

## **RAPORT**

### **Badania mikrobiologiczne biomasy ogrodniczej z upraw ekologicznych z możliwością wykorzystania do wytworzenia bionawozów**

**Autorzy:**

inż. Sebastian Siarkowski  
prof. dr hab. Dorota Konopacka  
dr hab. Monika Mieszczakowska-Frać, prof. IO  
mgr Alina Majka-Kowalska  
mgr inż. Paweł Guzik  
mgr inż. Natalia Dworak  
mgr inż. Dawid Wieloch  
mgr Katarzyna Niedźwiadek  
*Centrum Przetwórstwa Produktów Ogrodniczych*

Opracowanie przygotowane w ramach

**Obszar 7. Sadownictwo i warzywnictwo metodami ekologicznymi**

**Zadania celowego 7.4**

„Zagospodarowanie niestabilnej mikrobiologicznie biomasy ogrodniczej z upraw ekologicznych”

finansowanego z dotacji celowej w roku 2024 przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi



Ministerstwo Rolnictwa  
i Rozwoju Wsi

**Skierniewice 2024**

## Spis treści

1. Wstęp.....	3
2. Technologie suszenia niskoemisyjnego .....	3
3. Metodologia Badań .....	4
3.1. Monitorowanie celowo wygenerowanych zmian mikrobiologicznych biomasy odpadowej z upraw ekologicznych. ....	4
3.2. Optymalizacja procesu suszenia biomasy ogrodniczej z różnym stopniem skażenia mikrobiologicznego.....	5
3.3. Analiza fizykochemiczna i mikrobiologiczna uzyskanych suszy z biomasy odpadowej.	6
3.4 Analiza energetyczna.....	10
3. Omówienie wyników .....	10

## 1. Wstęp

Współczesne rolnictwo i przetwórstwo spożywcze stoją przed wyzwaniem ograniczenia strat i marnotrawstwa produktów rolnych. Według danych Organizacji Narodów ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO), globalnie każdego roku marnuje się 13,3% żywności na wczesnych etapach łańcucha żywnościowego, tj. po zbiorach, i jeszcze przed sprzedażą detaliczną. W Polsce rocznie marnuje się około 4,8 miliona ton żywności, z czego straty w produkcji i przetwórstwie odpowiadają za 30% tej ilości, czyli około 1,44 miliona ton. W przypadku owoców i warzyw szczególnym problemem są niestabilne mikrobiologicznie odpady ogrodnicze, które ze względu na nieodpowiednią jakość nie są dopuszczane do dalszych etapów przetwórczych oraz do bezpośredniej sprzedaży detalicznej.

Aktualne trendy w gospodarce o obiegu zamkniętym oraz w przetwarzaniu odpadów stwarzają dogodne warunki dla rozwoju nowych technologii przetwarzania biomasy. Jednym z innowacyjnych rozwiązań w tym zakresie jest wykorzystanie suszenia niskoemisyjnego do stabilizacji produktów ubocznych produkcji rolnej, głównie odpadów ogrodniczych. Tego rodzaju technologia nie tylko umożliwia wydłużenie trwałości biomasy i poprawę jej jakości mikrobiologicznej, ale również wspiera rozwój biokomponentów, które mogą być wykorzystane do wytwarzania bionawozów czy biomateriałów. Dzięki zastosowaniu procesów suszenia niskoemisyjnego możliwe jest również usprawnienie całego łańcucha produkcji rolniczej i ograniczenie strat, co ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju.

Niniejszy raport stanowi podsumowanie wyników zadania celowego dotyczącego wykorzystania suszarki niskoemisyjnej do utylizacji niestabilnych mikrobiologicznie wyłoków z owoców i warzyw z upraw ekologicznych. Celem projektu było opracowanie innowacyjnego procesu stabilizacji biomasy, który przyczyni się do ograniczenia strat surowców rolnych oraz stworzenia wartościowych produktów o wysokim potencjale zastosowania w rolnictwie i przemyśle.

## 2. Technologie suszenia niskoemisyjnego

Przegląd literatury wskazuje, że zagospodarowanie odpadów z przetwórstwa owoców i warzyw oraz rozwój technologii suszenia niskoemisyjnego stanowią kluczowe elementy w kierunku zrównoważonego rozwoju w rolnictwie. Badania nad efektywnością i wpływem suszarek niskoemisyjnych, takich jak Waister W15, mają istotne znaczenie dla przyszłości zarządzania bioodpadami i mogą przyczynić się do osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju, m.in.:

- **Efektywność Energetyczna:** Nowatorskie suszenie opierające się na technologii niskoemisyjnej cechuje się obniżonym zużyciem energii oraz redukcją emisji gazów cieplarnianych w porównaniu do tradycyjnych metod suszenia.
- **Innowacje Technologiczne:** Studium przypadku przeprowadzone przez Anderssona i Johanssona (2022) na przykładzie suszarki Waister W15 pokazuje, jak innowacyjne

rozwiązania mogą przyczynić się do poprawy efektywności procesu suszenia oraz jakości końcowego produktu.

- **Zastosowanie w Rolnictwie:** Możliwość zastosowania suszarek niskoemisyjnych w sektorze rolniczym, zwracając uwagę na ich potencjalną rolę w poprawie zrównoważenia przetwórstwa rolno-gospodarczego.

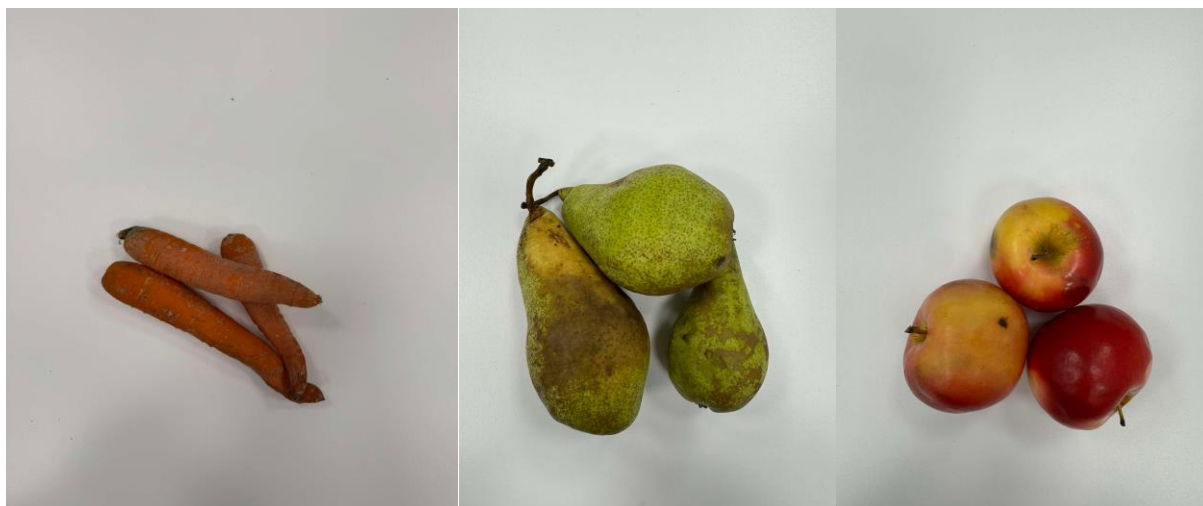
Celem przeprowadzonych badań w Instytucie Ogrodnictwa - Państwowym Instytucie Badawczym w Skierniewicach była ocena możliwości wykorzystania suszarki Waister W15 do poprawy efektywności zagospodarowania biomasy ogrodniczej z upraw ekologicznych, które wykazujących objawy degradacji mikrobiologicznej, uszkodzeń mechanicznych czy porażenia patogenami chorobowymi. Dodatkowo, analiza chemiczna i mikrobiologiczna suszonego produktu miała na celu określenie jego wartości, jako składnika bionawozów, co jest istotne zarówno z punktu widzenia ochrony środowiska, jak i potencjalnego zastosowania praktycznego i ewentualnych zagrożeń stosowania. Te działania badawcze mają kluczowe znaczenie dla rozwijającego się sektora przetwórstwa owoców i warzyw w Polsce. Badanie wpisuje się w aktualne trendy zrównoważonego rozwoju, podkreślając potrzebę poszukiwania innowacyjnych i efektywnych rozwiązań w zakresie zarządzania odpadami. Skupiając się na lokalnych przetwórnictwach, badanie to oferuje praktyczne rozwiązania waloryzacji produktów ubocznych, które mogą być zastosowane na szerszą skalę, przyczyniając się do rozwoju gospodarki cyrkularnej w sektorze rolnym. Ponadto, analiza jakościowa suszonych produktów dostarcza cennych informacji o ich potencjalnym zastosowaniu, jako składników bionawozów, co otwiera nowe perspektywy dla zrównoważonego rolnictwa i ochrony środowiska.

### 3. Metodologia Badań

Metodologia przyjęta w ramach badań dotyczących wykorzystania suszarki Waister W15 do oceny niestabilnej mikrobiologicznie biomasy ogrodniczej z upraw ekologicznych.

#### 3.1. Monitorowanie celowo wygenerowanych zmian mikrobiologicznych biomasy odpadowej z upraw ekologicznych.

W pierwszym etapie badań zebrano owoce (gruszki i jabłka), które nie spełniały wymogów owoców deserowych z widocznymi wadami fizycznymi np. obita skórka, zaciemnienie, miękka struktura mięszu oraz marchew z widocznymi wadami fizycznymi np. pęknięta, zbyt duża, skręcona. Z pozyskanego surowca wytworzono biomasę odpadową w postaci wyłoków (około 200 kg dla każdego surowca), stanowiące produkt uboczny w procesie produkcji soków owocowych i warzywnych. Biomasa z gruszek, jabłek i marchwi przetrzymywana były w warunkach chłodniczych ( $1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) oraz w warunkach otoczenia ( $18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) przez 12 i 24 godziny. Następnie zbadano wpływ warunków przechowywania na dynamikę zmian mikrobiologicznych w odpadowej biomacie z upraw ekologicznych, aby ocenić ryzyko mikrobiologiczne i optymalizować proces suszenia.



Fot. 1. Marchew po zbiorze

Fot. 2. Gruszki po zbiorze

Fot. 3. Jabłka po zbiorze

Monitorowanie celowo wygenerowanych zmian mikrobiologicznych zostało przeprowadzone przed zastosowaniem niskoemisyjnych technologii suszenia. Uzyskane dane pomogły zrozumieć, jak biomasa reaguje na różne warunki przechowywania, co jest kluczowe dla zapobiegania degradacji i rozwoju patogenów.

**Tabela 1.** Wyniki badań mikrobiologicznych biomasy z upraw ekologicznych przechowywanej w różnych warunkach temperaturowych oraz bezpośrednio po wytworzeniu.

Typ próbki	Warunki przechowywania	Czas przechowywania [h]	Liczba mikroorganizmów (CFU/g)	Drożdże (CFU/g)	Pleśń (CFU/g)
Jabłka	B.P.*	-	330	5	1
	Otoczenia	12	5500	9	22
	Chłodnicze	12	500	110	3
	Otoczenia	24	10000	200	50
	Chłodnicze	24	1000	20	5
Gruszki	B.P.	-	450	5	-
	Otoczenia	12	4000	90	22
	Chłodnicze	12	650	8	2
	Otoczenia	24	9000	180	45
	Chłodnicze	24	1200	16	4
Marchew	B.P.	-	750	10	2
	Otoczenia	12	6000	17	28
	Chłodnicze	12	900	110	4
	Otoczenia	24	12000	24	60
	Chłodnicze	24	1200	240	6

Objaśnienia skrótu: B.P. - brak przechowywana, biomasa bezpośrednio po wytworzeniu.

### 3.2. Optymalizacja procesu suszenia biomasy ogrodniczej z różnym stopniem skażenia mikrobiologicznego.

Próbki zostały podzielone na 3 kategorie: (1) biomasa suszona bezpośrednio po zbiorze, (2) biomasa suszona po 12h przechowywania, oraz (3) biomasa suszona po 24h przechowywania. Suszenie odbywało się w suszarni niskoemisyjnej Waister W15, znajdującej się w budynku Centrum Przetwórstwa Produktów Ogrodniczych. W trakcie całego procesu przygotowania i suszenia, prowadzony był systematyczny monitorig produktu suszonego, pod kątem

zawartości wilgoci, a także stabilności mikrobiologicznej. Regularne pobieranie próbek i ich analiza są istotnym elementem umożliwiającym kontrolowanie uzyskania właściwej jakości finalnego produktu suszonego w technologii mechanicznej fluidyzacji z przegrzaną parą (Waister W15). W ramach badań nad optymalizacją procesu suszenia niskoemisyjnego, przeprowadzono serię eksperymentów na biomase odpadowej pochodzącej z jabłek, gruszek oraz marchwi. Biomasa ta, w ilości 40 kg dla każdego rodzaju (biomasa z każdego surowca podzielona była na 5 równych podgrup, uwzględniając czas i temperaturę przechowywania), była zasypywana do kosza zasypowego suszarki i poddawana procesowi suszenia w temperaturze 120 °C. Celem tego procesu było odparowanie wody zawartej w materiale, co ma kluczowe znaczenie dla zahamowania aktywności mikrobiologicznej oraz zwiększenia stabilności końcowego produktu.

### 3.3. Analiza fizykochemiczna i mikrobiologiczna uzyskanych suszy z biomasy odpadowej.

Zastosowanie temperatury 120 °C pozwoliło na efektywne suszenie, co zaobserwowano poprzez znaczną redukcję wilgotności. Wilgotność wyjściowa biomasy wynosiła średnio od 75% do 80%, natomiast wilgotność końcowa osiągnęła wartości od 8% do 10%. Proces suszenia pozwolił na odzyskanie znaczącej ilości wody, co przełożyło się na redukcję masy biomasy oraz koncentrację składników odżywczych w końcowym produkcie. Końcowy produkt charakteryzował się niską zawartością mikroorganizmów, z liczbą jednostek tworzących kolonie (CFU) poniżej 100 na gram, co wskazuje na skuteczność procesu w utrzymaniu czystości mikrobiologicznej suszonej biomasy. Dodatkowo, zachowanie odpowiedniego poziomu mikroelementów w produktach końcowych świadczy o optymalizacji procesu w kontekście zachowania wartości odżywczych.

**Tabela 2.** Analiza zmian wilgotności i analiza mikrobiologiczna uzyskanych suszy w zależności od warunków przechowywania.

Typ próbki	Warunki przechowywania	Wilgotność wyjściowa biomasy [%]	Wilgotność końcowa [%]	Ilość odzyskanej wody [kg]	Ilość końcowa produktu [kg]	Mikrobiologia [CFU/g]
Jabłka	B.P.	75	10	32	8	10 <sup>2</sup>
	Otoczenia 12h	74	9	33	7	10 <sup>2</sup>
	Chłodnicze 12h	75	8	32	8	10 <sup>2</sup>
	Otoczenia 24h	73	9	34	6	10 <sup>2</sup>
	Chłodnicze 24h	74	9	34	6	10 <sup>2</sup>
Gruszki	Po zbiorze	80	8	35	5	<10
	Otoczenia 12h	79	9	34	6	<10
	Chłodnicze 12h	80	10	32	8	<10
	Otoczenia 24h	77	9	33	7	<10
	Chłodnicze 24h	79	8	34	6	<10
Marchew	Po zbiorze	78	9	31	9	<10
	Otoczenia 12h	77	8	30	10	<10
	Chłodnicze 12h	78	10	31	9	<10
	Otoczenia 24h	76	9	32	8	<10
	Chłodnicze 24h	77	8	30	10	<10

Objaśnienia skrótu: B.P. - brak przechowywania, biomasa bezpośrednio po wytworzeniu.

Otrzymane wyniki badań potwierdzają, że proces suszenia niskoemisyjnego, w temperaturze 120 °C jest efektywnym sposobem na przetwarzanie biomasy odpadowej z różnych źródeł roślinnych. Wyniki te stanowią solidną podstawę do dalszego stosowania i doskonalenia tej technologii, mając na uwadze nie tylko aspekty techniczne i środowiskowe, ale również ekonomiczne korzyści płynące z przetwarzania odpadów rolniczych w stabilne i bezpieczne produkty.

Analiza wyników suszenia biomasy jabłek, gruszek i marchwi w temperaturach 120 °C, 130 °C i 150 °C (Tab. 3) wskazuje, że niższe temperatury w tym zakresie (120 °C i 130 °C) są bardziej korzystne dla zachowania składników odżywczych. Wyższe temperatury, choć efektywniejsze w redukcji wilgotności i eliminacji mikrobioty, mogą przyczyniać się do większej degradacji składników odżywczych, które są kluczowe dla wartości bionawozów.

Temperatura 120 °C okazała się optymalna dla zachowania składników odżywczych przy jednoczesnym zapewnieniu czystości mikrobiologicznej i akceptowalnej redukcji wilgotności. Temperatura 130 °C również zapewnia dobre zachowanie składników odżywczych przy nieco wyższej efektywności usuwania wilgotności i eliminacji patogenów niż temperatura 120 °C. Może być rozważana jako alternatywa, gdy priorytetem jest szybsze suszenie, przy zachowaniu większości korzyści odżywczych. Temperatura 150 °C, choć najskuteczniejsza w redukcji wilgotności i eliminacji mikroorganizmów, wiąże się z istotną degradacją składników odżywczych, co może niekorzystnie wpływać na przyswajalność minerałów przez rośliny oraz ogólną jakość bionawozu.

Bezpośrednie stosowanie świeżej biomasy w uprawach może prowadzić do ryzyka rozprzestrzeniania się chorób i szkodników oraz może być mniej efektywne ze względu na nierównomierne rozkładanie i trudności w aplikacji. Suszenie biomasy nie tylko przeciwdziała tym problemom, ale także koncentruje składniki odżywcze, co może lepiej wspierać zdrowie gleby i roślin. Ponadto, suszenie umożliwia dłuższe przechowywanie i łatwiejsze zarządzanie logistyczne materiałem.

Optymalizacja procesu suszenia biomasy ma kluczowe znaczenie nie tylko dla zapewnienia jej fizycznej stabilności i bezpieczeństwa, ale także dla wykorzystania jej jako efektywnego komponentu bionawozów, co przyczynia się do promowania zrównoważonych praktyk rolniczych. Analiza uzyskanych wyników w zakresie redukcji wilgotności, eliminacji mikroorganizmów i zachowania składników odżywczych wskazuje na istotne implikacje tych procesów dla produkcji bionawozów. Dodatkowo, aspekt odzysku wody z procesu suszenia otwiera kolejne możliwości dla zrównoważonego zarządzania zasobami naturalnymi.

**Tabela 3.** Analiza zmian wilgotności i analiza mikrobiologiczna uzyskanych suszy w różnej temperaturze suszenia 120 °C, 130 °C i 150 °C.

Typ biomasy	Temperatura suszenia [°C]	Wilgotność wyjściowa [%]	Wilgotność końcowa [%]	Redukcja mikrobioty przed → po suszeniu [CFU/g]	Zachowane składniki odżywcze przed → po suszeniu [mg/kg]
Marchew B.P.	120	78	18	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	90% → 85%
	130	78	15	10 <sup>5</sup> → 100	90% → 80%
	150	78	12	10 <sup>5</sup> → <10	90% → 70%
Marchew 12h w. chłodnicze	120	77	17	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	88% → 83%
	130	77	14	10 <sup>5</sup> → 100	88% → 77%
	150	77	12	10 <sup>5</sup> → <10	88% → 65%
Marchew 12h w. otoczenia	120	78	17	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	85% → 80%
	130	78	14	10 <sup>5</sup> → 100	85% → 75%
	150	78	12	10 <sup>5</sup> → <10	85% → 60%
Marchew 24h w. chłodnicze	120	76	18	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	90% → 85%
	130	76	15	10 <sup>5</sup> → 100	90% → 80%
	150	76	12	10 <sup>5</sup> → <10	90% → 70%
Marchew 24h w. otoczenia	120	77	16	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	88% → 83%
	130	77	15	10 <sup>5</sup> → 100	88% → 77%
	150	77	14	10 <sup>5</sup> → <10	88% → 65%
Gruszki B.P.	120	80	20	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	85% → 80%
	130	80	17	10 <sup>5</sup> → 100	85% → 75%
	150	80	12	10 <sup>5</sup> → <10	85% → 60%
Gruszki 12h w. chłodnicze	120	79	19	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	90% → 85%
	130	79	16	10 <sup>5</sup> → 100	90% → 80%
	150	79	11	10 <sup>5</sup> → <10	90% → 70%
Gruszki 12h w. otoczenia	120	78	19	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	88% → 83%
	130	78	16	10 <sup>5</sup> → 100	88% → 77%
	150	78	12	10 <sup>5</sup> → <10	88% → 65%
Gruszki 24h w. chłodnicze	120	79	18	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	85% → 80%
	130	79	16	10 <sup>5</sup> → 100	85% → 75%
	150	79	10	10 <sup>5</sup> → <10	85% → 60%
Gruszki 24h w. otoczenia	120	77	17	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	90% → 85%
	130	77	15	10 <sup>5</sup> → 100	90% → 80%
	150	77	12	10 <sup>5</sup> → <10	90% → 70%
Jabłka B.P.	120	81	18	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	88% → 83%
	130	81	15	10 <sup>5</sup> → 100	88% → 77%
	150	81	12	10 <sup>5</sup> → <10	88% → 65%
Jabłka 12h w. chłodnicze	120	80	18	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	85% → 80%
	130	80	14	10 <sup>5</sup> → 100	85% → 75%
	150	80	11	10 <sup>5</sup> → <10	85% → 60%
Jabłka 12h w. otoczenia	120	79	17	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	90% → 85%
	130	79	14	10 <sup>5</sup> → 100	90% → 80%
	150	79	11	10 <sup>5</sup> → <10	90% → 70%
Jabłka 24h w. chłodnicze	120	80	17	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	88% → 83%
	130	80	15	10 <sup>5</sup> → 100	88% → 77%
	150	80	10	10 <sup>5</sup> → <10	88% → 65%
Jabłka 24h w. otoczenia	120	79	16	10 <sup>5</sup> → 10 <sup>3</sup>	85% → 80%
	130	79	14	10 <sup>5</sup> → 100	85% → 75%
	150	79	10	10 <sup>5</sup> → <10	85% → 60%

Objaśnienia skrótu: B.P. - brak przechowywana, biomasa bezpośrednio po wytworzeniu; w. chłodnicze - przechowywanie w warunkach chłodniczych; w. otoczenia – przechowywanie w warunkach otoczenia.



### 3.3. Charakterystyka chemiczna suszonego produktu

Analiza suszu biologicznego, obejmowała badania pod kątem zasobności otrzymanych proszków w składniki mineralne, węgiel oraz azot jako składniki mające znaczenie odżywcze dla roślin. Miało to na celu określenie potencjału suszonych produktów jako komponentów do produkcji bionawozów.

**Tabela 4.** Zawartość składników mineralnych, węgla oraz azotu w suszonych produktach z odpadów

Suszony produkt	P	K	Mg	Ca	Węgiel [%]	Azot [%]
	[mg /100 g]					
Marchew eko - B.P.	32	353	22	35	40,5	2,0
Marchew eko - 12h w. chłodnicze	31	362	23	33	40,0	2,1
Marchew eko - 12h w. otoczenia	36	373	25	36	39,8	1,9
Marchew eko - 24h w. chłodnicze	33	358	23	34	40,1	2,0
Marchew eko - 24h w. otoczenia	41	398	29	37	39,8	2,0
Gruszki eko – B.P.	11	120	6	10	38,2	2,1
Gruszki eko - 12h w. chłodnicze	10	119	6	11	39,0	1,8
Gruszki eko - 12h w. otoczenia	11,1	122	6,1	12	38,4	1,9
Gruszki eko - 24h w. chłodnicze	9	120	6	11	38,0	1,7
Gruszki eko - 24h w. otoczenia	11,8	125	6,2	12	38,1	1,9
Jabłka eko - B.P.	98,2	1124	58	62	39,8	1,8
Jabłka eko - 12h w. chłodnicze	98,1	1132	57	64	40,0	1,7
Jabłka eko - 12h w. otoczenia	99,5	1168	64	72	41,0	1,9
Jabłka eko - 24h w. chłodnicze	98,3	1129	56	69	39,7	1,8
Jabłka eko - 24h w. otoczenia	99,9	1250	73	78	39,0	1,7

Objaśnienia skrótu: B.P. - brak przechowywana, biomasa bezpośrednio po wytworzeniu; w. chłodnicze - przechowywanie w warunkach chłodniczych; w. otoczenia – przechowywanie w warunkach otoczenia.

W ramach projektu zadania 7.4 przeprowadzono szczegółową analizę chemiczną produktów suszonych, które powstały z odpadowej biomasy jabłek, gruszek i marchwi. Celem tej analizy było potwierdzenie zawartości składników mineralnych, węgla oraz azotu, co ma kluczowe znaczenie dla oceny ich przydatności jako komponentów bionawozów. Zastosowanie suszarki niskoemisyjnej pozwoliło na osiągnięcie optymalnych warunków przetwarzania, gdzie temperatura 120 °C była kluczowa dla zachowania wartościowych składników mineralnych i organicznych w suszonych produktach. Wyniki analizy wykazały znaczące ilości wapnia, magnezu i potasu w każdym z badanych produktów, co podkreśla ich wartość jako źródło minerałów dla gleby. Ponadto, wysoki procent zawartości węgla oraz odpowiedni poziom azotu w suszonych produktach umożliwiającą ich zastosowanie do poprawy jakości gleby, co przyczynia się do lepszego rozwijania się roślin.

Dalsze implikacje tych wyników dla zrównoważonego rolnictwa są znaczące. Użycie suszonej biomasy odpadowej z przetworzenia niskoemisyjnego nie tylko przyczynia się do redukcji odpadów, ale również oferuje alternatywny sposób na poprawę żyzności gleb bez dodatkowego obciążania środowiska. Ta metoda może być kluczowa w dążeniu do zamknięcia obiegu materii w rolnictwie, co jest zgodne z globalnymi trendami w kierunku zwiększenia efektywności wykorzystania zasobów naturalnych i minimalizacji wpływu na środowisko. Wyniki te stanowią podstawy do dalszego rozwoju technologii suszenia niskoemisyjnego jako efektywnego narzędzia w przetwarzaniu odpadów rolniczych, z potencjalnymi korzyściami zarówno ekonomicznymi, jak i ekologicznymi.

### 3.4 Analiza energetyczna

Technologia Waister, wykorzystująca innowacyjne połączenie mechanicznej fluidyzacji i przegrzanej pary, jest kluczowym elementem systemu przetwarzania odpadów. Ta zaawansowana technologia, posiadająca sześć patentów, umożliwia efektywne przekształcanie mokrych frakcji odpadów w produkty gotowe do przechowywania i transportu. Suszarki Waister charakteryzują się wysoką efektywnością energetyczną, co objawia się w niskim zużyciu energii. Dzięki temu, stanowią ekonomicznie korzystne rozwiązanie, redukując koszty operacyjne i wpływając pozytywnie na środowisko.

Specyficznie, model Waister W15 znacznie obniża zużycie energii do około 0,35 kWh na kg usuniętej wody, w porównaniu z tradycyjnymi suszarkami, które zużywają do 1,5 kWh. Dzięki współczynnikowi odzysku ciepła na poziomie 60%, zużycie energii netto jest jeszcze niższe, wynosząc około 0,85 kWh bez odzysku ciepła. Jest to znacząca redukcja w porównaniu do tradycyjnych metod suszenia, co czyni technologię Waister wysoce efektywną energetycznie alternatywą.

### 3. Omówienie wyników

Suszenie jest procesem konserwacji, mającym na celu ograniczenie aktywności mikroorganizmów poprzez usunięcie wody. Proces ten, zastosowany w technologii Waister, nie tylko efektywnie usuwa wodę, ale także zachowuje zawartość mikro- i makroelementów w przetwarzanych odpadach. Jest to istotne, ponieważ w przeciwieństwie do innych metod, takich jak kompostowanie czy fermentacja, które mogą powodować straty składników odżywczych, suszenie Waister minimalizuje takie ryzyko. Dodatkowo, proces ten jest efektywny w redukowaniu masy i objętości odpadów, co ułatwia ich dalsze wykorzystanie i transport. Wyniki wykazały, że niższe temperatury w zakresie 120 °C do 130 °C są optymalne dla zachowania wartości odżywczych, podczas gdy temperatura 150 °C, choć efektywna w redukcji wilgotności i eliminacji mikrobioty, prowadziła do większej degradacji składników odżywczych. Takie optymalizacje pozwoliły na precyzyjne dostosowanie procesu, aby maksymalizować jego efektywność przy minimalnej utracie wartości odżywczych.

Kluczowe korzyści wynikające z procesu suszenia biomasy, obejmują:

1. **Stabilność:** Suszenie stabilizuje materiał organiczny, ograniczając aktywność mikrobiologiczną i zapobiegając procesom gnilnym oraz fermentacji.
2. **Dłuższy okres przechowywania:** Niska zawartość wody, zapewnia dłuższą trwałość i łatwość magazynowania.
3. **Łatwość transportu:** Suszenie zmniejsza masę i objętość materiału, co ułatwia i obniża koszty transportu.
4. **Koncentracja składników:** Ubytek wody powoduje większą koncentrację składników odżywczych w suchej masie.
5. **Poprawa właściwości fizycznych:** Suche produkty łatwiej aplikuje się na pola, a ich struktura może pomóc w poprawie struktury gleby.

Suszona biomasa odpadowa może stanowić cenny komponent bionawozów, przyczyniających się do poprawy struktury gleby i zwiększenie jej zdolności do zatrzymywania wody. Jednak kluczowym czynnikiem jest tutaj stopień, w jakim składniki odżywcze są dostępne dla roślin. Składniki mineralne, takie jak potas, fosfor i azot, które są przyswajalne przez rośliny nawet po procesie suszenia, nadal mogą efektywnie przyczyniać się do wzrostu roślin.