,0	39,2	67,6	13,6
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	2,0
	papier	worki torby	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5
		reszta	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	1,9	0,3	1,3	0,0	0,7
	tworzywa sztuczne	worki torby	1,3	0,0	2,2	2,3	0,9	1,5	2,3	1,7	3,9	5,2	5,8
		reszta	0,1	3,3	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	3,8	0,0	0,9
	szkło	0,0	0,0	0,2	2,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	5,6	0,0	1,5
	tekstylia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	1,2
	metale	nFe.	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,2
		Fe	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,5	1,1	0,0	0,0
	odpady wielomaterialowe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	gruz, kamienie	0,0	0,0	0,0	1,1	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0
	frakcja <10 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4	6,1	0,0	18,3	6,5	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	1,6	10,1	3,2	6,1	13,5	7,6	2,3	23,7	12,8	20,2	6,7	13,8

Tabela Z10. *Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w sierpniu 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m)*

Gmina		Wiejska				Miejska							
		Żary	Żagań	Trzebień	Wymiarki	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica
Rodzaj zabudowy		Jednorodzinna				Jednorodzinna				Wielorodzinna			
Data badań		2022-08-29	2022-08-05	2022-08-22	2022-08-08	2022-08-30	2022-08-05	2022-08-03	2022-08-04	2022-08-31	2022-08-03	2022-08-25	2022-08-22
Masa próbek		148,9	103,0	131,0	107,6	106,4	101,1	101,7	105,4	106,8	104,5	109,9	110,2
Masa opakowań (worki)		5,6	3,4	4,5	6,5	4,4	5,2	3,8	6,2	-	-	-	-
Odpady spożywcze (marmotrawstwo)	chleb i pieczywo	1,5	2,8	0,4	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	0,5	2,3	4,2
	mięso i ryby	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	2,5	3,0	1,8	1,0	0,0	0,0	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	4,1	5,8	2,3	1,6	0,0	0,0	7,5	0,0	8,4	0,5	2,3	10,7
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	23,4	22,5	52,4	38,7	32,4	36,5	41,2	24,7	48,4	38,9	48,6	44,3
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,9	0,0	0,2	0,0
	Razem frakcja	23,4	23,0	52,4	38,7	32,4	36,5	41,6	24,7	49,3	39,7	48,8	44,3
Odpady roślinne	trawa	55,4	24,7	52,3	25,8	29,7	28,6	28,7	32,7	19,0	44,7	45,0	32,6
	liście	48,0	22,0	8,9	9,3	24,0	20,3	7,1	32,6	0,0	5,0	9,1	0,0
	gałęzie i inne brzozy	8,4	18,4	11,7	8,2	15,2	13,5	13,0	12,7	8,5	0,0	0,0	17,7
	inne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	111,8	65,1	72,9	43,3	68,8	62,3	48,8	78,0	27,9	49,7	54,1	50,3
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	0,0	0,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0	5,6	8,2	0,0	0,0
	papier	worki torby	0,0	0,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,8	0,8	0,0
		reszta	1,0	1,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0
	tworzywa sztuczne	worki torby	1,5	1,4	2,4	2,2	1,5	0,0	0,0	1,2	5,4	2,4	3,2
		reszta	0,8	1,0	0,4	0,5	0,3	1,5	0,4	4,8	0,0	0,0	0,0
	szkło	0,3	0,5	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,7	0,0
	tekstylia	0,5	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	metale	nFe.	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Fe	0,2	0,5	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0
	odpady wielomateriałowe	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	gruz, kamienie	0,2	0,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0
	frakcja <10 mm	5,0	2,6	0,5	20,6	1,5	0,8	2,9	1,4	1,5	2,2	0,5	1,7
	Razem frakcja	9,6	9,1	3,4	24,0	5,2	2,3	3,8	2,7	21,3	14,6	4,7	4,9

Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów

Tabela Z11. *Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie we wrześniu 2022 r. (wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m)*

Gmina		Wiejska				Miejska							
		Żary	Żagań	Trzebień	Wymiarki	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica
Rodzaj zabudowy		Jednorodzinna				Jednorodzinna				Wielorodzinna			
Data badań		2022-09-21	2022-09-08	2022-09-21	2022-09-21	2022-09-21	2022-09-12	2022-09-20	2022-09-20	2022-09-21	2022-09-08	2022-09-19	2022-09-23
Masa próbki		100,1	105,4	103,2	103,9	125,3	104,9	108,2	101,8	103,2	102,5	101,4	118,5
Masa opakowań (worki)		4,8	5,0	5,9	3,8	3,2	4,9	4,1	5,4	-	-	-	-
Odpady spożywcze (marnotrawstwo)	chleb i pieczywo	5,9	2,0	0,5	0,8	1,0	1,2	0,4	2,2	1,8	0,0	2,3	0,9
	mięso i ryby	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,5	4,6
	nabiał	0,0	0,2	1,5	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,4	1,4
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
	owoce i warzywa	9,5	12,5	0,0	8,6	1,8	1,8	4,4	7,4	0,4	3,2	2,8	12,8
	inne resztki	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
	Razem frakcja	15,4	15,2	2,3	9,7	2,8	3,1	4,8	9,6	2,2	4,5	7,0	20,3
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	6,2	15,9	34,6	13,7	7,0	20,0	9,2	42,7	27,0	12,8	30,4	29,4
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	6,2	15,9	34,6	13,7	7,0	20,0	9,2	42,7	27,0	12,8	30,4	29,4
Odpady roślinne	trawa	45,6	50,6	36,1	58,3	62,4	43,0	29,8	47,6	59,4	36,6	25,3	55,0
	liście	14,3	19,3	18,7	11,4	10,2	0,0	28,3	0,0	0,0	20,8	20,8	5,0
	gałęzie i inne brązowe	0,0	0,0	8,7	8,7	34,8	27,3	27,4	0,0	0,0	9,5	12,3	0,0
	inne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	59,9	69,9	63,5	78,4	107,4	70,3	85,5	47,6	59,4	66,9	58,3	60,0
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	17,8	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4
	papier	worki torby	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
		reszta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	5,6	1,6	0,5	1,2
	tworzywa sztuczne	worki torby	0,8	1,5	0,5	0,9	1,5	2,0	0,0	3,9	5,1	2,8	2,0
		reszta	0,0	0,0	0,9	0,0	2,8	2,1	4,1	0,1	4,0	0,2	0,5
	szkło	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	3,1	1,2	0,2	0,4
	tekstylia	0,0	0,0	0,4	0,0	3,8	5,4	2,2	0,0	1,9	5,4	0,7	1,0
	metale	nFe.	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,4
		Fe	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,4	0,6	0,4
	odpady wielomaterialowe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	gruz, kamienie	0,0	1,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
	frakcja <10 mm	0,0	1,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,6	1,1	0,0	0,5	0,0	2,4
	Razem frakcja	18,6	4,4	2,9	2,1	8,1	11,5	8,7	1,9	14,6	18,3	5,7	8,8

Tabela Z12. Skład morfologiczny bioodpadów zbieranych selektywnie w październiku 2022 r.
(wartości średnie z trzech powtórzeń, w kg m/m)

Gmina		Wiejska				Miejska							
		Żary	Żagań	Trzebień	Wymiarki	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica	Żary	Żagań	Gozdnica	Łęknica
Rodzaj zabudowy		Jednorodzinna				Jednorodzinna				Wielorodzinna			
Data badań		2022-10-24	2022-10-12	2022-10-24	2022-10-05	2022-10-21	2022-10-06	2022-10-05	2022-10-14	2022-10-21	2022-10-11	2022-10-10	2022-10-14
Masa próbek		109,3	105,4	112,2	111,1	109,6	111,4	148,3	112,5	109,0	124,5	112,1	107,4
Masa opakowań (worki)		4,9	4,7	7,0	5,5	4,5	6,5	4,5	4,2	-	-	-	-
Odpady spożywcze (marmotrawstwo)	chleb i pieczywo	1,2	1,2	0,0	0,0	1,5	1,9	0,6	1,7	0,4	1,0	6,6	3,2
	mięso i ryby	0,5	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2	0,0	0,0	0,8	1,2	0,0	0,7
	nabiał	0,3	0,5	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
	owoce i warzywa	24,8	12,3	3,4	3,5	4,2	1,9	3,3	4,5	6,8	5,0	5,9	4,8
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	26,8	14,0	3,4	3,5	7,1	4,0	3,9	6,2	8,0	7,5	12,5	8,7
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	2,4	0,0	0,0	0,7	1,3
	nabiał	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	suszona żywność	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	owoce i warzywa	52,8	32,4	85,3	32,1	27,7	29,7	56,4	29,8	36,7	26,8	63,8	31,2
	inne resztki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	52,8	32,4	85,6	32,1	27,7	29,7	56,7	32,2	36,7	26,8	64,5	32,5
Odpady roślinne	trawa	0,0	27,8	0,0	46,8	48,7	38,7	32,3	39,3	48,8	32,1	0,0	27,3
	liście	26,6	26,3	14,2	25,6	8,4	25,6	53,1	22,4	0,0	29,5	23,1	17,4
	gałęzie i inne brzozy	0,0	0,0	4,6	0,0	12,8	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	inne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Razem frakcja	26,6	54,1	18,8	72,4	69,9	64,3	85,4	70,0	48,8	61,6	23,1	44,7
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	0,0	0,0	0,4	3,3	0,9	2,0
	papier	worki torby	0,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
		reszta	0,5	1,2	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	2,4	3,8	0,0	0,5
	tworzywa sztuczne	worki torby	1,3	2,5	2,2	0,8	1,8	1,8	0,0	5,9	5,6	7,4	5,7
		reszta	0,0	0,7	0,8	0,0	0,3	0,6	0,0	1,9	2,3	1,0	1,5
	szkło	0,5	0,0	0,3	0,0	0,3	0,8	0,0	0,0	0,0	3,6	0,4	0,0
	tekstylia	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	7,6	0,0	2,0
	metale	nFe.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,2
		Fe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,9	2,4	0,0	0,8
	odpady wielomateriałowe	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0
	gruz, kamienie	0,0	0,0	0,0	0,9	1,2	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,5	0,0
	frakcja <10 mm	0,8	0,0	0,4	1,5	1,3	0,0	0,5	1,5	1,5	0,0	2,0	7,8
	Razem frakcja	3,3	4,9	4,5	3,1	5,0	13,4	2,3	4,1	15,6	28,6	12,1	21,5

Tabela Z13. *Wilgotność i straty prażenia składników bioodpadów zbieranych w workach na terenie miast z zabudową jednorodzinną*

Data badań		Wiosna – 14.4.2022		Lato – 15.06.2022		Jesień – 29.09.2022		Zima – 23.11.2021	
Składnik	Parametry	Wilgotność [%]	Straty prażenia [% sm]	Wilgotność [%]	Straty prażenia [% sm]	Wilgotność [%]	Straty prażenia [% sm]	Wilgotność [%]	Straty prażenia [% sm]
Odpady spożywcze (marnotrawstwo)	chleb i pieczywo	40,7	96,0	33,3	88,2	33,3	96,6	35,7	97,3
	mięso i ryby	47,0	95,2	61,2	86,2	53,4	89,3	45,5	92,3
	nabiał	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	72,6	59,5	68,2	92,1
	suszona żywność	12,1	91,7	10,4	95,2	8,9	91,0	11,3	93,2
	owoce i warzywa	84,2	90,0	79,5	84,4	86,8	92,0	83,3	95,8
	inne resztki	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.
	<i>Razem frakcja</i>	68,1	94,0	73,2	86,3	71,2	93,0	64,1	96,5
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	0,0	0,0	61,2	86,2	53,4	89,3	45,5	92,3
	nabiał	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.
	suszona żywność	b.s.	b.s.	13,6	92,7	10,5	95,1	11,8	96,0
	owoce i warzywa	85,7	88,6	84,2	84,4	75,0	95,0	86,8	91,1
	inne resztki	57,8	91,6	58,7	91,5	54,2	83,5	56,7	93,1
	<i>Razem frakcja</i>	85,6	88,7	80,2	87,2	73,9	94,3	86,8	91,1
Odpady roślinne	trawa	68,8	37,3	69,7	87,5	76,5	81,2	86,7	82,8
	liście	20,1	81,6	50,0	73,7	71,4	97,4	60,0	83,0
	gałęzie i inne brązowe	31,3	93,6	14,3	91,2	46,7	92,0	50,0	92,2
	inne	40,1	70,8	44,7	84,1	b.s.	b.s.	65,6	86,0
	<i>Razem frakcja</i>	50,3	68,7	56,0	85,4	69,5	90,1	61,1	84,5
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	30,0	92,7	18,0	90,8	41,9	91,4	46,3	91,8
	papier	worki	29,9	88,6	0,0	0,0	28,1	64,2	33,1
		torby	28,5	84,6	23,9	88,7	11,0	44,1	12,4
	frakcja <10 mm	27,2	28,8	24,3	33,5	27,2	28,8	30,0	52,8
	pozostałe zanieczyszczenia	16,0	71,4	24,7	83,2	13,8	56,6	11,7	54,2
	<i>Razem frakcja</i>	23,7	54,5	23,0	49,4	19,2	55,5	20,8	56,9

b.s. – brak składnika

Tabela Z14. *Wilgotność i straty prażenia składników bioodpadów zbieranych w pojemnikach w miastach z zabudową wielorodzinną*

Data badań		Wiosna – 14.4.2022		Lato – 15.06.2022		Jesień – 29.09.2022		Zima – 23.11.2021	
Składnik	Parametry	Wilgotność [%]	Straty prażenia [% sm]	Wilgotność [%]	Straty prażenia [% sm]	Wilgotność [%]	Straty prażenia [% sm]	Wilgotność [%]	Straty prażenia [% sm]
Odpady spożywcze (marnotrawstwo)	chleb i pieczywo	37,5	97,3	26,1	85,1	27,3	96,9	38,9	96,7
	mięso i ryby	44,0	95,3	38,7	71,2	54,5	80,9	70,3	90,5
	nabiał	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	34,3	85,8	72,3	84,3
	suszona żywność	11,2	90,4	b.s.	b.s.	10,8	93,2	9,6	93,1
	owoce i warzywa	88,5	90,6	86,1	88,3	82,8	89,9	80,8	92,2
	inne resztki	b.s.	b.s.	6,3	84,3	65,0	87,0	65,0	87,0
	Razem frakcja	67,3	95,3	66,3	84,2	60,1	91,1	71,9	92,8
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	44,0	95,3	38,7	71,2	54,5	80,9	70,3	90,5
	nabiał	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	34,3	85,8	72,3	84,3
	suszona żywność	11,4	89,8	b.s.	b.s.	10,1	90,6	14,2	91,0
	owoce i warzywa	85,1	76,6	82,7	80,4	97,3	98,3	80,0	89,2
	inne resztki	56,1	57,5	56,7	86,9	48,9	93,4	55,8	89,8
	Razem frakcja	84,6	76,7	82,6	80,4	95,7	93,2	80,0	89,2
Odpady roślinne	trawa	21,4	16,3	62,3	53,9	78,1	60,9	87,5	84,6
	liście	21,4	73,4	40,0	86,3	30,7	79,8	30,7	79,8
	gałęzie i inne brązowe	27,8	95,7	11,8	87,1	30,7	93,2	52,6	96,7
	inne	23,5	61,8	38,0	75,8	46,5	78,0	56,9	87,0
	Razem frakcja	22,9	51,5	48,3	72,4	60,0	75,9	39,4	82,0
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	26,8	92,2	15,8	88,7	27,9	90,5	42,4	91,1
	papier	worki	23,7	95,3	15,0	90,7	25,6	94,1	38,0
		torby	22,7	95,2	16,7	92,2	22,1	94,5	30,8
	frakcja <10 mm	33,3	24,3	43,9	31,6	38,0	44,2	33,3	61,8
	pozostałe zanieczyszczenia	18,0	69,4	19,3	69,2	17,2	57,6	16,9	81,7
	Razem frakcja	24,6	58,6	25,6	64,8	21,0	63,3	22,8	79,8

b.s. – brak składnika

Tabela Z15. *Wilgotność i straty prażenia składników bioodpadów zbieranych w workach na terenie gmin wiejskich*

Data badań		Wiosna – 14.4.2022		Lato – 15.06.2022		Jesień – 29.09.2022		Zima – 23.11.2021	
Składnik	Parametry	Wilgotność [%]	Straty prażenia [% sm]	Wilgotność [%]	Straty prażenia [% sm]	Wilgotność [%]	Straty prażenia [% sm]	Wilgotność [%]	Straty prażenia [% sm]
Odpady spożywcze (marnotrawstwo)	chleb i pieczywo	43,8	94,6	29,7	86,7	42,1	97,1	39,1	96,8
	mięso i ryby	50,0	95,1	50,0	78,7	53,4	89,3	55,6	94,0
	nabiał	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	72,6	28,1	76,9	94,1
	suszona żywność	12,3	9,8	15,0	94,1	b.s.	b.s.	10,0	96,3
	owoce i warzywa	82,5	93,0	82,8	86,4	79,2	96,9	83,3	89,6
	inne resztki	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	65,0	87,0	65,0	87,0
	<i>Razem frakcja</i>	<i>68,5</i>	<i>94,2</i>	<i>68,5</i>	<i>87,1</i>	<i>71,7</i>	<i>94,4</i>	<i>74,1</i>	<i>92,8</i>
Pozostałe odpady spożywcze	mięso i ryby	50,0	95,1	50,0	78,7	53,4	89,3	55,6	94,0
	nabiał	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.
	suszona żywność	14,3	92,6	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	11,8	94,2
	owoce i warzywa	78,9	73,3	83,5	82,4	69,6	84,5	91,4	91,4
	inne resztki	55,5	86,5	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	61,1	93,8
	<i>Razem frakcja</i>	<i>78,7</i>	<i>73,6</i>	<i>83,4</i>	<i>82,4</i>	<i>69,4</i>	<i>84,6</i>	<i>91,2</i>	<i>91,5</i>
Odpady roślinne	trawa	37,5	76,3	87,8	93,6	83,3	84,2	87,1	83,7
	liście	18,8	89,7	42,9	87,3	42,9	98,9	60,0	83,2
	gałęzie i inne brązowe	31,3	94,8	26,7	90,0	46,7	92,0	51,3	94,5
	inne	29,2	86,9	b.s.	b.s.	b.s.	b.s.	66,1	87,1
	<i>Razem frakcja</i>	<i>28,3</i>	<i>87,0</i>	<i>68,4</i>	<i>89,9</i>	<i>66,8</i>	<i>93,8</i>	<i>64,0</i>	<i>87,4</i>
Zanieczyszczenia	drewno przetworzone	28,5	92,9	26,2	90,0	41,3	91,4	33,9	92,8
	papier	worki	32,9	88,1	0,0	43,8	90,9	33,3	89,4
		torby	33,4	85,2	27,6	88,7	41,3	22,3	87,0
	frakcja <10 mm	29,8	26,9	26,3	28,6	29,8	26,9	33,3	52,2
	pozostałe zanieczyszczenia	14,4	60,3	17,7	75,7	2,4	47,5	14,3	66,3
	<i>Razem frakcja</i>	<i>25,0</i>	<i>47,4</i>	<i>22,9</i>	<i>55,3</i>	<i>20,9</i>	<i>56,6</i>	<i>24,1</i>	<i>73,5</i>

b.s. – brak składnika

Tabela Z16. Skład morfologiczny frakcji <10 mm wydzielanej z bioodpadów zbieranych na terenie gmin objętych badaniami

Data	Teren badań	Udział składników [% m/m]									Razem
		Organika 2-10 mm	Zanieczyszczenia >2 mm							Frakcja <2 mm	
			Tworzywa szt.	Szkło	Metale	Tekstylia	Kamienie gruz	Drewno przetwo- rzone	Papier		
Wiosna 14.4.2022	MJ	48,3	0,003	0,005	0,002	0,000	0,659	1,046	0,015	50,0	100,0
	MW	57,0	0,007	0,045	0,005	0,000	0,858	0,000	0,064	42,0	100,0
	W	56,0	0,002	0,056	0,000	0,000	0,860	0,000	0,000	43,1	100,0
Lato 15.06.2022	MJ	43,8	0,004	0,003	0,001	0,000	0,612	0,837	0,009	54,7	100,0
	MW	55,6	0,147	0,497	0,110	0,000	0,971	0,000	3,560	39,1	100,0
	MW	57,3	0,130	0,352	0,000	0,530	1,467	0,000	0,000	40,2	100,0
	W	29,0	0,003	0,051	0,000	0,000	0,863	0,000	0,000	70,1	100,0
Jesień 29.09.2022	MJ	41,5	0,004	0,002	0,001	0,000	0,518	0,209	0,006	57,8	100,0
	MW	59,7	0,123	0,297	0,000	0,000	1,020	0,000	0,000	38,9	100,0
	W	41,2	0,002	0,054	0,000	0,000	0,652	0,000	0,000	58,1	100,0
Zima 23.11.2021	MJ	37,0	0,005	0,000	0,000	0,000	0,472	0,000	0,000	62,5	100,0
	MW	61,8	0,120	0,049	0,014	0,000	0,628	0,000	0,000	37,4	100,0
	W	43,8	0,003	0,054	0,000	0,000	1,071	0,000	0,000	55,1	100,0

Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów

Tabela Z17. Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu MRW 2.85 H

Data	Numer serii	Prędkość obrotowa wałów [obr/min]	Masa próby (100 worków z odpadami) [kg]	Masa bioodpadów pozostałych w rozerwanych workach [kg]	Masa opróżnionych worków [kg]	Czas [h:min:s]
30.06.2023	1	4,5	1313	46,6	12,4	00:09:55
	2		868	62,6	9,8	00:08:27
	3		780	68,3	10,5	00:07:55
	4		962	67,9	13,0	00:08:49
	5		1230	58,6	9,3	00:10:44
04.04.2023	1	5	1043	62,0	9,1	00:09:10
	2		999	56,0	10,2	00:08:50
	3		619	36,0	8,1	00:07:20
	4		743	44,0	8,5	00:07:45
	5		827	48,0	8,0	00:08:10
30.06.2023	1	9	731	32,8	8,9	00:05:55
	2		804	28,0	11,0	00:06:00
	3		760	24,8	8,5	00:05:37
	4		820	25,6	10,4	00:06:07
	5		880	36,8	8,7	00:06:35
07.07.2023	1	13	934	26,9	10,3	00:04:32
	2		784	26,4	10,4	00:03:40
	3		750	24,8	9,5	00:03:32
	4		920	24,3	11,4	00:04:15
	5		860	29,6	8,4	00:04:01
07.07.2023	1	18	853	22,4	8,5	00:02:50
	2		850	24,0	8,2	00:03:00
	3		840	25,3	9,5	00:03:05
	4		800	22,7	7,9	00:02:40
	5		780	21,6	8,4	00:02:35
07.07.2023	1	22	659	16,8	8,8	00:01:57
	2		682	15,2	8,4	00:01:54
	3		730	21,3	9,5	00:02:02
	4		725	24,3	9,9	00:01:58
	5		667	18,4	8,4	00:01:50
05.04.2023	1	44	755	12,5	12,0	00:01:35
	2		800	11,3	11,0	00:01:35
	3		910	20,0	9,0	00:01:50
	4		1080	12,5	14,0	00:02:10
	5		1460	17,5	12,0	00:02:30

Tabela Z18. *Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu LIS*

Data	Nastawa krawędzi ściany oporowej	Numer serii	Prędkość wału zwrotnego	Masa próby (50 worków z odpadami) [kg]	Masa bioodpadów pozostałych w rozerwanych workach [kg]	Masa opróżnionych worków [kg]	Czas [h:min:s]
06.03.2023 r.	42 cm	1	pozycja 1 najniższa prędkość	393	26,3	5,0	00:03:12
		2		372	14,0	5,5	00:03:06
		3		591	26,3	5,0	00:04:33
		4		518	21,0	5,0	00:04:00
		5		381	10,5	4,5	00:03:15
		1	pozycja 3 prędkość średnia	399	19,3	5,0	00:02:30
		2		391	21,0	5,5	00:02:33
		3		431	24,5	4,5	00:03:00
		4		410	22,8	6,0	00:02:33
		5		440	25,2	5,0	00:03:00
		1	pozycja 5 prędkość maksymalna	445	23,8	6,0	00:02:33
		2		431	19,3	5,5	00:02:30
		3		440	21,0	4,5	00:02:30
		4		408	15,8	7,0	00:02:18
		5		487	22,8	6,0	00:03:00
07.03.2023 r.	25,5 cm	1	pozycja 1 najniższa prędkość	437	12,6	4,9	00:03:30
		2		447	15,0	5,5	00:04:00
		3		458	12,0	5,0	00:04:06
		4		442	15,0	5,5	00:03:30
		5		467	12,0	6,0	00:04:12
		1	pozycja 3 prędkość średnia	488	9,0	5,0	00:03:06
		2		375	6,0	5,5	00:02:30
		3		466	15,0	6,0	00:03:06
		4		416	9,0	5,0	00:03:00
		5		455	12,0	5,0	00:03:06
		1	pozycja 5 prędkość maksymalna	583	12,0	5,5	00:03:18
		2		491	12,0	5,0	00:03:00
		3		505	9,0	5,5	00:03:00
		4		404	6,0	4,5	00:03:27
		5		372	12,0	6,5	00:03:33

Tabela Z19. Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu STAR SELECT S60 dla minimalnej i maksymalnej prędkości obrotowej pokładu gwiazd małych i dużych

Data	Numer serii	Prędkość obrotowa pokładu gwiazd małych i dużych	Masa próby (100 worków z odpadami) [kg]	Masy bioodpadów pozostała w rozerwanych workach [kg]	Masa opróżnionych worków [kg]	Czas [h:min:s]
13.09.2022 r.	1	Minimalna (frakcja wyjściowa o uziarnieniu 0-10 mm)	935	13,8	13,8	00:13:00
	2		1110	15,5	11,3	00:16:05
	3		663	12,0	12,5	00:12:18
	4		975	11,3	11,5	00:14:29
	5		1038	15,5	12,8	00:15:25
14.09.2022 r.	1	Maksymalna (frakcja wyjściowa o uziarnieniu 0-25 mm)	1100	22,5	4,40	00:07:25
	2		1100	24,0	4,50	00:06:40
	3		950	20,7	3,60	00:06:55
	4		1000	22,7	4,70	00:06:45
	5		1150	19,5	4,80	00:06:55

Tabela Z20. Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu STAR SELECT S60 dla prześwitu gwiazd małych 10 i 25 mm

Numer serii; Parametr	Frakcja wyjściowa o uziarnieniu 0-10 mm			Frakcja wyjściowa o uziarnieniu 0-25 mm		
	Masa próby [kg]	Czas próby [min]	Wydajność [kg/h]	Masa próby [kg]	Czas próby [min]	Wydajność [kg/h]
1	3740	13	17,3	4590	10	27,5
2	4440	16	16,7	4440	10	26,6
3	3270	12	16,4	4900	12	24,5
4	3900	14	16,7	5100	13	23,5
5	4150	15	16,6	4350	15	17,4
Wartość minimalna	3270,0	12,0	16,4	4350,0	10,0	17,4
Wartość maksymalna	4440,0	16,0	17,3	5100,0	15,0	27,5
Wartość średnia	3900,0	14,0	16,7	4676,0	12,0	23,9
Odchylenie standardowe	441	2	0	316	2	4

Tabela Z21. Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu TEUTON Z50

Data	Numer serii	Prędkość obrotowa rotora [obr/min]	Średnica otworów sita [mm]	Masa próby (50 worków z odpadami) [kg]	Masy bioodpadów pozostała w rozerwanych workach [kg]	Masa opróżnionych worków [kg]	Czas [h:min:s]
05.07.2022 r.	1	20	150	1100	7,5	4,3	00:07:30
	2			1100	8,0	4,4	00:06:50
	3			900	6,9	3,9	00:07:00
	4			1000	7,6	4,5	00:06:55
	5			1100	7,5	4,0	00:07:10
06.07.2022 r.	1	40		950	13,1	4,2	00:04:00
	2			1000	12,8	4,4	00:04:05
	3			1100	14,9	4,0	00:03:28
	4			950	16,3	4,5	00:04:39
	5			1000	12,5	3,9	00:04:20

Tabela Z22. *Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu TERMINATOR 5000S*

Data	Nastawa szczeliny tnącej	Nr serii	Prędkość wału	Masa próby (50 worków z odpadami) [kg]	Masa bioodpadów pozostała w rozerwanych workach [kg]	Masa opróżnionych worków [kg]	Czas [h:min:s]
14.03.2023 r.	45 mm	1	29 obr/min największa prędkość	900	39,0	6,20	00:01:45
		2		350	15,0	5,50	00:00:55
		3		1550	57,0	7,00	00:02:30
		4		700	33,0	5,90	00:01:11
		5		1150	54,0	6,50	00:01:58
		1	3 obr/min prędkość minimalna	950	35,4	6,50	00:02:50
		2		780	27,0	7,50	00:02:10
		3		1150	45,0	8,00	00:03:10
		4		850	34,2	8,50	00:02:30
		5		900	33,0	7,00	00:02:40
	4,0 mm	1	29 obr/min największa prędkość	550	21,0	6,00	00:01:00
		2		800	25,2	7,00	00:01:45
		3		600	21,0	6,50	00:01:11
		4		750	25,2	5,90	00:01:30
		5		1200	40,2	7,50	00:02:10
		1	3 obr/min prędkość minimalna	1100	33,0	7,20	00:03:20
		2		720	27,6	5,50	00:02:10
		3		800	31,2	6,90	00:02:30
		4		950	37,8	8,00	00:02:50
		5		650	26,4	7,00	00:02:00

Tabela Z23. *Wyniki badań opróżniania worków z bioodpadami na urządzeniu MATTHIESSEN*

Data	Nr serii	Prędkość przenośnika	Grzebień rozrywający	Masa próby [kg]	Masa bioodpadów pozostała w rozerwanych workach [kg]	Masa opróżnionych worków [kg]	Czas [h:min:s]
05.07.2022 r.	1	0,29 m/min - 20%	skrajnie nisko	4 080	190	106	00:38:22
	2	0,29 m/min - 20%	skrajnie wysoko	5 380	278	127	00:38:23
	3	0,51 m/min - 35% największa prędkość	skrajnie nisko	4 400	47,9	130	00:23:48
	4	0,51 m/min - 35% największa prędkość	skrajnie wysoko	4 420	60,2	91,5	00:17:08

Tabela Z24. Zanieczyszczenia wysortowane w kabinie sortowniczej po rozrywarce do worków MATTHIESSEN

Rejon zbierania próbek		BZ1	BZ2	MJ	W	Numer zdjęcia
Nr próbki	Nastawa Składniki	prędkość: 0.29 m/min, grzebień skrajnie nisko	prędkość: 0.29 m/min, grzebień skrajnie wysoko	-	-	
Data poboru próbek		2023-06-21				
P0	Masa próbki	4080	5380	4400	4420	-
P1	Próbka po rozdrabniarce	4061	5344	4375	4395	-
P2	Metale Fe	0,25	0,60	0,90	0,50	-
P2-nFe	Metale nFe	0,25	0,60	0,90	0,50	-
P3	Worki na bioodpady*	106	127	130	91,5	-
P4	Inne tworzywa sztuczne	23,3	38,8	15,1	14,8	-
P5	Szkło	0,25	1,25	0,55	0,90	-
P6	Tekstylia	1,85	8,00	0,00	1,00	-
P7	Kamienie gruz	3,40	3,30	1,65	1,35	-
P8 Bioodpady po kabinie	Organika	3343	4350	3632	3669	-
	Worki na bioodpady	23,2	26,1	42,1	79,3	1
	Inne tworzywa sztuczne	120	164	52,6	45,6	2
	Szkło	9,25	20,0	5,11	12,0	3
	Metale Fe	9,54	6,83	7,46	3,24	4
	Metale nFe	5,05	2,24	0,88	2,03	5
	Tekstylia	13,3	35,0	15,8	13,2	6
	Kamienie gruz	7,43	29,4	33,6	18,1	7
	Frakcja <10 mm	395	531	437	442	-

* - Masa worków z bioodpadami pomniejszona o zawartość bioodpadów łatwo usuwanych w workach: próbka I – 190 kg, próbka II – 278 kg, próbka III – 48 kg i próbka IV – 60 kg.

Tabela Z25. *Masy strumieni i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w kolejnych etapach procesu wstępnego oczyszczania bioodpadów z Marszowa - Wariant II, oraz wilgotność strumieni odpadów*

Tabela Z25A. *Gmina wiejska Jasień*

Data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 09.03.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		825	0,51	820	24,9	0,60	0,20	0,50	50,4	743		
Masa próbek do badań		-	-	-	-	-	-	-	50,4	11,9	13,8	14,5
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	19,2	0,03	0,04	0,03
	Inna organika	-	-	-	-	-	-	-	27,6	10,4	11,6	14,4
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	24,0	-	-	-	1,60	0,01	0,01	0,00
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	0,90	-	-	-	1,60	0,22	0,11	0,05
Szkło		-	-	-	-	0,20	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Metale		-	0,51	-	-	0,40	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Tekstylia		-	-	-	-	-	0,20	-	0,40	0,03	0,00	0,00
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	0,50	0,05	1,25	2,01	0,00
Wilgotność [%]		45,1*	5,1	44,8*	22,3	4,8	33,3	10,2	43,7	48,2	46,4	42,6

Tabela Z25B. *Gmina wiejska Wymiarki*

Teren badań, data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 09.03.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		1080	1,10	1069	18,8	0,80	0,50	1,80	70	977		
Masa próbki do badań		-	-	-	-	-	-	-	50,1	13,8	11,3	13,3
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	11,6	0,09	0,12	0,06
	Inna organika	-	-	-	-	-	-	-	35,2	11,9	9,22	10,0
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	18,2	-	-	-	0,90	0,01	0,02	0,01
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	0,60	-	-	-	1,40	0,24	0,18	0,10
Szkło		-	-	-	-	0,20	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Metale		-	1,10	-	-	0,40	-	-	0,00	0,25	0,00	0,13
Tekstylia		-	-	-	-	-	0,50	-	0,12	0,05	0,00	0,03
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	1,80	1,00	1,25	1,76	3,00
Wilgotność [%]		49,9*	4,8	49,4*	18,3	5,3	11,9	9,2	46,6	47,9	45,4	57,7

Tabela Z25C. *Gmina wiejska Żagań*

Teren badań, data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 01.06.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		1100	0,59	1094	27,2	0,09	3,28	2,83	125	935		
Masa próbki do badań		-	-	-	-	-	-	-	50,3	12,5	12,8	14,0
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	8,25	0,01	0,01	0,02
	Inna organika	-	-	-	-	-	-	-	35,8	10,7	10,4	11,7
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	25,9	-	-	-	4,91	0,05	0,13	0,28
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	1,33	-	-	-	0,00	0,03	0,05	0,14
Szkło		-	-	-	-	0,09	-	-	0,08	0,05	0,00	0,03
Metale		-	0,59	-	-	0,00	-	-	0,27	0,03	0,05	0,00
Tekstylia		-	-	-	-	-	3,28	-	0,56	0,00	0,03	0,06
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	2,83	0,42	1,60	2,13	1,82
Wilgotność [%]		47,7*	4,2	47,4*	20,1	4,3	23,3	8,2	46,6	49,4	44,9	51,0

* Wartości obliczone z bilansu masowego

Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów

Tabela Z25D. Miasto Gozdnica – zabudowa jednorodzinna

Teren badań, data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 09.03.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		1100	2,50	1088	30,4	0,70	2,50	1,00	90	963		
Masa próbki do badań		-	-	-	-	-	-	-	50,3	12,8	12,0	12,2
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	8,50	0,05	0,09	0,09
	Inna organika	-	-	-	-	-	-	-	40,9	11,4	9,99	10,4
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	28,9	-	-	-	0,05	0,00	0,01	0,00
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	1,50	-	-	-	0,05	0,02	0,14	0,00
Szkło		-	-	-	-	0,20	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Metale		-	2,50	-	-	0,50	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Tekstylia		-	-	-	-	-	2,50	-	0,30	0,00	0,03	0,00
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	1,00	0,50	1,25	1,75	1,68
Wilgotność [%]		49,4*	5,2	48,9*	14,3	4,9	29,3	14,3	49,9	56,5	46,1	47,0

Tabela Z25E Miasto Żagań – zabudowa jednorodzinna

Teren badań, data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 09.03.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		965	1,00	959	22,1	0,60	1,02	1,25	40	894		
Masa próbki do badań		-	-	-	-	-	-	-	40,0	12,2	13,5	13,0
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	9,80	0,08	0,06	0,05
	Inna organika	-	-	-	-	-	-	-	29,0	10,9	11,1	10,5
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	21,6	-	-	-	0,15	0,02	0,03	0,01
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	0,50	-	-	-	0,15	0,18	0,23	0,11
Szkło		-	-	-	-	0,10	-	-	0,00	0,00	0,00	0,03
Metale		-	1,00	-	-	0,50	-	-	0,00	0,13	0,00	0,03
Tekstylia		-	-	-	-	-	1,02	-	0,01	0,03	0,08	0,03
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	1,25	0,90	0,88	2,00	2,25
Wilgotność [%]		48,1*	2,8	47,9*	24,7	3,6	27,4	11,4	47,7	49,4	45,8	50,8

Tabela Z25F. Miasto Żary – zabudowa jednorodzinna

Teren badań, data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 09.03.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		845	2,00	838	28,2	0,45	3,10	0,50	70	736		
Masa próbki do badań		-	-	-	-	-	-	-	50,0	13,5	13,6	12,3
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	5,80	0,04	0,09	0,12
	Inna organika	-	-	-	-	-	-	-	43,5	11,4	12,2	9,77
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	26,2	-	-	-	0,10	0,00	0,01	0,00
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	2,00	-	-	-	0,10	0,00	0,04	0,00
Szkło		-	-	-	-	0,15	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Metale		-	2,00	-	-	0,30	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Tekstylia		-	-	-	-	-	3,10	-	0,00	0,00	0,00	0,03
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	0,50	0,50	2,00	1,25	2,38
Wilgotność [%]		52,3*	5,1	51,6*	22,3	4,8	33,3	10,2	51,4	46,5	63,3	49,3

* Wartości obliczone z bilansu masowego

Tabela Z25G. *Miasto Łęknica - zabudowa jednorodzinna*

Teren badań, data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 20.04.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		1260	0,40	1256	42,9	1,48	0,23	0,93	210	1000		
Masa próbki do badań		-	-	-	-	-	-	-	50,8	13,5	12,5	12,8
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	4,51	1,08	0,88	1,13
	Inna organika	-	-	-	-	-	-	-	39,9	10,6	10,3	10,5
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	39,6	-	-	-	5,61	0,05	0,03	0,13
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	3,30	-	-	-	0,11	0,03	0,05	0,00
Szkło		-	-	-	-	0,04	-	-	0,03	0,03	0,00	0,00
Metale		-	0,40	-	-	1,44	-	-	0,15	0,00	0,03	0,05
Tekstylna		-	-	-	-	-	0,23	-	0,08	0,00	0,03	0,03
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	0,93	0,38	1,76	1,25	1,00
Wilgotność [%]		50,1*	3,6	49,9*	14,5	5,7	24,9	12,1	48,2	48,7	49,2	56,9

Tabela Z25H. *Gmina Gozdnica zabudowa jednorodzinna*

Teren badań, data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 01.06.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		1100	0,21	1090	31,3	0,71	0,77	1,84	95	960		
Masa próbki do badań		-	-	-	-	-	-	-	50,7	13,1	12,9	12,5
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	13,1	0,03	0,02	0,03
	Inna organika	-	-	-	-	-	-	-	32,2	10,7	11,0	10,2
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	26,0	-	-	-	2,06	0,13	0,08	0,10
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	5,31	-	-	-	0,58	0,08	0,05	0,00
Szkło		-	-	-	-	0,04	-	-	0,01	0,05	0,00	0,03
Metale		-	0,21	-	-	0,68	-	-	0,73	0,03	0,00	0,00
Tekstylna		-	-	-	-	-	0,77	-	0,72	0,05	0,08	0,00
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	1,84	1,29	2,00	1,70	2,13
Wilgotność [%]		49,6*	5,2	49,1*	22,0	4,9	28,3	9,2	44,5	53,4	47,0	51,2

Tabela Z25I. *Miasto Żary - zabudowa jednorodzinna*

Teren badań, data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 01.06.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		1400	0,24	1395	31,5	1,19	0,95	1,10	240	1120		
Masa próbki do badań		-	-	-	-	-	-	-	49,7	12,8	12,5	12,8
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	12,2	0,02	0,02	0,01
	Inna organika	-	-	-	-	-	-	-	15,4	11,1	10,9	10,9
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	24,5	-	-	-	11,9	0,25	0,20	0,23
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	7,00	-	-	-	2,19	0,13	0,05	0,08
Szkło		-	-	-	-	0,20	-	-	0,20	0,05	0,03	0,03
Metale		-	0,24	-	-	0,99	-	-	2,78	0,00	0,00	0,03
Tekstylna		-	-	-	-	-	0,95	-	3,98	0,03	0,00	0,00
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	1,10	0,99	1,18	1,35	1,53
Wilgotność [%]		49,1*	6,2	48,9*	19,3	5,8	13,9	11,2	33,9	48,4	51,9	58,6

* Wartości obliczone z bilansu masowego

Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów

Tabela Z25J. *Miasto Żary - zabudowa wielorodzinna*

Teren badań, data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 20.04.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		1320	0,22	1310	34,4	2,14	10,6	2,70	118	1142		
Masa próbki do badań		-	-	-	-	-	-	-	50,0	12,8	12,5	12,3
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	19,6	0,15	0,19	0,13
	Inna organika	-	-	34,4	-	-	-	-	24,5	10,9	10,9	10,1
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	24,0	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	0,90	-	-	-	4,07	0,20	0,13	0,20
Szkło		-	-	-	-	0,10	-	-	0,00	0,03	0,05	0,08
Metale		-	0,22	-	-	2,04	-	-	0,53	0,00	0,03	0,05
Tekstylia		-	-	-	-	-	10,6	-	0,70	0,00	0,00	0,00
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	2,70	0,60	1,53	1,18	1,76
Wilgotność [%]		49,3*	4,1	49,5*	14,3	4,6	26,5	10,8	40,6	47,2	48,5	58,2

Tabela Z25L. *Miasto Żagań - zabudowa wielorodzinna*

Teren badań, data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 20.04.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		1050	0,14	1047	18,7	4,34	24,2	0,60	109	890		
Masa próbki do badań		-	-	-	-	-	-	-	52,0	13,0	12,3	12,7
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	12,8	0,06	0,08	0,11
	Inna organika	-	-	-	-	-	-	-	16,1	11,5	10,2	11,2
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	0,00	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	18,7	-	-	-	14,8	0,08	0,18	0,20
Szkło		-	-	-	-	0,20	-	-	0,21	0,03	0,08	0,03
Metale		-	0,14	-	-	4,14	-	-	2,91	0,08	0,00	0,05
Tekstylia		-	-	-	-	-	24,2	-	4,16	0,05	0,00	0,00
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	0,60	1,04	1,23	1,76	1,15
Wilgotność [%]		48,6*	3,8	48,5*	15,2	5,2	23,8	15,1	33,9	59,3	46,0	48,7

Tabela Z25M. *Łęknica miasto - zabudowa wielorodzinna*

Teren badań, data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 20.04.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		1050	0,18	1045	37,3	0,80	1,08	0,65	120	885		
Masa próbki do badań		-	-	-	-	-	-	-	50,6	13,1	13,5	13,0
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	18,1	0,08	0,13	0,15
	Inna organika	-	-	-	-	-	-	-	25,4	12,7	10,2	9,60
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	0,00	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	37,3	-	-	-	5,09	0,08	1,38	1,00
Szkło		-	-	-	-	0,30	-	-	0,00	0,14	0,03	0,00
Metale		-	0,18	-	-	0,50	-	-	0,15	0,87	0,05	0,13
Tekstylia		-	-	-	-	-	1,08	-	0,88	0,90	0,08	0,13
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	0,65	0,91	0,10	1,60	2,00
Wilgotność [%]		53,4*	3,7	53,2*	17,2	4,4	21,3	12,2	41,6	53,1	62,1	52,8

* Wartości obliczone z bilansu masowego

Tabela Z25N. *Miasto Gozdnica - zabudowa wielorodzinna*

Teren badań, data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 20.04.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		1200	0,50	1193	19,4	1,37	1,75	0,95	51,0	1042		
Masa próbki do badań		-	-	-	-	-	-	-	51,0	12,3	13,8	12,7
Fracja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	19,4	0,12	0,17	0,13
	Inna organika	-	-	-	-	-	-	-	22,9	10,7	11,2	10,5
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	0,00	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	19,4	-	-	-	4,25	0,08	0,10	0,13
Szkło		-	-	-	-	0,50	-	-	0,30	0,05	0,03	0,10
Metale		-	0,50	-	-	0,87	-	-	0,50	0,03	0,03	0,05
Tekstylia		-	-	-	-	-	1,75	-	1,75	0,03	0,00	0,00
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	0,95	1,90	1,25	2,23	1,78
Wilgotność [%]		51,9*	5,0	51,7*	19,2	4,6	31,1	19,2	39,6	52,3	49,3	59,5

Tabela Z25O. *Miasto Żary - zabudowa wielorodzinna*

Teren badań, data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 01.06.2024										
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Masa strumienia		1750	1,18	1735	47,3	3,53	2,06	1,94	160	1520		
Masa próbki do badań		-	-	-	-	-	-	-	49,7	13,0	12,5	10,6
Fracja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	-	-	-	-	4,50	0,08	0,06	0,09
	Inna organika	-	-	-	-	-	-	-	33,3	11,7	11,4	9,55
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	0,00	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	47,3	-	-	-	10,4	0,38	0,25	0,18
Szkło		-	-	-	-	1,71	-	-	0,00	0,03	0,00	0,04
Metale		-	1,18		-	1,82	-	-	0,57	0,00	0,03	0,00
Tekstylia		-	-	-	-	-	2,06	-	0,82	0,25	0,08	0,00
Kamienie gruz		-	-	-	-	-	-	1,94	0,12	0,60	0,73	0,73
Wilgotność [%]		55,7*	5,1	55,3*	22,3	4,8	33,3	10,2	44,6	58,7	52,3	61,8

* Wartości obliczone z bilansu masowego

Tabela Z26. *Masy strumieni, ich wilgotność i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w kolejnych etapach procesu wstępnego oczyszczania bioodpadów z Marszowa - Wariant III*

Tabela Z26A. *Gmina miejska Łęknica zabudowa jednorodzinna*

Data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]: data poboru próbek - 20.04.2024												
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
Masa strumienia		939	0,087	930	230	20,8	1,414	0,320	0,000	0,200	7,98	670		
Masa próbki do badań		-	0,087	-	230	20,8	1,414	0,320	0,000	0,200	7,98	5,10	5,30	4,90
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	81,7	-	-	-	-	-	6,69	0,119	0,257	0,328
	Inna organika	-	-	-	148	-	-	-	-	-	0,550	4,94	4,87	4,40
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	-	10,1	1,33	-	-	-	0,316	0,011	0,023	0,019
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	-	2,52	0,085	-	-	-	0,003	0,008	0,006	0,050
Szkło		-	-	-	-	0,120	-	0,133	-	-	0,000	0,010	0,009	0,000
Metale		-	0,087	-	-	1,07	-	0,187	-	-	0,021	0,006	0,000	0,050
Tekstylia		-	-	-	-	3,94	-	-	0,000	-	0,000	0,000	0,050	0,000
Kamienie gruz		-	-	-	-	3,06	-	-	-	0,200	0,400	0,003	0,090	0,050
Wilgotność [%]		53,5*	4,1	53,1*	46,4	21,8	18,1,0	4,6	24,8	11,2	31,8	58,0	56,4	55,8

Tabela Z26B. *Gmina miejska Gozdnica zabudowa jednorodzinna*

Data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]: data poboru próbek - 01.06.2024												
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
Masa strumienia [kg]		946	0,127	940	206	20,1	0,649	0,305	0,174	0,844	11,9	700		
Masa próbki do badań		-	0,127	-	206	20,06	0,649	0,305	0,174	0,844	11,9	5,00	5,10	4,98
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	63,7	-	-	-	-	-	10,6	0,10	0,18	0,25
	Inna organika	-	-	-	142	-	-	-	-	-	0,500	4,86	4,86	4,37
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	-	10,8	0,621	-	-	-	0,366	0,008	0,010	0,015
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	-	2,31	0,028	-	-	-	0,020	0,010	0,020	0,012
Szkło		-	-	-	-	0,100	-	0,098	-	-	0,000	0,002	0,010	0,030
Metale		-	0,127	-	-	1,87	-	0,207	-	-	0,037	0,018	0,000	0,100
Tekstylia		-	-	-	-	2,89	-	-	0,174	-	0,007	0,000	0,000	0,100
Kamienie gruz		-	-	-	-	2,10	-	-	-	0,844	0,380	0,00	0,020	0,100
Wilgotność [%]		49,4*	3,9	49,1*	47,5	21,0	17,0	5,0	33,0	10,0	31,6	64,5	62,1	56,5

* Wartości obliczone z bilansu masowego

Tabela Z26C. Gmina miejska Żagań zabudowa wielorodzinna

Data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 20.04.2024												
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
Masa strumienia [kg]		1130	0,327	1120	269	111	2,60	2,04	0,444	0,327	8,05	726		
Masa próbki do badań		-	0,327	-	269	111	2,60	2,04	0,444	0,327	8,05	5,10	4,95	5,00
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	77,9	-	-	-	-	-	5,83	0,130	0,100	0,120
	Inna organika	-	-	-	191	-	-	-	-	-	0,950	4,63	4,55	4,61
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	-	0,00	0,00	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	-	76,2	2,60	-	-	-	1,11	0,028	0,025	0,019
Szkło		-	-	-	-	1,00	-	1,46	-	-	0,000	0,212	0,195	0,200
Metale		-	0,327	-	-	12,4	-	0,580	-	-	0,100	0,072	0,064	0,030
Tekstylia		-	-	-	-	16,9	-	-	0,444	-	0,060	0,000	0,000	0,000
Kamienie gruz		-	-	-	-	4,41	-	-	-	0,327	0,000	0,032	0,015	0,020
Wilgotność [%]		53,4*	4,3	53,0*	47,9	21,8	8,4	4,4	19,4	14,0	32,9	59,8	60,3	60,6

Tabela Z26D. Gmina miejska Żary - zabudowa wielorodzinna

Data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 01.06.2024												
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
Masa strumienia [kg]		987	0,102	980	143	37,2	1,11	0,480	0,083	0,150	12,1	786		
Masa próbki do badań		-	0,102	-	143	37,2	1,11	0,480	0,083	0,150	12,1	5,25	5,15	5,20
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	45,0	-	-	-	-	-	9,91	0,280	0,190	0,220
	Inna organika	-	-	-	97,8	-	-	-	-	-	0,950	4,90	4,87	4,84
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	-	0,00	0,00	-	-	-	0,00	0,000	0,000	0,000
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	-	25,1	1,11	-	-	-	1,19	0,050	0,034	0,060
Szkło		-	-	-	-	0,620	-	0,035	-	-	0,018	0,002	0,008	0,001
Metale		-	0,102	-	-	3,53	-	0,445	-	-	0,018	0,000	0,030	0,050
Tekstylia		-	-	-	-	3,56	-	-	0,083	-	0,000	0,000	0,000	0,002
Kamienie gruz		-	-	-	-	4,41	-	-	-	0,150	0,000	0,014	0,020	0,024
Wilgotność [%]		50,8*	5,2	50,4*	47,3	20,5	14,8	4,1	27,3	13,4	32,5	58,4	60,8	60,3

Tabela Z26E. Gmina wiejska Żagań

Data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 01.06.2024												
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
Masa strumienia		1009	0,320	1000	232	28,0	1,01	0,117	0,000	0,178	13,4	725		
Masa próbki do badań		-	0,320	-	232	28,0	1,01	0,117	0,000	0,178	13,4	4,95	5,30	4,85
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	82,1	-	-	-	-	-	11,2	0,226	0,300	0,226
	Inna organika	-	-	-	150	-	-	-	-	-	0,900	4,66	4,96	4,56
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	-	19,2	0,982	-	-	-	1,110	0,002	0,011	0,002
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	-	5,66	0,023	-	-	-	0,036	0,001	0,001	0,001
Szkło		-	-	-	-	0,560	-	0,053	-	-	0,000	0,001	0,002	0,001
Metale		-	0,320	-	-	1,15	-	0,064	-	-	0,021	0,000	0,001	0,000
Tekstylia		-	-	-	-	0,780	-	-	0,000	-	0,013	0,000	0,000	0,000
Kamienie gruz		-	-	-	-	0,700	-	-	-	0,178	0,119	0,056	0,028	0,056
Wilgotność [%]		50,7*	6,0	50,2*	46,4	23,5	19,1	5,0	29,2	9,6	32,2	46,4	49,3	46,7

* Wartości obliczone z bilansu masowego

Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów

Tabela Z26F. *Gmina wiejska Żary*

Data poboru próbek		Masy odpadów w [kg]; data poboru próbek - 09.03.2024												
Miejsce poboru próbek		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
Masa strumienia		958	0,056	950	200	20,0	1,29	0,091	0,053	0,054	9,96	719		
Masa próbki do badań		-	0,056	-	200	20,0	1,29	0,091	0,053	0,054	9,96	5,10	4,90	5,30
Frakcja biodegradowalna	Gałęzie	-	-	-	61,3	-	-	-	-	-	8,09	0,256	0,019	0,220
	Inna organika	-	-	-	138	-	-	-	-	-	1,20	4,76	4,78	5,04
Tworzywa szt.	Worki na bioodpady	-	-	-	-	14,1	1,19	-	-	-	0,460	0,024	0,015	0,010
	Inne tworzywa szt.	-	-	-	-	3,74	0,100	-	-	-	0,005	0,010	0,009	0,007
Szkło		-	-	-	-	0,260	-	0,023	-	-	0,000	0,001	0,002	0,001
Metale		-	0,056	-	-	1,20	-	0,068	-	-	0,021	0,000	0,001	0,000
Tekstylia		-	-	-	-	0,280	-	-	0,053	-	0,013	0,000	0,000	0,000
Kamienie gruz		-	-	-	-	0,440	-	-	-	0,054	0,119	0,056	0,028	0,056
Wilgotność [%]		55,0*	4,4	54,6*	47,5	21,2	18,3	5,3	26,7	8,5	33,6	56,6	49,3	46,7

* Wartości obliczone z bilansu masowego

Tabela Z27. *Masy strumieni, ich wilgotność i skład materiałowy produktów pośrednich otrzymanych w kolejnych etapach przetwarzania bioodpadów w kompost*Tabela Z27A. *Seria S1, proces podczyszczania bioodpadów według wariantu II, zmieszane bioodpady, 05.03.2024 r.*

Lp.	Miejsce poboru próbek	Nr próbki	Bioodpady	Nr próbki	Bioodpady	Gałęzie	Inna organika	Worki na bioodpady	Inne tw. szt.	Szkło	Metale	Tekstylia	Frakcja <10 mm (<2 mm)	Wilgotność [%]
1	Bioodpady: ogółem (przygotowane ręcznie)	M0	421000 (50550)	P0	1741	222	1314	59,2	13,7	6,75	3,22	29,3	92,4	48,9*
2	Wilgotność [%]	-	-	-	-	44,3	55,1	9,2	8,4	5,2	4,8	21,1	14,2	-
3	Zanieczyszczenia	M1	36400	P1	159	30,2	78,7	38,7	4,34	0,34	2,24	1,09	3,22	39,8*
4	Materiał strukturalny	M2	-	P2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Wsad do komory*	-	382600	-	1582	192	1235	20,5	9,36	6,41	0,98	28,2	89,2	52,0
6	Masa pokomp.*	M3	240290	P3	994	138	653	20,2	9,0	6,39	0,98	23,4	143 (57,6)	19,6
7	Mat strukturalny	-	-	P4	254	30,1	224	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,6
8	Frakcja >20 mm, zanieczyszczenia	-	-	P5	33,7	0,00	0,00	20,2	3,05	0,40	0,87	1,27	7,86	9,4
9	Frakcja 0-20 mm*	-	-		706	108	429	0,00	5,97	5,99	0,11	22,2	135 (57,6)	20,5
10	Frakcja >10 mm	-	-	P6	422	93	270	0,00	5,38	5,81	0,00	21,6	26,8	23,3
11	Kompost	-	-	P7	284	14,5	159	0,00	0,59	0,18	0,11	0,57	108 (57,6)	16,3

Tabela Z27B. *Seria S2, proces podczyszczania bioodpadów według wariantu II, zmieszane bioodpady, 05.11.2024 r.*

Lp.	Miejsce poboru próbek	Nr próbki	Bioodpady	Nr próbki	Bioodpady	Gałęzie	Inna organika	Worki na bioodpady	Inne tw. szt.	Szkło	Metale	Tekstylia	Frakcja <10 mm (<2 mm)	Wilgotność [%]
1	Bioodpady: ogółem (przygotowane ręcznie)	M0	440000 (50260)	P0	1885	256	1487	49,4	12,5	2,88	3,03	2,63	72,0	51,2*
2	Wilgotność [%]	-	-	-	-	36,7	57,2	8,7	9,4	2,6	3,9	17,2	21,1	-
3	Zanieczyszczenia	M1	35330	P1	151	22,6	81,0	35,8	2,8	0,3	2,8	1,5	4,7	39,2*
4	Materiał strukturalny	M2	-	P2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Wsad do komory*	-	404670	-	1733	233	1406	13,6	9,67	2,62	0,24	1,17	67,3	50,5
6	Masa pokomp.*	M3	233280	P3	999	189	708	13,4	9,22	2,68	0,25	1,12	75,3 (52,5)	23,9
7	Materiał strukturalny	-	-	P4	315	181	134	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,9
8	Frakcja >20 mm, zanieczyszczenia	-	-	P5	35,1	0,00	0,00	13,4	7,35	0,74	0,25	1,12	12,2	4,8
9	Frakcja 0-20 mm*	-	-	-	649	7,60	575	0,00	1,87	1,95	0,00	0,00	63,1 (52,5)	24,4
10	Frakcja >10 mm	-	-	P6	390	6,92	370	0,00	1,51	1,73	0,00	0,00	9,40	25,0
11	Kompost	-	-	P7	259	0,68	204	0,00	0,36	0,22	0,00	0,00	53,8 (52,5)	23,7

* - wartości obliczone

Tabela Z27C. *Seria S3, proces podczyszczania bioodpadów według wariantu II, zmieszane bioodpady, 06.07.2024 r.*

Lp.	Miejsce poboru próbek	Nr próbki	Bioodpady	Nr próbki	Bioodpady	Gałęzie	Inna organika	Worki na bioodpady	Inne tw. szt.	Szkło	Metale	Tekstylia	Frakcja <10 mm (<2 mm)	Wilgotność [%]
1	Bioodpady: ogółem (przygotowane ręcznie)	M0	351000 (49630)	P0	1410	47,9	1207	29,3	23,0	0,28	15,2	3,50	84,0	52,1*
2	Wilgotność [%]	-	-	-	-	40,5	56,8	9,0	8,9	3,7	4,1	19,2	26,0	-
3	Zanieczyszczenia	M1	39160	P1	157	36,8	83,6	25,6	3,6	0,3	2,4	0,9	4,1	42,2*
4	Materiał strukturalny	M2	-	P2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Wsad do komory*	-	311840	-	1253	11,1	1123	3,68	19,3	0,00	12,8	2,56	29,9	53,2
6	Masa pokomp.*	M3	184690	P3	742	7,98	534	3,71	18,6	0,00	12,9	2,08	162 (131)	21,1
7	Materiał strukturalny	-	-	P4	167	6,93	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,6
8	Frakcja >20 mm, zanieczyszczenia	-	-	P5	37,5	0,00	0,00	3,49	11,9	0,00	12,1	0,95	9,00	6,9
9	Frakcja 0-20 mm*	-	-	-	537	1,05	374	0,22	6,75	0,00	0,74	1,13	153 (131)	17,2
10	Frakcja >10 mm	-	-	P6	282	1,05	226	0,22	5,88	0,00	0,43	1,10	9,40	16,8
11	Kompost	-	-	P7	286	0,00	148	0,00	0,87	0,00	0,31	0,03	136 (131)	20,0

Tabela Z27D. *Seria S4, proces podczyszczania bioodpadów według wariantu III, zmieszane bioodpady, 06.07.2024 r.*

Lp.	Miejsce poboru próbek	Nr próbki	Bioodpady	Nr próbki	Bioodpady	Gałęzie	Inna organika	Worki na bioodpady	Inne tw. szt.	Szkło	Metale	Tekstylia	Frakcja <10 mm (<2 mm)	Wilgotność [%]
1	Bioodpady: ogółem (przygotowane ręcznie)	M0	432000 (49650)	P0	1731	338	1185	82,9	17,7	3,81	3,45	5,30	95,2	45,7*
2	Wilgotność [%]	-	-	-	-	40,8	52,2	9,4	9,8	3,7	4,9	21,2	24,5	-
3	Zanieczyszczenia	M1	38915	P1	156	15,5	86,5	41,6	2,42	0,22	3,29	3,56	2,90	36,7*
4	Materiał strukturalny	M2	-	P2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Wsad do komory*	-	393080	-	1575	322	1099	41,4	15,3	3,59	0,16	1,74	92,3	46,6
6	Masa pokomp.*	M3	249540	P3	1000	228	544	40,8	14,9	3,61	0,16	1,57	167 (141)	17,3
7	Materiał strukturalny	-	-	P4	250	211	38,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,6
8	Frakcja >20 mm, zanieczyszczenia	-	-	P5	70,1	0,00	0,00	40,6	14,2	1,66	0,16	0,99	12,4	8,9
9	Frakcja 0-20 mm*	-	-	-	680	16,7	505	0,11	0,68	1,94	0,00	0,58	155 (141)	18,9
10	Frakcja >10 mm	-	-	P6	410	14,8	381	0,10	0,38	1,68	0,00	0,00	12,3	24,5
11	Kompost	-	-	P7	270	1,92	125	0,02	0,30	0,26	0,00	0,58	142 (141)	19,9

* - wartości obliczone

Tabela Z27E. *Seria S5, proces podczyszczania bioodpadów według wariantu III, zmieszane bioodpady, 01.06.2024 r.*

Lp.	Miejsce poboru próbek	Nr próbki	Bioodpady	Nr próbki	Bioodpady	Gałęzie	Inna organika	Worki na bioodpady	Inne tw. szt.	Szkło	Metale	Tekstylia	Frakcja <10 mm (<2 mm)	Wilgotność [%]
1	Bioodpady: ogółem (przygotowane ręcznie)	M0	412000 (50250)	P0	1554	21,6	1345	0,00	103	4,17	5,85	15,7	58,9	51,6*
2	Wilgotność [%]	-	-	-	-	44,3	56,4	9,2	8,4	2,7	4,3	27,2	33,8	-
3	Zanieczyszczenia	M1	53960	P1	208	13,0	109	0,00	72,7	1,21	4,44	4,15	3,10	36,5*
4	Materiał strukturalny	M2	18190	P2	70,0	70,0	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Wsad do komory*	-	376230	-	1417	78,6	1236	0,00	30,3	2,96	1,41	11,6	55,8	53,9
6	Masa pokomp.*	M3	212800	P3	803	56,2	612	0,00	29,4	3,04	1,41	9,3	91,7 (57,5)	23,7
7	Materiał strukturalny	-	-	P4	175	47,5	127	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,5
8	Frakcja >20 mm, zanieczyszczenia	-	-	P5	38,5	0,00	0,00	0,00	19,2	1,44	1,30	1,75	14,9	9,1
9	Frakcja 0-20 mm*	-	-	-	589	8,64	484	0,00	10,26	1,60	0,11	7,56	76,8 (57,5)	24,1
10	Frakcja >10 mm	-	-	P6	329	6,20	298	0,00	8,73	1,52	0,00	7,29	6,67	24,8
11	Kompost	-	-	P7	261	2,44	186	0,00	1,53	0,08	0,11	0,27	70,2 (57,5)	23,3

Tabela Z27F. *Seria S6, proces podczyszczania bioodpadów według wariantu III, zmieszane bioodpady, 10.08.2024 r.*

Lp.	Miejsce poboru próbek	Nr próbki	Bioodpady	Nr próbki	Bioodpady	Gałęzie	Inna organika	Worki na bioodpady	Inne tw. szt.	Szkło	Metale	Tekstylia	Frakcja <10 mm (<2 mm)	Wilgotność [%]
1	Bioodpady: ogółem (przygotowane ręcznie)	M0	399500 (50100)	P0	1385	36,8	1198	51,6	13,1	2,65	3,95	7,21	72,4	50,3*
2	Wilgotność [%]	-	-	-	-	26,7	54,5	18,6	16,7	5,7	12,9	28,4	28,0	-
3	Zanieczyszczenia	M1	55540	P1	193	34,6	97,1	40,9	8,40	0,06	3,08	2,95	5,55	40,2*
4	Materiał strukturalny	M2	21630	P2	75,0	75,0	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Wsad do komory*	-	365590	-	1268	77,2	1101	10,7	4,69	2,60	0,87	4,26	66,9	53,7
6	Masa pokomp.*	M3	244060	P3	846	71,8	565	10,5	4,79	2,62	0,84	4,13	187 (124)	20,1
7	Materiał strukturalny	-	-	P4	263	66,5	197	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,3
8	Frakcja >20 mm, zanieczyszczenia	-	-	P5	68,2	0,00	0,00	10,5	3,66	1,54	0,80	2,91	48,6	11,2
9	Frakcja 0-20 mm*	-	-	-	515	5,32	368	0,00	1,13	1,08	0,03	1,22	138 (124)	21,2
10	Frakcja >10 mm	-	-	P6	239	4,59	218	0,00	0,73	0,75	0,00	1,19	13,3	22,3
11	Kompost	-	-	P7	276	0,74	149	0,00	0,40	0,33	0,03	0,03	125 (124)	22,1

* - wartości obliczone

Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń z bioodpadów

Tabela Z27G. Seria S7, proces podczyszczania bioodpadów według wariantu I, zmieszane bioodpady, 05.09.2024 r.

Lp.	Miejsce poboru próbek	Nr próbki	Bioodpady	Nr próbki	Bioodpady	Gałęzie	Inna organika	Worki na bioodpady	Inne tw. szt.	Szkło	Metale	Tekstylia	Frakcja <10 mm (<2 mm)	Drewno przetworzone	Wilgotność [%]
1	Bioodpady: ogółem (przygotowane ręcznie)	M0	460550 (50940)	P0	1530	161	1237	33,6	34,0	6,35	3,52	9,79	39,4	6,12	52,5*
2	Wilgotność [%]	-	-	-	-	37,4	58,0	11,6	7,2	4,7	5,1	19,3	34,1		-
3	Zanieczyszczenia	M1	(394)	P1	11,8	4,48	2,96	3,33	0,63	0,00	0,05	0,28	0,09	0,02	33,1*
5	Wsad do komory*	-	(50550)	-	1518	156	1234	30,3	33,3	6,35	3,47	9,52	39,3	6,10	52,8
6	Masa pokomp.*	M3	228100 (25230)	P3	756	22,3	529	25,8	23,6	3,25	3,00	6,12	143 (129)	0,00	23,2
7	Mat. strukturalny	-	-	P4	176	14,8	161	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,4
8	Frakcja >20 mm, zanieczyszczenia	-	-	P5	64,3	0,00	0,00	25,6	19,8	2,32	2,76	5,33	5,89	2,52	9,4
9	Frakcja 0-20 mm	-	-	-	518	7,47	368	0,11	3,79	0,93	0,23	0,79	137 (129)	0,00	25,8
10	Frakcja >10 mm	-	-	P6	195	6,51	179	0,02	3,20	0,63	0,00	0,00	6,27	0,00	21,5
11	Kompost	-	-	P7	323	0,96	189	0,09	0,60	0,29	0,23	0,79	137 (129)	0,00	17,0

* - wartości obliczone