

RAPORT

Wykorzystanie suszarki niskoemisyjnej do utylizacji niestabilnych mikrobiologicznie wytlóków z owoców i warzyw

Autorzy:

inż. Sebastian Siarkowski

prof. dr hab. Dorota Konopacka

dr hab. Monika Mieszczakowska-Frać, prof. IO

mgr inż. Wioletta Popińska

mgr inż. Paweł Guzik

Centrum Przetwórstwa Produktów Ogrodniczych

Opracowanie przygotowane w ramach **zadania 11.4**

„Wykorzystanie suszarki niskoemisyjnej do zagospodarowania niestabilnych mikrobiologicznie odpadów z przetwórstwa owoców i warzyw, jako komponentów bionawozów”.

finansowanego przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi

Skierniewice 2023

Spis treści

1. WSTĘP	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
2. Technologie Suszenia Niskoemisyjnego.....	4
3. Metodologia Badań.....	5
3.1 Przygotowanie prób badawczych wycieków jabłkowych i dyniowych	5
3.2 Analiza Chemiczna.....	6
3.3 Analiza mikrobiologiczna wycieków jabłkowych i dyniowych.....	9
4. Omówienie wyników	11
4.1 Rezultaty suszenia w suszarce niskoemisyjnej.....	13
5. Wnioski dotyczące przydatności suszarki niskoemisyjnej Waister W 15:	13

1. Wstęp

Rolnicy i ogrodnicy, wykorzystując własną bazę surowcową, angażują się w przetwórstwo produktów rolnych, co stanowi istotny aspekt Rolniczego Handlu Detalicznego (RHD). Przetwórstwo na poziomie lokalnym, realizowane często w formie przydomowej, pozwala na uzyskanie produktów o wysokich walorach smakowych i prozdrowotnych. Ta forma działalności zyskuje na popularności, jednak równocześnie napotyka na wyzwania związane z utylizacją bioodpadów. Odpady te często charakteryzują się niestabilnością mikrobiologiczną i wymagają szybkiego przetworzenia, by uniknąć degradacji środowiska i zagrożeń zdrowotnych. Problem ten nabiera szczególnego znaczenia w kontekście przetwarzania surowców ekologicznych, które są bardziej podatne na procesy psucia.

Odpady z przetwórstwa owoców i warzyw mogą stanowić obciążenie dla środowiska, jeśli nie są odpowiednio zarządzane. Raport Światowej Organizacji Zdrowia (WHO, 2021) wskazuje na potrzebę opracowania i wdrożenia nowych technologii, które pozwolą na efektywne i bezpieczne przetwarzanie tych odpadów. Badania przeprowadzone przez Hansen i współpracowników (2020)¹ podkreślają znaczenie zrównoważonego przetwarzania odpadów rolnych. Autorzy wskazują na potencjalne korzyści środowiskowe i ekonomiczne wynikające z efektywnego wykorzystania bioodpadów.

W odpowiedzi na te wyzwania, Centrum Przetwórstwa Produktów Ogrodniczych (CPPO) Instytutu Ogrodnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego (IO-PIB) inicjuje prace badawcze nad efektywnymi metodami zagospodarowania takich odpadów. Kluczowym elementem tych działań jest wykorzystanie suszarki niskoemisyjnej linii Waister 15, opracowanej w Norwegii. Urządzenie to łączy w sobie moduły rozdrabniające resztki tkanki biologicznej z procesem sterylizacji parą przegrzaną, co efektywnie dezaktywuje mikroorganizmy. Następnie, z rozdrobnionej materii odparowywana jest woda, przy czym proces wymiany ciepła odbywa się w cyklu zamkniętym, co stanowi kluczowy czynnik obniżający zużycie energii. Ta metoda pozwala na redukcję wilgoci w suszonej masie z 80% do 10%, co znacząco przewyższa efektywność rozwiązań powszechnie stosowanych. Urządzenie to, poza Norwegią, znajduje zastosowanie również w innych krajach europejskich, takich jak Holandia, Włochy czy Austria, co dowodzi jego uniwersalności i efektywności.

W kontekście powyższego, badania prowadzone przez IO-PIB mają na celu nie tylko praktyczne wykorzystanie suszarki niskoemisyjnej, ale również ocenę jej skuteczności, efektywności energetycznej oraz wpływu, na jakość końcowego produktu przetworzonego z odpadów. Takie badania są kluczowe dla rozwoju zrównoważonego przetwórstwa w sektorze rolnym i mogą przyczynić się do rozwiązania problemów środowiskowych i gospodarczych związanych z bioodpadami.

¹ Jensen, T., Hansen, A., & Eriksen, S. (2020). "Sustainability of Small-Scale Organic Production: Managing Product Life and Ecological Impact."

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 badania przeprowadzone przez Grupę Badawczą Technologii Niskoemisyjnych (2023) podkreślają zalety suszenia niskoemisyjnego, w tym obniżone zużycie energii oraz redukcję 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:** Prace Meyer i kolegów (2024) eksplorują możliwości zastosowania suszarek niskoemisyjnych w sektorze rolniczym, zwracając uwagę na ich potencjalną rolę w poprawie zrównoważenia przetwórstwa rolnego.

Celem przeprowadzonych badań w Instytucie Ogrodnictwa - Państwowym Instytucie Badawczym w Skierniewicach była ocena możliwości wykorzystania suszarki Waister W15 do przetwarzania odpadów poprodukcyjnych z produkcji soków jabłkowych oraz jabłkowo-dyniowych. Badania te wpisują się w koncepcję gospodarki cyrkularnej, akcentując znaczenie efektywnego wykorzystania odpadów w lokalnych przetwórnictwach. 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, 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 w Instytucie Ogrodnictwa – PIB w Skierniewicach do przetwarzania odpadów z produkcji soków jabłkowych oraz jabłkowo-dyniowych skupia się na kilku kluczowych aspektach.

3.1 Przygotowanie prób badawczych wyłoków jabłkowych i dyniowych

Podczas technologii tłoczenia soków jabłkowych wytwarzana jest duża ilość bioodpadów w postaci wyłoków składających się przede wszystkim ze skórek i nasion z jabłek. Jest to odpad zawierający w swoim składzie nadal dużo związków o charakterze odżywczym i prozdrowotnym. Po produkcji wyłoki są magazynowane w specjalnie zaprojektowanych skrzyniach, które zapewniają optymalne warunki przechowywania. W celu zachowania świeżości i stabilności mikrobiologicznej materiału, skrzynie z wyłokami są umieszczane w systemie chłodniczym. Przechowywanie w kontrolowanych warunkach temperatury jest kluczowe dla zapewnienia optymalnej jakości wyłoków przed procesem suszenia. Odpady dyniowe, uzyskane po procesie obróbki mechanicznej i termicznej oraz przecierania dyni, również są przenoszone do skrzyń, w których są przechowywane do momentu suszenia. Podobnie jak w przypadku jabłek, skrzynie z wyłokami dyniowymi są umieszczone w systemie chłodniczym, co zapobiega degradacji i utracie wartości odżywczych materiału przed suszeniem.

W trakcie całego procesu przygotowania i suszenia, prowadzony jest systematyczny monitoring i pobieranie próbek materiału. Próbki są analizowane pod kątem składu chemicznego, zawartości wilgotności, a także stabilności mikrobiologicznej. Regularne pobieranie próbek i ich analiza są niezbędne do monitorowania jakości finalnego produktu suszonego w technologii Waister.

W ramach doświadczenia przyjęliśmy założenie, że 24, 48 i 72 godziny to maksymalny czas w jakim wyłoki jabłkowe i dyniowe mogą być przetrzymywane przed rozpoczęciem procesu przetwarzania, bez ryzyka istotnego rozkładu składników mineralnych.



Zdjęcie 1. Wyłoki jabłkowe na prasie taśmowej

3.2 Analiza Chemiczna

1. Zawartość azotu ogólnego (Nog) oznaczono zgodnie z akredytowanymi metodami Dumas'a .
2. Suchą masę (sm) określono metodą wagową, co pozwala na ocenę zawartości materii organicznej.
3. Zawartość węgla organicznego.
4. Makroskładniki takie jak fosfor (P), potas (K), magnez (Mg) i wapń (Ca) oznaczono za pomocą atomowej spektrometrii emisyjnej ICP-OES.
5. Mikroskładniki, w tym bor (B), miedź (Cu), żelazo (Fe), mangan (Mn), cynk (Zn) i sód (Na), również oznaczono metodą ICP-OES.

Tabela 1. Zawartość azotu, węgla, suchej masy i makroskładników w wyłokach z jabłek i dyni

Wyłoki świeże	Nog	C	sm	P	K	Mg	Ca
	% psm		%	mg/kg			
wyłoki z dyni po 24 h	2,32	38,4	4,5	307	5219	128	83
wyłoki z dyni po 48 h	2,16	36,0	3,7	261	5193	109	77
wyłoki z dyni po 72 h	2,86	39,3	4,8	438	6127	139	130
wyłoki z jabłek 24 h	0,76	46,2	20,7	252	1762	133	116
wyłoki z jabłek 48 h	0,74	46,3	18,7	219	1564	126	124
wyłoki z jabłek 72 h	0,70	46,1	19,8	198	1541	112	114

Tabela 2. Zawartość mikroskładników w wyłokach z jabłek i dyni

Wyłoki świeże	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	mg/kg					
wyłoki z dyni po 24 h	1,22	0,40	2,85	0,51	0,74	3,84
wyłoki z dyni po 48 h	1,00	0,25	1,49	0,36	0,50	3,56
wyłoki z dyni po 72 h	1,21	0,50	2,91	0,62	1,02	3,36
wyłoki z jabłek 24 h	4,12	0,63	5,74	1,19	0,59	3,90
wyłoki z jabłek 48 h	3,85	0,64	3,50	0,95	0,53	3,94
wyłoki z jabłek 72 h	3,59	0,72	6,36	0,89	0,58	3,95

Wyniki badań laboratoryjnych wyłoków z dyni i jabłek w różnych okresach od zakończenia produkcji poddano badaniom jakościowym. Kluczowe parametry, które należy rozważyć, to zawartość azotu (N), węgla (C), fosforu (P), potasu (K), magnezu (Mg) oraz wapnia (Ca), a także zawartość suchej masy (sm), która wskazuje na ogólną zawartość materii organicznej.

1. Azot (N): Istotny dla wzrostu roślin. Wyższa zawartość azotu jest korzystna, ale ważne jest również, aby był on w formie dostępnej dla roślin. Azot organiczny (Nog) musi być przekształcony przez mikroorganizmy w azot mineralny, aby był przyswajalny przez rośliny.
2. Fosfor (P): Ważny dla rozwoju korzeni i kwitnienia, fosfor jest składnikiem ATP i kwasów nukleinowych. Jego dostępność w bionawozie może przyczynić się do lepszego wzrostu roślin.
3. Potas (K): Niezbędny dla wielu funkcji fizjologicznych roślin, w tym dla regulacji otwierania i zamykania aparatów szparkowych oraz aktywności enzymatycznej. Wysoka zawartość potasu jest pozytywnym aspektem w bionawozach.
4. Magnez (Mg) i Wapń (Ca): Są to ważne składniki mineralne, które wspierają strukturę roślin i są niezbędne dla wielu procesów metabolicznych.
5. Sucha masa (sm): Wyższa zawartość suchej masy może oznaczać większą ilość materii organicznej, co jest korzystne dla struktury gleby i życia mikrobiologicznego.

Zawartość azotu w wyłokach z dyni jest wyższa niż w wyłokach z jabłek, co może wskazywać na większą wartość, jako bionawozu. Jednakże, wyłoki z jabłek wydają się mieć wyższą zawartość suchej masy, co również jest pozytywnym aspektem. Wysokie wartości potasu w wyłokach z dyni mogą być szczególnie korzystne w bionawozach, podczas gdy fosfor, magnez i wapń są obecne w mniejszych ilościach, ale nadal w istotnych dla roślin stężeniach. Wyłoki z dyni i jabłek również w swej matrycy zawierają mikroelementy takie jak: bor (B), miedź (Cu), żelazo (Fe), mangan (Mn), cynk (Zn) i sód (Na).

1. Bor (B): Jest kluczowy dla struktury i funkcji ścian komórkowych roślin, transportu cukrów i metabolizmu węglowodanów. Wyższe stężenia boru w wyłokach z jabłek mogą być korzystne, zwłaszcza dla roślin, które są na niego bardziej czułe.
2. Miedź (Cu): Ważna dla fotosyntezy, metabolizmu azotu i jako składnik wielu enzymów. Choć stężenia są niskie, obecność miedzi jest ważna.
3. Żelazo (Fe): Niezbędne dla syntezy chlorofilu i funkcji enzymatycznych. Wyższe stężenia w wyłokach z jabłek wskazują, że mogą być one lepszym źródłem żelaza dla roślin.
4. Mangan (Mn): Uczestniczy w procesach takich jak fotosynteza, synteza chlorofilu i metabolizm azotu. Niskie stężenia w obu rodzajach wyłoków sugerują, że mogą one wymagać dodatkowego uzupełnienia manganem.
5. Cynk (Zn): Ważny dla wielu procesów enzymatycznych, syntezy białek i wzrostu roślin. Stężenia są niskie, ale obecność cynku jest korzystna.
6. Sód (Na): Nie jest zasadniczo wymagany przez większość roślin, ale może być korzystny w małych ilościach dla niektórych gatunków.

Wyłoki z jabłek mają wyższą zawartość większości mikroelementów w porównaniu do wyłoków z dyni, co może wskazywać na ich większą wartość, jako źródło tych składników w bionawozach. Jednakże, zawartość niektórych mikroskładników jest na niskim poziomie, co sugeruje, że dla pełnego wykorzystania wartości odżywczej tych wyłoków, jako bionawozów, mogą być potrzebne dodatkowe suplementy tych składników.

Podsumowując, oba rodzaje wyłoków mają potencjał do wykorzystania, jako bionawozy, ale mają różny profil składników odżywczych. Wyłoki z dyni mogą dostarczać więcej potasu i są bogatsze w azot, co jest korzystne dla wzrostu roślin. Z kolei wyłoki z jabłek dostarczają więcej suchej masy oraz wyższych stężeń większości mikroelementów, co może przyczynić się do lepszego odżywienia roślin i poprawy struktury gleby. Wybór odpowiedniego bionawozu powinien uwzględniać konkretną potrzebę upraw oraz warunki glebowe, co pozwoli na optymalizację korzyści wynikających z ich zastosowania.

Powinniśmy pamiętać, że roczna dawka azotu (w nawozach naturalnych) nie może jednak przekroczyć 170 kg N na ha w myśl dyrektywy azotanowej i prawa wodnego (Dz. U. art. 105.). W uzyskanych wynikach widać, że wprowadzamy około 3 % azotu. Wyłoki w pierwszej dobie mają niewiele wyższą zawartość azotu niż w kolejnych dobach składowania. Azot ulega rozkładowi na formy azotu, które biorą udział w nityfikacji lub i denityfikacji, wówczas on jest wykorzystywany przez mikroorganizmy. W ramach badań zwrócono także uwagę na procesy mikrobiologiczne zachodzące w glebie po wprowadzeniu suszonych wyłoków. Azot zawarty w wyłokach ulega rozkładowi na formy, które są wykorzystywane w procesach nityfikacji i denityfikacji, odgrywając kluczową rolę w cyklu azotu w glebie. Jest to szczególnie istotne, gdyż ograniczenie ilości mikrobioty w wyłokach dzięki procesowi suszenia przyczynia się do efektywniejszego wykorzystania przez bakterie glebowe makro- i mikroelementów zawartych w nawozie. Dzięki temu wyłoki te stają się bardziej wartościowym źródłem składników odżywczych dla roślin, jednocześnie wspierając zdrowy i aktywny mikrobiom glebowy. Zawartość składników mineralnych Ca, Fe, Cu, Mg i P powoduje, że stworzone są warunki autotroficzne dla mikroorganizmów. Naturalne odpady poprodukcyjne posiadają formy dostępne pierwiastków nie tylko dla mikroorganizmów żyjących w ekosystemie glebowym, ale również dla roślin, które potrzebują składników pokarmowych do wzrostu. Wartość C do N w glebie wskazuje na aktywność biologiczną gleb przejawiającą się stopniem rozkładu materii organicznej w glebie. Razem z materią organiczną wprowadzamy duży ułamek węgla do obiegu. W wyłokach zawartość węgla w powietrznie wysuszonym materiale jest wysoka. W wyłokach jabłkowych oznaczony został na poziomie średnio 37,9% natomiast w wyłokach z dyni procent węgla sięga średnio 46,2%. Węgiel przekłada się na substancję organiczną, która po przeliczeniu sięga dla wyłoków jabłkowych 65,2% dla wyłoków z dyni 78,5%. Należy pamiętać, że materia organiczna gleb jest podstawowym wskaźnikiem, jakości gleb decydującym o ich właściwościach fizykochemicznych, takich jak zdolności sorpcyjne i buforowe oraz procesach biologicznych, które warunkuje wiele przemian, określanych mianem aktywności biologicznej. Wysoka zawartość próchnicy w glebach jest czynnikiem stabilizującym ich struktury, mówi o wysokiej, jakości gleby, jej żyzności. Poprzez

wprowadzenie wytlóków do gleby wpisujemy się w ekoschemat (rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczyymi), który jest wpisany w plan WPR na lata 2023-2027.

Zarówno wytlóki jabłkowe oraz wytlóki z dyni zawierają w swoim składzie porównywalne ilości Ca i Mg czy P. Zawartość potasu jest znacząca dla roślin gdzie widać wyższą zawartość potasu w wytlókach dyni średnia 5513 mg/kg produktu w przypadku wytlóków z jabłek zawartość potasu jest średnio w ilości 1622 mg/kg. Składowanie wytlóków przez kilka dób nie ma większego znaczenia dla utraty tego składnika. Należy podkreślić, że zawartość mikroelementów w tym żelaza, boru i cynku jest cenna przy wprowadzaniu ich w ekosystem gleby. W literaturze ² można znaleźć, jakie dawki są potrzebne dla prawidłowego wzrostu roślin doglebowego nawożenia, poleca się następujące dawki: 10-40 g B, 100-200 g Mn, 60-110 g Zn oraz 50-100 g Cu na 100 m².

3.3 Analiza mikrobiologiczna wytlóków jabłkowych i dyniowych

W ramach doświadczenia przyjęliśmy założenie, że 24, 48 i 72 godziny to maksymalny czas w jakim wytlóki jabłkowe i dyniowe mogą być przetrzymywane przed rozpoczęciem procesu przetwarzania, bez ryzyka istotnego rozkładu składników mineralnych. Badania wykazały, że w tym przedziale czasowym nie obserwowano znaczącego zmniejszenia zawartości składników mineralnych w wytlókach, co świadczy o ich odpowiedniej stabilności. Po 72 godzinach zaobserwowano już wzrost mikroorganizmów w przetrzymywanych wytlókach, ale po ich wysuszeniu w otrzymanym proszku nie wykryto drożdży i pleśni.

Na podstawie otrzymanych wyników z analizy mikrobiologicznej wytlóków z dyni i jabłek (Tabela 3) stwierdzono:

1. W wytlókach z jabłek zaobserwowano wysoką liczebność bakterii, która zwiększyła się dziesięciokrotnie po 72 godzinach przechowywania.
2. W wytlókach z dyni liczebność bakterii wzrosła znacznie już po 48 godzinach przechowywania.
3. Liczebność drożdży znacznie wzrosła po 72 godzinach przechowywania i była wyższa w wytlókach jabłkowych w porównaniu z dyniowymi.
4. Liczebność grzybów pleśniowych była wyższa w wytlókach jabłkowych niż w dyniowych. Liczebność tych mikroorganizmów utrzymywała się na podobnym poziomie podczas przechowywania.
5. Duża różnorodność grzybów pleśniowych zaobserwowana w wytlókach jabłkowych.

² P. Wójcik, W.Kowalczyk 2021. Nawożenie roślin sadowniczych na podstawie analizy gleby – uaktualnienie liczb granicznych oraz użycie nowych wskaźników glebowych. 1-20. Opracowano w ramach finansowanego przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi zadania celowego „Nawożenie użytków rolnych”, realizowanego w Instytucie Ogrodnictwa – PIB w roku 2021.

Tabela 3. Analiza mikrobiologiczna (jtk – jednostki tworzące kolonie) wytlóków z jabłek i dyni

	liczba mikroorganizmów (jtk/g ś.m.)		
	ogólna liczba bakterii	drożdże	grzyby pleśniowe
Wytłoki świeże z dyni			
wytłoki z dyni 24h	$8,7 \times 10^4$	$1,1 \times 10^2$	$3,5 \times 10^2$
wytłoki z dyni 48h	$5,2 \times 10^5$	$13,2 \times 10^2$	$6,4 \times 10^2$
wytłoki z dyni 72h	$7,3 \times 10^5$	$19,5 \times 10^3$	$1,1 \times 10^2$
Wytłoki świeże z jabłek			
wytłoki jabłkowe 24h	$2,3 \times 10^6$	$10,1 \times 10^4$	$6,7 \times 10^4$
wytłoki jabłkowe 48h	$2,1 \times 10^6$	$9,0 \times 10^4$	$1,4 \times 10^4$
wytłoki jabłkowe 72h	$1,6 \times 10^7$	$79,7 \times 10^4$	$2,0 \times 10^3$
Wytłoki po suszeniu			
wytłoki z dyni (24h, 48h i 72h)	pojedyncze jednostki	nie wykryto	nie wykryto
wytłoki jabłkowe (24h, 48h i 72h)	pojedyncze jednostki	nie wykryto	nie wykryto

Mikroorganizmy obecne w wytlókach mogą wpływać na skład chemiczny tych materiałów w kilka sposobów, szczególnie, jeśli wytloki zostaną poddane procesowi kompostowania lub fermentacji. Oto jak mogą wpływać na zawartość mikro- i makroelementów:

1. Zmiany w pH: Aktywność mikrobiologiczna może wpływać na pH wytlóków, co z kolei wpływa na dostępność składników odżywczych. Niektóre mikroelementy są bardziej dostępne przy niższym pH, jak to ma miejsce w wypadku wytlóków jabłkowych o pH niskim i dyniowych o pH wysokim.
2. Immobilizacja składników odżywczych: Mikroorganizmy mogą czasowo "wiązać" niektórych składników odżywczych, takich jak azot, który jest wykorzystywany do budowy ich własnych komórek. To może prowadzić do czasowego zmniejszenia ilości dostępnego azotu dla roślin.
3. Rozkład i utrata składników: Procesy mikrobiologiczne mogą również prowadzić do utraty niektórych składników odżywczych, na przykład poprzez ulotnienie się amoniaku.
4. Konkurencja o składniki odżywcze: Mikroorganizmy w procesie kompostowania mogą konkurować o składniki odżywcze, takie jak fosfor, z roślinami.

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.

4. 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. Dzięki zastosowaniu tej metody w technologii Waister, nie tylko efektywnie usuwa się wodę, ale także zachowuje zawartość mikro- i makroelementów w przetwarzanych odpadach.

Tabela 4. Wilgotność (%) wsadu oraz wysuszonych produktów

Wytłoki świeże	Wytłoki przed suszeniem (wsad)	Wysuszony produkt
wytłoki z dyni po 24 h	95,5	9,9
wytłoki z dyni po 48 h	96,3	11,3
wytłoki z dyni po 72 h	95,2	10,2
wytłoki z jabłek 24 h	79,3	8,9
wytłoki z jabłek 48 h	81,3	10,5
wytłoki z jabłek 72 h	80,2	9,8

Kluczowe korzyści wynikające z procesu suszenia wyłoków, które czynią ten materiał odpowiednim do zastosowania, jako bionawóz, obejmują:

1. **Stabilność:** Suszenie stabilizuje materiał organiczny, ograniczając aktywność mikrobiologiczną i zapobiegając procesom gnilnym oraz fermentacji.
2. **Bezpieczeństwo:** Zmniejsza ryzyko obecności i rozprzestrzeniania się patogenów, co jest korzystne dla roślin, zwierząt i ludzi.
3. **Dłuższy okres przechowywania:** Niska zawartość wody w suszonych wyłokach zapewnia dłuższą trwałość i łatwość magazynowania.
4. **Łatwość transportu:** Suszenie zmniejsza masę i objętość materiału, co ułatwia i obniża koszty transportu.
5. **Koncentracja składników:** Ubytek wody powoduje większą koncentrację składników odżywczych w suchej masie.
6. **Poprawa właściwości fizycznych:** Suche wyłoki łatwiej się rozsiewa i aplikuje na pola, a ich struktura może pomóc w poprawie struktury gleby.

Suszenie wyłoków jest istotnym procesem, który ma na celu redukcję zawartości wody, co znacząco obniża ryzyko rozwoju patogenów oraz umożliwia dłuższe przechowywanie materiału. Suszenie pozwala także na zatrzymanie procesów fermentacji i gnicia, co jest szczególnie istotne w kontekście zastosowania wyłoków, jako bionawozu. W wyniku dochodzi do znacznego zmniejszenia liczby mikroorganizmów, zarówno patogennych, jak i tych odpowiedzialnych za procesy gnilne. To sprawia, że suszone wyłoki są bardziej stabilne i bezpieczne w użyciu, jako bionawóz, ponieważ ryzyko przeniesienia chorób roślin jest mniejsze. Wnioski po analizie wysuszonych wyłoków mogą wskazywać na ich wartość odżywczą, bezpieczeństwo stosowania, wpływ na glebę i rośliny, a także potencjalne korzyści ekonomiczne i środowiskowe. Przeprowadzenie tych badań może dostarczyć kompleksowych informacji, które pozwolą na optymalne wykorzystanie wyłoków, jako bionawozów w praktyce rolniczej.



Zdjęcie 2. Wysuszone i zmielone wyłoki jabłkowe



Zdjęcie 3. Suszarka zainstalowana w CPPO

4.1 Rezultaty suszenia w suszarce niskoemisyjnej

W ramach oceny wykorzystania suszarki niskoemisyjnej Waister W15 do stabilizacji mikrobiologicznej wyłoków owocowych i ich przetwarzania na komponenty bionawozów, osiągnięto następujące rezultaty:

1. **Redukcja wilgotności:** Proces suszenia wyłoków owocowych, zarówno jabłkowych jak i dyniowych, skutecznie obniżył zawartość wody z początkowego poziomu 80% do docelowych 10% suchej masy (Tabela.4) To znacznie zwiększa stabilność mikrobiologiczną oraz trwałość produktu, co umożliwia jego długoterminowe przechowywanie i zastosowanie, jako bionawóz.
2. **Zachowanie wartości odżywczych:** Analiza chemiczna wykazała, że suszenie wyłoków nie spowodowało znaczącego zmniejszenia zawartości makroelementów (azotu, fosforu, potasu) oraz mikroelementów (magnezu, wapnia, boru, miedzi, żelaza, manganu, cynku i sodu). Wskazuje to na zachowanie wartości odżywczych, które są kluczowe dla promowania zdrowego wzrostu roślin.
3. **Zmniejszenie aktywności mikrobiologicznej:** Przed i po suszeniu przeprowadzono analizy mikrobiologiczne, które potwierdziły skuteczność suszarki Waister W15 w redukcji liczby drobnoustrojów, w tym bakterii, drożdży i grzybów pleśniowych, do poziomów bezpiecznych dla zastosowania w rolnictwie.
4. **Optymalizacja logistyki:** Dzięki znacznemu zmniejszeniu masy i objętości, suszone wyłoki są łatwiejsze i tańsze w transporcie, co przekłada się na niższe koszty logistyczne dla lokalnych przetwórców.
5. **Wsparcie gospodarki cyrkularnej:** Implementacja suszarki niskoemisyjnej do przetwarzania odpadów poprodukcyjnych wpisuje się w działania na rzecz gospodarki obiegu zamkniętego, umożliwiając lokalnym przetwórciom wykorzystanie odpadów, jako cennych surowców wtórnych.

5. Wnioski dotyczące przydatności suszarki niskoemisyjnej Waister W 15:

Zastosowanie suszonych odpadów, jako bionawozów jest jak najbardziej zasadne w obiegu recyklingu. Dostarczają one roślinom niezbędnych składników mineralnych oraz wpływają na polepszenie fizyko-chemicznych i biologicznych właściwości gleby. Wyłoki z jabłek i dyni, przebadane pod kątem składu mineralnego, są cennym produktem rolniczym, bogatym w składniki pokarmowe dla roślin oraz korzystne dla ekosystemu gleby. Wprowadzenie ich w podglebie przez przeoranie lub mulczowanie wzbogaca glebę, wspierając rolnictwo zrównoważone.

Wdrożenie suszarki Waister W15 do przetwarzania odpadów poprodukcyjnych nie tylko przyczynia się do optymalizacji kosztów i poprawy efektywności energetycznej, ale również stanowi znaczący postęp w realizacji zasad gospodarki cyrkularnej. Możliwość przetwarzania odpadów na bionawozy i ich wykorzystanie w rolnictwie zamyka obieg materiałów w środowisku, wspierając ekonomię i ekologię lokalnych systemów produkcyjnych.

Koszty inwestycyjne w technologii niskoemisyjne mogą być wyższe w porównaniu do tradycyjnych metod suszenia. Jednakże, długoterminowe oszczędności wynikające z niższego zużycia energii i potencjalnych dotacji na innowacyjne rozwiązania proekologiczne sprawiają, że projekt może być rentowny. Warto również rozważyć aspekty ekonomiczne związane z możliwością sprzedaży bionawozów, co może stanowić dodatkowy strumień dochodu.

Zastosowanie suszarek niskoemisyjnych ma istotny wpływ na środowisko. Przede wszystkim, redukcja emisji gazów cieplarnianych przyczynia się do walki ze zmianami klimatycznymi. Ponadto, lepsze wykorzystanie odpadów organicznych w procesie produkcji bionawozów może przyczynić się do zmniejszenia ilości odpadów składowanych na wysypiskach, co jest zgodne z zasadami gospodarki obiegu zamkniętego.

Zastosowanie innowacji technologicznych w przetwórstwie owoców i warzyw oraz w produkcji bionawozów ma długoterminowy potencjał dla przemysłu i rolnictwa. Rozwój tych technologii może przyczynić się do zwiększenia zrównoważonego rozwoju, poprawy efektywności wykorzystania zasobów oraz zwiększenia konkurencyjności na rynku. Istotne jest, aby kontynuować badania i rozwój w tej dziedzinie, aby maksymalnie wykorzystać te korzyści.

Podsumowując, suszarka Waister W15, zastosowana do przetwarzania odpadów poprodukcyjnych, wpisuje się w trend zrównoważonego rozwoju i może być modelowym przykładem technologii wspierającej ekologiczne zarządzanie odpadami. Jest to rozwiązanie, które nie tylko odpowiada na bieżące potrzeby przemysłu przetwórczego, ale również stanowi inwestycję w przyszłość, przyczyniając się do rozwoju praktyk pro środowiskowych i zwiększenia świadomości ekologicznej w sektorze rolnym