

## THE RESEARCH ON TECHNOLOGY OF ONION RIND COMPOSTING PROCESS

### Summary

Onion rind is a waste rising up from the onion production. The paper presents laboratory research and fieldworks on the technology of composting process of onion rind mixed with a straw as well as an application of distillery decoction as a source of nitrogen for correction of C/N level. The experiments with different levels of mixture of rind and straw as well as the levels of decoction application were carried out. It has been proved that preserving the proper structure of composting material it is possible to obtain an intense thermophilic phase. High temperature ensures water vaporization from applied decoction, an intensive mineralization of difficult dissolving compounds and pasteurization of obtained compost.

## BADANIA TECHNOLOGII KOMPOSTOWANIA ŁUSKI CEBULOWEJ

### Streszczenie

Łuska cebulowa jest odpadem powstającym przy produkcji cebuli. W pracy przedstawiono badania laboratoryjne i polowe nad technologią kompostowania łuski cebulowej mieszanej ze słomą oraz z aplikacją wywaru gorzelnianego jako źródła azotu dla korekcy poziomu C/N. Przeprowadzono doświadczenia z różnymi poziomami mieszanki łuski i słomy oraz poziomami aplikacji wywaru. Wykazano, że przy zachowaniu odpowiedniej struktury kompostowanego materiału jest możliwe uzyskanie intensywnej fazy termofilnej. Wysoka temperatura zapewnia odparowywanie wody z aplikowanego wywaru, intensywną mineralizację trudno rozkładalnych związków oraz pasteryzację uzyskanego kompostu.

### 1. Wstęp

Wraz ze stopniową integracją Polski z Unią Europejską wprowadzone zostały liczne normy prawne w zakresie zagospodarowania odpadów. W przypadku odpadów z przemysłu rolno-spożywczego wprowadziło to nowe ograniczenia, bowiem okazało się, że materiały będące teoretycznie dobrym nawozem (jak wywary, odpady z produkcji warzywniczej, pieczarkarskiej czy zielarskiej) muszą być traktowane jako odpad i poddane odpowiednim procedurom przechowywania, zbycia, przerobu i stosowania.

Łuska cebulowa jest w rozumieniu prawa odpadem organicznym. Według Ustawy o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r. [Dz. U. Nr 62/01, poz. 628] łuska cebulowa znalazła się w grupie 02 (odpady z rolnictwa, sadownictwa, upraw hydroponicznych, rybołówstwa, leśnictwa, łowiectwa oraz przetwórstwa żywności), gdzie przyporządkowany jej został kod 02 03 80 (wytloki, osady i inne odpady z przetwórstwa produktów roślinnych). Jest materiałem organicznym, który odpowiednio przerobiony i wykorzystany jako nawóz może znacząco podnieść plonowanie gleb. Jednakże na obszarze produkcji cebuli nie może być ona bezpośrednio stosowana jako nawóz ze względu na ryzyko zarażenia plantacji chorobami grzybowymi, zwłaszcza *Fusarium*. Zagospodarowanie łuski cebulowej wytwarzanej na skalę przemysłową nastręcza bardzo duże trudności. Jest ona przechowywana na dużych przyzmacach, na które trafia łuska pochodząca z różnych plantacji. Z tego powodu istnieje ryzyko, iż jeśli tylko jedna z plantacji w okolicy jest zarażona *Fusarium*, wówczas cała przyzma łuski staje się potencjalnym nośnikiem choroby. Rozwój chorób wywołanych przez *Fusarium* powoduje dyskwalifikację cebuli jako materiału przetwórczego, dlatego tak ważne dla prawidłowego funkcjonowania producentów cebuli jest uniknięcie zarażenia plantacji tą chorobą.

Na podstawie analizy literaturowej oraz przeprowadzonych wcześniej badań kompostowania różnych odpadów

organicznych jako wyjściową hipotezę przyjęto, że na bazie łuski cebulowej i wywaru gorzelnianego wskutek wykorzystania naturalnych procesów mikrobiologicznych uzyskać można wartościowy i bezpieczny z sanitarnego punktu widzenia kompost zgodnie z wymaganiami ochrony środowiska [4, 5, 6, 7].

### 2. Cel badań

Celem badań było opracowanie skutecznej technologii pozwalającej na przerób i pasteryzację łuski cebulowej w celu uzyskania na jej bazie kompostu, który mógłby być powszechnie stosowany na polach producentów cebuli bez ryzyka przeniesienia niebezpiecznych chorób i z zachowaniem norm ochrony środowiska.

W ramach powyższego celu przyjęto następujące zadania do opracowania:

- zbadanie możliwości kompostowania łuski cebulowej z dodatkiem materiału strukturalnego (słomy zbożowej);
- zbadanie możliwości utylizacji odpadu płynnego (wywaru gorzelnianego) aplikowanego w czasie fazy termofilnej na kompostowane przyzmy łuski cebulowej;
- zbadanie możliwości zmechanizowania kompostowania łuski cebulowej przy pomocy rozrzutnika obornika i aeratora ciągnikowego;
- określenie wpływu kompostowania łuski cebulowej z wywarem gorzelnianym na środowisko poprzez emisję gazów, pomiar odcieków oraz charakterystykę uzyskanego kompostu.

### 3. Metodyka badań

W typowych przetwórniciach wytwarzane są dwa rodzaje łuski cebulowej: wytwarzana z ręcznego obierania, o dużej zawartości masy suchej (do 75%), zwana dalej "łuską suchą", oraz w czasie obierania maszynowego, o stosunkowo małej zawartości masy suchej (najczęściej w przedziale 12-25%),

zwana dalej "łuską mokrą". Badania optymalizacji procesu kompostowania łuski cebulowej wymieszanej ze słomą i polewanej wywarem gorzelnianym celem podniesienia wilgotności kompostowanego materiału do wartości optymalnej 25% prowadzone były w równoległych dwóch etapach.

W skali laboratoryjnej badania przeprowadzone zostały przy wykorzystaniu 4-komorowego, izolowanego bioreaktora o objętości każdej komory 162,5 dm<sup>3</sup>. Nadrzędnym celem tej części badawczej była maksymalizacja długości i intensywności przebiegu fazy termofilnej. Nagrzewanie się materiału jest bowiem niezbędnym czynnikiem pasteryzacji łuski cebulowej i zniszczenia grzybów *Fusarium* w wyprodukowanym kompoście [9].

Prowadzone wcześniej w Instytucie Inżynierii Rolniczej UP w Poznaniu badania pozwalają na stwierdzenie, iż bioreaktor wiernie odwzorowuje przebieg rozkładu materii organicznej w warunkach rzeczywistych w czasie kompostowania z zastosowaniem aeratora ciągnikowego, pozwalając przy tym na kontrolę zmian zachodzących w czasie doświadczeń [1, 3, 8].

W laboratorium IIR przeprowadzono doświadczenia z kompostowaniem łuski suchej i mokrej w następujących wariantach:

- kompostowanie wyłącznie mokrej łuski z dodatkiem wagowym 2% słomy, polewanej wywarem w ilości odpowiadającej jednorazowej aplikacji 50 dm<sup>3</sup>/tonę materiału – aplikacja wywaru raz dziennie;
- kompostowanie łuski mokrej i suchej w proporcji 80:20, z dodatkiem 2% słomy (aplikacja wywaru jak w wariantcie „a”);
- kompostowanie łuski mokrej i suchej w proporcji 60:40, z dodatkiem 2% słomy oraz bez dodatku słomy (aplikacja wywaru jak w wariantcie „a”);
- kompostowanie łuski mokrej i suchej w proporcji 80:20, z 2% dodatkiem słomy i z różnymi poziomami aplikacji wywaru, celem zbadania maksymalnej ilości wywaru, która może być dodana bez wystąpienia odcieków.

Materiał do kompostowania w bioreaktorze przygotowywany był zgodnie z metodami stosowanymi w skali rzeczywistej. Aby zwiększyć chłonność i rozdrobnienie powodowane w realnych warunkach ruchem obrotowym bębna aeratora, słoma zbożowa była cięta ręcznie przed wymieszaniem z łuską cebulową. Materiały wchodzące w skład kompostowanej masy były dokładnie odważane (dokładność wagi 0,05 kg), dzięki czemu możliwe było uzyskanie proporcji składników znacznie dokładniejszej niż w warunkach rzeczywistych w polu. Przygotowana mieszanka umieszczana była w komorach bioreaktora. Przy starcie doświadczenia komory napełniane były ok. 32-35 kg mieszanki (rys. 1), co dawało początkową gęstość materiału ok. 220-330 kg/m<sup>3</sup>. Taka gęstość jest optymalna dla prawidłowego rozpoczęcia procesu kompostowania i w warunkach rzeczywistych uzyskiwana jest tuż po przejeździe aeratora [2, 10]. Wywar gorzelniany przed aplikacją podgrzewany był do temperatury 60°C, czyli do poziomu, jaki posiada w czasie rzeczywistego rozlewu z wozu asenizacyjnego na pryzmę polową.

Zastosowanie wywaru gorzelnianego jako dodatku do procesu kompostowania było niezbędne, jako że zarówno słoma jak i łuska cebulowa posiadają bardzo szerokie C/N (nawet ponad 50:1) i w związku z tym proces kompostowania zachodziłby bardzo wolno ze względu na zjawisko tzw. „głodu azotu”, czyli braku wystarczającej ilości azotu niezbędnego dla intensywnego rozwoju mikroorganizmów prowadzących kompostowanie [6, 7].

W warunkach polowych przeprowadzono badania porównawcze, a proporcje składników przyjmowano analogicznie do wariantów stosowanych w doświadczeniach laboratoryjnych. Wstępne formowanie pryzm odbywało się przy zastosowaniu zaadaptowanego rozrzutnika obornika z adapterem pionowym (adaptacja polegała na zamontowaniu osłon umożliwiających tworzenie pryzm o szer. 2,5 m – rys. 2), mieszanie i napowietrzanie natomiast przy zastosowaniu aeratora ciągnikowego (rys. 3).

Przyjęto, iż napowietrzanie pryzm odbywać będzie się 1-2 razy w tygodniu, w zależności od ilości wywaru aplikowanego na pryzmy oraz warunków pogodowych. Wywar był aplikowany codziennie przy zastosowaniu wozu asenizacyjnego wyposażonego w zaadaptowaną rampę rozlewową, z której wywar aplikowany był na grzbiet pryzmy (rys. 4). Przy dawce wywaru poniżej 50 dm<sup>3</sup>/m.b. pryzmy i braku opadów wykonywano 1 aerację tygodniowo, przy wyższej dawce lub intensywnych opadach atmosferycznych – 2 aeracje tygodniowo w odstępie 3-4 dni. Ilość aplikowanego wywaru w warunkach realnych regulowana była przez aktualny w danym tygodniu poziom produkcji gorzelnii w gospodarstwie i ciągłą konieczność utylizacji odpadu, jakim jest wywar gorzelniany.



Rys. 1. Stan wyjściowy napełnienia komory bioreaktora  
*Fig. 1. Initially filled up bioreactor chamber*



Rys. 2. Rozrzutnik obornika do wstępnego formowania pryzm z kierownicami ograniczającymi szerokość tworzonej pryzmy  
*Fig. 2. Manure spreader for initial windrow forming with the width limiters of composted mass*



Rys. 3. Napowietrzanie przyzm z zastosowaniem aeratora ciągnikowego  
 Fig. 3. Windrows aeration with usage of tractor aerator



Rys. 4. Aplikacja wywaru na przyzmę kompostową  
 Fig. 4. Application of distillery decoction on composted windrow

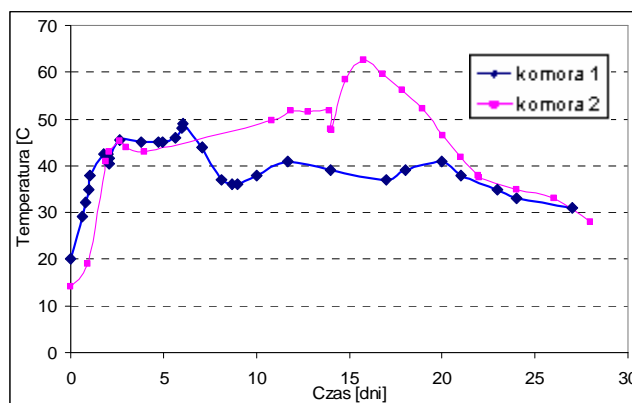
Badania prowadzone były w gospodarstwie Chobienice między sierpniem 2006, a marcem 2007, również w okresie zimowym, co pozwoliło na uzyskanie cennych informacji na temat wpływu warunków niskiej temperatury otoczenia i podwyższonych opadów na przebieg technologii odzysku odpadów. Łączna masa przyzm poddanych badaniom kompostowania w warunkach rzeczywistych wyniosła ok. 1900 ton.

#### 4. Wyniki badań i dyskusja

Zmiany zawartości suchej masy są decydujące dla prawidłowości przebiegu kompostowania i występowania odcieków. Zbyt duża wilgotność materiału powoduje jego zapadanie się, pogorszenie porowatej struktury przyzmy, a w konsekwencji, gdy gęstość osiąga poziom 500-600 kg/m<sup>3</sup>, następuje odcięcie dostępu tlenu do wnętrza przyzmy i kompostowanie zatrzymuje się [4, 7]. Brak tlenu powoduje bowiem drastyczne spowolnienie tempa rozkładu włókniaka (celulozy, hemicelulozy czy ligniny), a więc podstawowego materiału budulcowego łuski cebulowej i słomy. W warunkach beztlenowych zamiast szybkiej mineralizacji występu-

ją procesy tworzenia się alkoholów, fenolów i innych związków niekorzystnych z punktu widzenia późniejszego oddziaływania nawozów na glebę. Dodatkowo wydzielane są duże ilości metanu i podtlenku azotu, gazów bardzo silnie wpływających na efekt cieplarniany.

Doświadczenie „a” (łuska mokra z dodatkiem słomy) przeprowadzono w dwóch komorach z takim samym składzie mieszanki. Jedyną różnicą było zastosowanie wcześniej ustalonej częstotliwości mieszania: co 4-5 dni i co 7-8 dni. Najbardziej charakterystycznym zjawiskiem było bardzo szybkie zmniejszenie się objętości materiału, już 2-4 dni po rozpoczęciu kompostowania. Zapadnięcie się materiału spowodowało wzrost gęstości i wilgotności wskutek braku możliwości odparowania wody, a w konsekwencji wystąpienie odcieków i zatrzymanie procesu kompostowania. Szybkie zapadanie się materiału miało również negatywny wpływ na temperaturę, która nie była tak wysoka, jak w czasie optymalnego przebiegu fazy termofilnej (rys. 5). Badania wykazały, że częstsze wymieszanie łuski cebulowej mokrej pozwala na osiągnięcie wyższej temperatury rozkładu. Najwyższy skok temperatury zanotowano, gdy do jednej komory w 15. dniu dodano w trakcie mieszania materiału niewielki dodatek słomy. Polepszyło to znacznie strukturę materiału, który bardzo szybko zagrzał się do ponad 60°C. Jednak już po kilku dniach temperatura zaczęła spadać, ponieważ materiał znów nie utrzymywał odpowiedniej, porowatej struktury i szybko się zapadał.

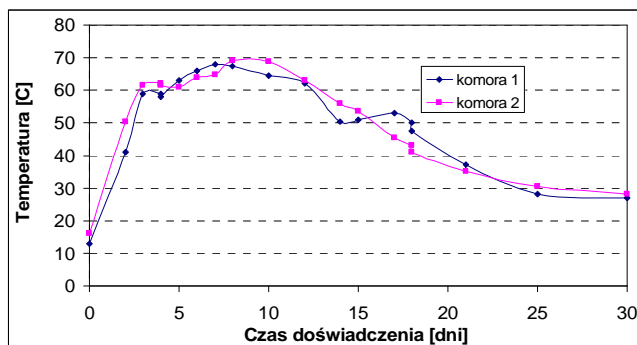


Rys. 5. Zmiany temperatury w trakcie doświadczenia „a”: przy mieszaniu co 8 dni (komora 1) i co 5 dni (komora 2)  
 Fig. 5. Changes of temperature during the experiment „a”: mixing every 8 days (chamber 1) and every 5 days (chamber 2)

Doświadczenie „b” przeprowadzono z mieszanką łuski mokrej i suchej w proporcji 80:20 z dodatkiem 2% słomy w dwóch powtórzeniach i tak jak w doświadczeniu „a” materiał mieszano co 4-5 dni (komora 2) i co 7-8 dni (komora 1). Początkowa gęstość (masa usypowa) była bardzo niska, co dawało doskonałe warunki do odparowywania wywaru, którym codziennie polewana była mieszanka. Początkowe i końcowe parametry fizyczne kompostowanej mieszanki przedstawiono w tab. 1. Doświadczenie wykazało, że zastosowana mieszanina pozwoliła na prawidłowy przebieg kompostowania, co przedstawia wykres temperatury (rys. 6). Widać na nim wyraźnie, iż przy dodatku łuski cebulowej suchej temperatura w czasie fazy termofilnej znacznie wzrosła w porównaniu z doświadczeniem „a”. Oznacza to, iż dodatek suchej łuski znacznie polepszył strukturę kompostowanej masy.

Tab. 1. Charakterystyka fizyczna materiału wyjściowego i uzyskanego kompostu  
 Table 1. Physical characteristics of initial material and obtained compost

	Masa całkowita (kg)	Objętość (dm <sup>3</sup> )	Masa usypowa (kg/m <sup>3</sup> )	Masa sucha (%)	pH	Konduktywność (mS)
<b>Komora 1</b>						
Początek	31,20	155,00	200	28,90	6,25	0,59
Koniec	26,30	72,50	530	17,72	9,45	0,97
<b>Komora 2</b>						
Początek	31,20	152,50	206	28,90	6,25	0,59
Koniec	26,90	71,25	600	15,85	8,78	1,05



Rys. 6. Zmiany temperatury w trakcie doświadczenia „b” przy mieszaniu co 4-5 dni (komora 2) i co 7-8 dni (komora 1)

Fig. 6. Changes of temperature during the experiment „b”: mixing every 4-5 days (chamber 2) and every 7-8 days (chamber 1)

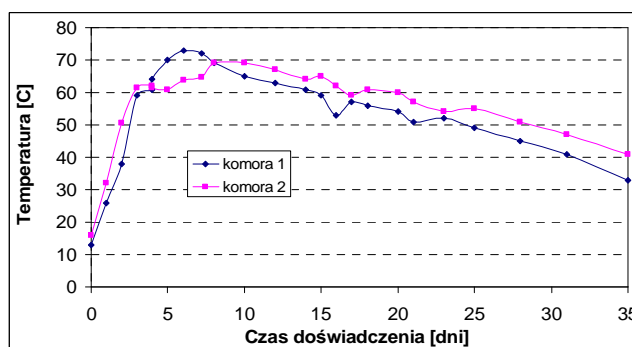
W obu komorach zanotowano szybki spadek temperatury po 18 dniach od rozpoczęcia kompostowania. Było to związane z rozpoczynającym się szybkim rozkładem słomy, przez co masa straciła odpowiednią strukturę i pomimo mieszania materiału nie udało się mu zapewnić odpowiedniej porowatości. W końcowej fazie doświadczenia gęstość materiału wynosiła odpowiednio 520 i 600 kg/m<sup>3</sup>, pomimo przerywania polewania wywarem już po 22 dniach doświadczenia. Końcowa wilgotność była również zbyt wysoka jak na prawidłowe parametry kompostu, bowiem wynosiła aż 82-84%. Na tej podstawie należy sądzić, iż aplikacja wywaru na materiał o małej zawartości suchej masy powinna być prowadzona przy temperaturze powyżej 40°C i przy częstszym mieszaniu, bowiem brak odpowiedniej struktury (mały udział słomy i suchej łuski cebulowej) powoduje szybsze opadanie, zagęszczenie materiału i w konsekwencji trudności z odparowaniem nadmiaru wilgoci.

Zanotowano wzrost pH z 6,25 do około 9. Nastąpiła więc szybka mineralizacja materii organicznej zawartej w łusce, co widać również na podstawie wzrostu konduktywności materiału. Zestawiając przebieg zmian temperatury i odczynu w kompostowanym materiale widać wyraźnie wpływ wysokiej temperatury na gwałtowny wzrost pH. Dodatkowo proces ten postępował pomimo codziennej aplikacji wywaru gorzelnianego o pH w zakresie 4,5-5,0.

Bardzo silny wzrost pH stwierdzono w czasie wszystkich doświadczeń wykonywanych w warunkach laboratoryjnych, zgodnie z zaplanowanym harmonogramem badań. Ta sama uwaga dotyczy również wzrostu konduktywności, co oznacza występowanie szybkiego procesu mineralizacji

trudno rozkładalnych materiałów składowych łuski cebulowej i słomy. Wzrost konduktywności był tym wyższy, im większa była temperatura w czasie fazy termofilnej.

W doświadczeniu „c” przeprowadzono badania przebiegu kompostowania łuski cebulowej mokrej i suchej (proporcje 60:40) z dodatkiem oraz bez dodatku słomy zbożowej. Wykres przebiegu temperatury (rys. 7) jednoznacznie wskazuje, że dodatek łuski suchej wpływał na podwyższenie temperatury i wydłużenie fazy termofilnej. Działo się tak niezależnie od obecności dodatku słomy, choć trzeba przyznać, iż brak słomy w mieszaninie spowodował nieco słabsze nagrzewanie się materiału w komorze 1.



Rys. 7. Zmiany temperatury w trakcie doświadczenia „c” przy mieszaniu co 4-5 dni (komora 2) i co 7-8 dni (komora 1)

Fig. 7. Changes of temperature during the experiment „c”: mixing every 4-5 days (chamber 2) and every 7-8 days (chamber 1)

Na podstawie doświadczenia „d” z kompostowaniem łuski mokrej i suchej w proporcji 80:20, z dodatkiem 2% słomy stwierdzono, że bezpieczna aplikacja wywaru, gdy materiał nagrzewa się i osiąga poziom 45°C wynosi dziennie w przeliczeniu 50 dm<sup>3</sup>/tonę przymy. Zakładając optymalną porowatość kompostowanej przymy jako 300-350 kg/m<sup>3</sup> można przyjąć, iż tona materiału jest równa 1 metrowi bieżącemu długości przymy. Aplikacja wywaru w tej ilości nie powoduje pojawienia się odcieków.

Wraz ze wzrostem temperatury zwiększa się chłonność kompostowanego materiału (mieszana łuska cebulowej oraz słomy), a tym samym zdolność do odparowania wywaru. Wykazano, że wzrost temperatury o każde 10°C zwiększa o kolejne ok. 50% wielkość bezpiecznej dawki wywaru. Oznacza to, że przy temperaturze 55°C można aplikować dziennie 75 dm<sup>3</sup>/tonę, przy 65°C – 100 dm<sup>3</sup>/tonę, a przy

75°C – 125 dm<sup>3</sup>/tonę. Aplikacje wywaru możliwa jest tylko i wyłącznie przy zachowaniu porowatej struktury przyzmy, czyli napowietrzaniu aeratorem co najmniej raz w tygodniu.

Na podstawie badań prowadzonych w bioreaktorze w IIR UP w Poznaniu stwierdzono, że prawidłowo prowadzona technologia kompostowania łuski cebulowej z wywarem gorzelnianym nie powoduje emisji do atmosfery zarówno odorów, jak i gazów cieplarnianych jak metan, czy tlenek azotu (emisja CO<sub>2</sub> w czasie kompostowania jest równoważna absorpcji CO<sub>2</sub> przez rośliny, które posłużyły jako substrat do produkcji łuski, słomy i wywaru). Nie zmierzono także obecności w emitowanym z komór powietrzu obecności amoniaku ani siarkowodoru. Jednak brak odpowiedniej struktury przyzmy w wyniku zapadania się materiału i niedostatecznej częstotliwości wykonywania aeracji może spowodować przemiany beztlenowe, a w konsekwencji wydzielanie się metanu, podtlenu azotu i różnego typu odorów. To zagrożenie występowało w czasie badań w warunkach rzeczywistych. Przyzmy nagrzewały się bowiem w sposób równie intensywny jak w warunkach laboratoryjnych, jednakże brak odpowiedniej częstotliwości napowietrzania (minimum raz w tygodniu przy codziennej aplikacji wywaru) skutkowało zapadaniem się materiału i rozpoczęciem dominacji rozkładu beztlenowego, czego efektem był gwałtowny spadek temperatury i pojawienie się nieprzyjemnych odorów.

Uzyskany kompost wykazywał brak odoru charakterystycznego dla gnijącej cebuli, posiadał natomiast zapach zbliżony do ziemi ogrodniczej oraz brudną barwę, charakterystyczną dla materiałów organicznych o dużej zawartości próchnicy. Takie same wyniki uzyskano zarówno w badaniach laboratoryjnych z zastosowaniem bioreaktora, jak i badaniach polowych na przyzmach w skali rzeczywistej. W końcowym etapie fazy termofilnej kompostowany materiał był przerośnięty białą grzybnią. Na podstawie konsultacji przeprowadzonych ze specjalistami z IOR Poznań stwierdzono, iż rozwijające się w tym czasie gatunki grzybów działają antagonistycznie na grzyby chorobotwórcze (zwłaszcza *Fusarium*), co umożliwia nie tylko pasteryzację kompostowanej łuski cebulowej, ale dodatkowo może mieć również bardzo pozytywny wpływ na eliminację grzybów chorobotwórczych z gleby po aplikacji kompostu. Temat ten jednakże wymaga przeprowadzenia dalszych, bardziej wnikliwych badań.

## 5. Wnioski

Przeprowadzone badania stanowią podstawę do wypracowania następujących wniosków:

1. Łuska cebulowa mokra może być kompostowana bez dodatku łuski suchej, ale zaleca się wtedy zwiększyć udział słomy.

## Podziękowanie

Autorzy składają podziękowania panu Tomaszowi Jazdonowi z firmy Onix za możliwość realizacji niniejszej pracy oraz wszechstronną pomoc w badaniach polowych.

2. Zachowanie optymalnej gęstości przyzmy (220-350 kg/m<sup>3</sup>) gwarantuje dobrą wymianę powietrza we wnętrzu materiału. Aeracja powinna być wykonywana co najmniej raz w tygodniu, najlepiej w okresie co 3-5 dni.
3. Mimo niskiego pH wywaru oraz łuski cebulowej po okresie fazy termofilnej uzyskano kompost o wysokim odczynie zasadowym, bardzo korzystnym z punktu widzenia jego późniejszego stosowania jako nawozu rolniczego.
4. Przy zachowaniu bezpiecznej dawki aplikowanego wywaru (uzależnionej od temperatury) nie występują odcieki z kompostowanego materiału. Kompostowanie łuski cebulowej z domieszką słomy i aplikacją wywaru gorzelnianego jest więc technologią bezpieczną z punktu widzenia ochrony gleby i wód gruntowych.

## 6. Literatura

- [1] Czekala, J., Dach, J., Wolna-Maruwka, A.: Wykorzystanie bioreaktora do badań modelowych kompostowania osadu ściekowego. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie T. 6 Zeszyt 2, 2006 (18), 29-40.
- [2] Dach J., Zbytek Z.: Wpływ intensywności mechanicznego napowietrzania na szybkość kompostowania materiałów organicznych. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2001, vol. 46(2).
- [3] Dach J., Jędrus A., Adamski M., Kowalik I., Zbytek Z.: Bioreaktor do badań procesów rozkładu materiałów organicznych. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2003, vol. 48(4).
- [4] Drieux T.: Le compostage: valorisation des engrais organiques. Fourrages, 1995, nr 2 (140): 543-550.
- [5] Jobin P.: Strategie de compostage a la ferme. Coll. internat., Drummondville, 2-3 avril 1992, Quebec, p. 11.
- [6] Jobin P., Petit J.: Evaluation de differents systemes de compostage de fumiers a la ferme. Rapport de recherche dans le cadre de l'Entente, Canada-Quebec 1991.
- [7] Mustin M.: Le compost, gestion de la matiere organique. Edition Francois Dubuse – Paris 1987, s. 957.
- [8] Niżewski P., Dach J., Jędrus A.: Zagospodarowanie zużytego podłoża z pieczarkarni metodą kompostowania. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2006, vol. 51(1), s. 24-27.
- [9] Stachowiak B., Czarnecki Z., Trojanowska K., Gulewicz K.: Komposty i możliwość ich wykorzystania w biologicznej ochronie roślin. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2006, vol. 51(2).
- [10] Zbytek Z., Mac J., Dach J.: Badania aeratora przyzmy w różnych technologiach kompostowania odpadów organicznych. [W:] Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Monografia. PIMR, Poznań 2004, str. 67-74.