

MICHAŁ DZIUBA, PIOTR FILIPOWICZ

Studenckie Koło Naukowe Zrównoważonego Rozwoju, Katedra Podstaw Rolnictwa i Gospodarki Odpadami, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 1a, 35-601 Rzeszów

WPLYW WERMIKOMPOSTU WYTWORZONEGO NA BAZIE ŚRUTY SOJOWEJ PRZEZ DŹDŻOWNICE *EISENIA FETIDA* NA WSCHODY PSZENICY ZWYCZAJNEJ (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

Abstrakt: Zagęszczone populacje dżdżownic skutecznie przekształcają odpady organiczne w wartościowy nawóz, znany jako wermikompost. Celem doświadczenia było określenie wpływu wermikompostu uzyskanego z odpadów śruty sojowej na wschody pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.). Doświadczenie wazonowe przeprowadzono w sześciu wariantach: zastosowano wermikomposty wytworzone z czystych odpadów – śruty sojowej (ŚS) i obornika końskiego (O) – oraz ich kombinacje w odpowiednich proporcjach (%): ŚSO (25), ŚSO (50), ŚSO (75). Dodatkowo wykorzystano wariant kontrolny (Z), oparty na uniwersalnym podłożu ogrodniczym. Wschody pszenicy obserwowano przez dwa tygodnie. W ramach badania analizowano wpływ poszczególnych wermikompostów na wybrane parametry siewek pszenicy: średnia liczba siewek oraz ich średnia biomasa. Uzyskane wyniki wskazały, że najkorzystniejsze parametry wschodów pszenicy uzyskano w wariantcie z wermikompostem wyprodukowanym ze śruty sojowej zmieszanej z obornikiem końskim w stosunku 1:3. Najmniej korzystny wpływ na wschody i rozwój siewek pszenicy wykazano w podłożu zawierającym wermikompost wyłącznie ze śruty sojowej.

Słowa kluczowe: śruta sojowa, gospodarka odpadami, wermikompostowanie, *Eisenia fetida*, *Triticum aestivum*

THE EFFECT OF VERMICOMPOST PRODUCED FROM SOYBEAN MEAL BY *EISENIA FETIDA* EARTHWORMS ON WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) EMERGENCE

Abstract: Dense earthworm populations effectively convert organic waste into a valuable fertilizer, known as vermicompost. The aim of this study was to determine the effect of vermicompost obtained from soybean meal waste on the emergence of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). A pot experiment was conducted in six variants: vermicomposts made from pure waste – soybean meal (ŚS) and horse manure (O) – were used, as well as their combinations in the appropriate proportions (%): ŚSO (25%), ŚSO (50%), and ŚSO (75%). Additionally, a control variant (Z), based on a universal horticultural substrate, was used. Wheat emergence was monitored for two weeks. The study analyzed the effect of individual vermicomposts on selected parameters of wheat seedlings: the average number of seedlings and their average biomass. The obtained results indicated that the most favorable wheat emergence parameters were obtained in the variant with vermicompost produced from

soybean meal mixed with horse manure in a ratio of 1:3. The least favorable effect on wheat seedling emergence and development was demonstrated in the substrate containing only vermicompost from soybean meal.

Keywords: soybean meal, waste management, vermicomposting, *Eisenia fetida*, *Triticum aestivum*

I. WSTĘP

Zgodnie z koncepcją gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), istotnym celem obecnej i przyszłej organizacji społecznej jest jak najlepsze wykorzystywanie surowców oraz ograniczanie ilości odpadów, które nie mają ponownego przeznaczenia. Już obecnie odpady postrzegane są nie tylko jako problem, który należy rozwiązać, lecz również jako źródło wartościowych surowców i energii, które można odzyskać i wprowadzić do ponownego wykorzystania [Gajewska i Szkoła 2016, Straka 2016]. W tym ujęciu szczególne znaczenie przypisuje się frakcji biodegradowalnej, która w przypadku braku właściwego zagospodarowania często trafia do zmieszanych odpadów komunalnych, co skutkuje bezpowrotną utratą jej potencjału [Biegańska i Ciula 2011, Kostecka i in. 2016].

W obliczu kryzysu klimatycznego i problemów z gospodarowaniem odpadami, coraz większe znaczenie zyskują technologie wspierające zrównoważony rozwój. Jedną z nich jest wermikompostowanie – proces przekształcania materii organicznej w nawóz przy udziale dżdżownic i mikroorganizmów glebowych, który umożliwia szybką i efektywną biodegradację tej grupy odpadów [Kostecka 2000].

Wermikompostowanie umożliwia efektywne zagospodarowanie resztek kuchennych, ogrodowych, osadów ściekowych, odpadów z przemysłu rolno-spożywczego czy odchodów zwierzęcych [Kostecka i Kaniuczak 2008, Kostecka i in. 2014, Garczyńska i Krempa 2018, Raza i in. 2020]. Jest to proces znacznie szybszy niż klasyczne kompostowanie, przy jednoczesnym ograniczeniu emisji odorów i objętości składowanych odpadów [Enebe i Erasmus 2023].

Przekształcanie wysegregowanej biodegradowalnej biomasy z zastosowaniem wermikultury, znajduje zastosowanie zarówno w małych instalacjach przydomowych, jak i w dużych systemach przemysłowych. W warunkach klimatu umiarkowanego, w zastosowaniu dominują dwa gatunki dżdżownic kompostowych: *Eisenia fetida* i *Dendrobaena veneta*, ze względu na ich odporność, zdolności adaptacyjne i dużą wydajność rozrodczą [Kostecka 1994, 2000, Edwards i Bohlen 1996, Dominguez i Edwards 2010, Singh i in. 2012]. Są to organizmy saprofagiczne, żywiące się martwą materią organiczną, którą pobierają w postaci półpłynnej i przetwarzają w układzie pokarmowym przy udziale symbiotycznych mikroorganizmów. Wytwarzają w ten sposób koprolity - główny składnik wermikompostu [Songin 1994]. Dżdżownice pełnią istotną rolę w procesach rozkładu odpadów biodegradowalnych oraz poprawy jakości gleb [Lavelle i in. 2006].

Proces wermikompostowania przebiega optymalnie w zakresie mezofilowym (10–32°C), przy wilgotności 70–80% i pH między 6 a 8 [Kostecka 1994; Kalembasa 1998]. Odpowiedni stosunek C/N w odpadach warunkuje tempo i skuteczność przekształcania materii organicznej a także wskazuje na dojrzałość wermikompostu [Adhikary 2012].

Produkt końcowy procesu (wermikompost) charakteryzuje się wysoką zawartością łatwo przyswajalnych mikroelementów i makroelementów (azot, fosfor, potas), kwasów humusowych oraz fitohormonów (auksyny, cytokiny), które stymulują rozwój roślin, poprawiają ich plonowanie, odporność na stresy i choroby [Kalembasa 1995, Arancon i in. 2003, Usmani i in. 2019, Garczyńska i in. 2020a, 2020b, Pączka i in. 2021]. Wermikompost może działać także jako biostymulator – zwiększa aktywność mikrobiologiczną gleby, wspiera fotosyntezę i rozwój

systemu korzeniowego roślin, a także wpływa na poprawę struktury gleby i jej zdolności sorpcyjnych [Sinha i Herat 2009]. Ze względu na swoje właściwości, wermikompost znajduje zastosowanie nie tylko w rolnictwie ekologicznym, ale również w rekultywacji terenów zdegradowanych, gospodarce leśnej oraz ogrodnictwie. Coraz częściej wykorzystuje się go także w nowoczesnych technikach rolniczych, np. do powlekania nasion w technice mikrodawkowania co pozwala na bardziej precyzyjne i efektywne wykorzystanie składników odżywczych oraz mikroorganizmów pożytecznych dla roślin [Ievinsh 2011].

Podczas wermikompostowania produkowana jest także biomasa dżdżownic. Może być ona wykorzystana jako źródło białka w paszach, składnik kosmetyków czy suplementów diety [Kostecka i Pączka 2006, Kostecka i in. 2022, Garczyńska i in. 2023]. Pojawiają się też badania nad rolą dżdżownic w procesach remediacji gleb skażonych metalami ciężkimi, co potwierdza ich rosnące znaczenie w kontekście biotechnologii środowiskowych [Bhat i in. 2018, Shi i in. 2019].

Celem przeprowadzonych badań było zaprezentowanie wpływu wermikompostu wytworzonego na bazie śruty sojowej przez dżdżownice *Eisenia fetida* na wschody pszenicy wyczajnej (*Triticum aestivum* L.).

II. MATERIAŁY I METODY

Materiał badawczy

Wermikomposty

W eksperymencie wykorzystano wermikomposty z odpadów śruty sojowej mieszanej z obornikiem końskim. Śrutę sojową pozyskano od krajowego producenta pasz - VITAL-ZAM Sp. z o.o. z województwa lubelskiego; a obornik koński z gospodarstwa we wsi Zagorzyce. Odpady te były przerabiane przez dżdżownice *Eisenia fetida* (na początku doświadczenia w zagęszczeniu – 6 os. /dm³, na końcu doświadczenia 96± 48 os./ dm³), według schematu poniżej:

- (1) ŚS – śruta sojowa (100%),
- (2) O – obornik koński (100%),
- (3) ŚSO (25) – śruta sojowa (25%) + obornik koński (75%),
- (4) ŚSO (50) – śruta sojowa (50%) + obornik koński (50%),
- (5) ŚSO (75) – śruta sojowa (75%) + obornik koński (25%),
- (6) kontrola – podłoże ogrodnicze.

*Siewki pszenicy (*Triticum aestivum* L.).*

Materiał siewny (pszenica ozima) do doświadczenia wazonowego pochodził ze zbioru w roku 2023 z gospodarstwa rolnego w Zbydniowie, w gminie Zaleszany, powiecie stalowowolskim, w północno-zachodniej części województwa podkarpackiego. Uprawa pszenicy ozimej odbywała się na glebie klasy R IVa, wchodzącej w skład kompleksu pszennego dobrego. Są to gleby o średniej żyzności, jednak przy zachowaniu prawidłowego płodozmianu - w tym przypadku zbożowego - pozwalają uzyskać stabilne i dobre jakościowo plony [Studium uwarunkowań..., Struktura użytkowania....].

Metoda badania

Doświadczenie wazonowe prowadzono jesienią (październik/listopad) 2023 r., w Katedrze Podstaw Rolnictwa i Gospodarki Odpadami Uniwersytetu Rzeszowskiego. Celem badania było określenie wpływu dojrzałych wermikompostów wytworzonych przez *E. fetida* z opisanych wyżej odpadów, na wschody pszenicy ozimej. Do każdego z wazonów (tab. 1), wysiano po 5 gramów jednorodnych nasion pszenicy i obserwowano ich wschody. W ramach badania, po

dwóch tygodniach, analizowano wpływ poszczególnych wermikompostów na wybrane parametry siewek pszenicy: średnia liczba siewek oraz ich średnia biomasa.

W badaniu wykorzystano 18 wazonów o wymiarach 6×18×14 cm, wypełnionych odpowiednimi wariantami wermikompostów i gleby ogrodniczej według schematu w tabeli 1. Doświadczenie przeprowadzono w 6-iu układach badawczych (rys. 1).

Tabela 1 – Table 1

Schemat doświadczenia / *Experiment design*

Nr wazonu <i>Nb of container</i>	Cechy podłoża / <i>Characteristics of the substrate*</i>
1-3	wermikompost ŚS 100%* + podłoże ogrodnicze (50:50) + 5g nasion pszenicy*** <i>vermicompost ŚS 100%+ gardening soil (50:50) +5g of wheat seeds</i>
4-6	wermikompost O 100%* + podłoże ogrodnicze (50:50) + 5g nasion pszenicy*** <i>vermicompost O 100%+ gardening soil (50:50) +5g of wheat seeds</i>
7-9	wermikompost ŚSO (25)* + podłoże ogrodnicze (50:50) + 5g nasion pszenicy*** <i>vermicompost ŚSO (25)+ gardening soil (50:50) +5g of wheat seeds</i>
10-12	wermikompost ŚSO (50)* + podłoże ogrodnicze (50:50) + 5g nasion pszenicy*** <i>vermicompost ŚSO (50)+ gardening soil (50:50) +5g of wheat seeds</i>
13-15	wermikompost ŚSO (75)* + podłoże ogrodnicze (50:50) + 5g nasion pszenicy*** <i>vermicompost ŚSO (75)+ gardening soil (50:50) +5g of wheat seeds</i>
16-18	podłoże ogrodnicze 100% ** + 5g nasion pszenicy*** / gardening soil 100% +5g of wheat seeds

* wermikomposty uzyskane w wyniku przetwarzania śruty sojowej i obornika w różnych konfiguracjach jak opisano w metodzie pracy / *vermicomposts obtained by processing soybean meal and manure in various configurations as described in the working method*

**uniwersalne podłoże firmy „Kronen”, lekkie z długo działającym nawozem (całkowicie rozpuszczalnym w wodzie), wzbogacone mikroelementami (żelazo, bor, mangan, molibden, miedź, cynk) i nawilżaczem, który ułatwia przyswajanie i równomierną dystrybucję wody w podłożu pH 5,0-6,0, wyprodukowane na bazie torfu wysokiego / *universal substrate from "Kronen", light with long-acting fertilizer (completely soluble in water), enriched with microelements (iron, boron, manganese, molybdenum, copper, zinc) and a humidifier that facilitates the absorption and even distribution of water in the substrate, pH 5.0-6.0, produced on the basis of high-moor peat*

*** pszenica ozima – nasiona pozyskano z miejscowości Zbydniów, na każdy pojemnik zaaplikowano 5 g ziaren pszenicy (średnio 105 ziaren) / *winter wheat – seeds were obtained from Zbydniów, 5 g of wheat was applied to each container (average 105 grains)*



Rys. 1. Układ doświadczalny – podłoża badawcze z wysianą pszenicą

Fig. 1. *Experimental setup – research substrates with sown wheat*

W trakcie trwania doświadczenia wszystkie wazony nawadniano wodą wodociągową w objętości 200 ml. Woda wodociągowa w mieście Rzeszów cechuje się następującymi parametrami: pH 7,7 (min: 6,5; max: 9,5), azotany V 6,3 mg/l, azotany III <0,05 mg/l, ogólny

węgiel organiczny 1,50 mg/l. Pojemniki badawcze przechowywano w temperaturze $18,5 \pm 3,0^{\circ}\text{C}$, przy stałym dostępie do światła słonecznego. Po siewie monitorowano wazon-y i oceniono wschody roślin. Na zakończenie doświadczenia, z wazonów wyjęto i policzono rośliny pszenicy osypanej z nadmiaru ziemi. Uzyskaną biomasa ważono z wykorzystaniem wagi RADWAG AS 160. Wyniki przeanalizowano w arkuszu kalkulacyjnym Excel i zaprezentowano w tabeli jako średnie $\pm$ SD. Istotność różnic określono testem *t Studenta*, za pomocą programu *Statistica 13.1*.

III. WYNIKI I DYKUSJA

Wyniki badania przedstawiono w tabeli 2 i na rysunkach 2 i 3. Najkorzystniejsze cechy wschodzących siewek uzyskano na wermikompoście wytworzonym z obornika końskiego (O). Biorąc jednak pod uwagę wpływ wermikompostu ze śruty sojowej, najbardziej pozytywne parametry wschodów pszenicy uzyskano w wariancie z wermikompostem wyprodukowanym ze śruty sojowej zmieszanej z obornikiem końskim w stosunku 1:3 (ŚSO (25)) (tab. 2, rys. 2), natomiast najmniej korzystny wpływ na wschody pszenicy wykazano dla podłoża z wermikompostu uzyskanego ze śruty sojowej (ŚS 100%) (tab. 2, rys. 3).

Tabela 2 – Table 2

Wpływ badanych wermikompostów na wschody pszenicy ozimej (*T. aestivum*) / The effect of the tested vermicomposts on the emergence of winter wheat (*T. aestivum*)

Wazon-y / Pots	Średnia liczba siewek pszenicy po tygodniu Average number of seedlings after 1 week	Średnia liczba siewek pszenicy po 2 tygodniach Average number of seedlings after 2 weeks	Średnia biomasa pszenicy po 2 tygodniach [g] Average biomass of wheat after 2 weeks [g]
ŚS 100% (1-3)	$8,3 \pm 5,0^a$	$14,3 \pm 7,0^a$	$0,50 \pm 0,55^a$
O 100% (4-6)	$116,0 \pm 6,0^b$	$136,0 \pm 2,0^b$	$10,95 \pm 1,65^b$
ŚSO (25) (7-9)	$109,7 \pm 3,1^b$	$126,0 \pm 4,4^b$	$5,89 \pm 2,36^c$
ŚSO (50) (10-12)	$80,7 \pm 8,5^c$	$101,7 \pm 12,0^b$	$2,74 \pm 0,49^d$
ŚSO (75) (13-15)	$52,0 \pm 22,7^c$	$65,0 \pm 28,2^c$	$1,47 \pm 0,59^d$
Z (16-19)	$105,3 \pm 6,0^b$	$124,0 \pm 8,2^b$	$9,51 \pm 0,46^b$

te same małe litery – brak różnic istotnych statystycznie / the same lowercase letters -no statistically significant differences



Rys. 2. Wschody pszenicy ozimej w podłożu z wermikompostem ze śruty sojowej i obornika końskiego (ŚSO (25))
Fig. 2. Winter wheat emergence in a substrate with vermicompost made of soybean meal and horse manure (ŚSO (25))



Rys. 3. Wschody pszenicy ozimej w podłożu z wermikompostu z czystej śruty sojowej (ŚS)
Fig. 3. Winter wheat emergence in a vermicompost substrate with pure soybean meal (ŚS)

W przeprowadzonym doświadczeniu zaobserwowano, że liczba siewek pszenicy ozimej wzrastała proporcjonalnie do zwiększającego się udziału procentowego obornika końskiego w podłożu wykorzystywanym do produkcji wermikompostu. Największą liczbę wschodów uzyskano na wermikompoście pochodzącym wyłącznie z obornika (O), natomiast ponad dziewięciokrotnie mniejszą – na podłożu opartym wyłącznie na śrucie sojowej (ŚS) ($p < 0,05$). Liczba siewek pszenicy ozimej na podłożu ŚSO (75) była istotnie mniejsza w porównaniu do większości pozostałych wariantów podłoży – ŚSO (25), ŚSO (50) oraz Z ($p < 0,05$) – z wyjątkiem podłoża ŚS, względem którego różnica nie była statystycznie istotna ($p > 0,05$). Podobna zależność została zaobserwowana w przypadku średniej biomasy części nadziemnych wschodów. Najwyższe wartości biomasy odnotowano na wermikompoście z obornika końskiego, a następnie – w kolejności malejącej – na wermikompostach uzyskanych z mieszanin: ŚSO (25), ŚSO (50) oraz ŚSO (75). Najniższą wartość biomasy siewek stwierdzono na wermikompoście pochodzącym wyłącznie ze śruty sojowej – była ona blisko 22-krotnie niższa w porównaniu z wartością biomasy siewek uzyskanej na wermikompoście z obornika końskiego ($p < 0,05$).

Wyniki doświadczeń Dziuby [2024] wskazują, że śruta sojowa może być skutecznie przetwarzana przez dżdżownice *E. fetida*. Wermikompost ze śruty sojowej zawiera dużo substancji organicznych, ma korzystną strukturę i wykazuje biostymulujące działanie na rośliny, co potwierdziły testy kiełkowania pszenicy ozimej.

Śruta sojowa, która dotąd była przede wszystkim odpadem przemysłu paszowego, może więc zostać wykorzystana jako efektywny substrat w biotechnologii nawozowej, z korzyścią dla gospodarki o obiegu zamkniętym. Wermikompost, uzyskany z jej odpadu także posiada właściwości nawozowe, co przy odpowiednim skomponowaniu mieszanek i zachowaniu parametrów środowiskowych, może być z powodzeniem wykorzystane w produkcji organicznych nawozów wspierających rolnictwo zrównoważone.

Wyniki prezentowanego w publikacji badania wykazały jednak, że wermikompost ze śruty sojowej dał mniejsze rezultaty od oczekiwanych.

Badania przeprowadzone przez Hussaina i Abbasiego [2018] potwierdzają korzystny wpływ wermikompostu wytworzonego z resztek poźniwnych soi i obornika bydlęcego, nie tylko na wschody, ale również na strukturę fizyczną gleby oraz ogólną produktywność roślin w całym cyklu uprawy. Autorzy ci zaobserwowali pozytywne efekty działania tego wermikompostu na takie gatunki jak pomidor (*Solanum lycopersicum*), sałata (*Lactuca sativa*), papryka (*Capsicum* spp.), ogórek (*Cucumis sativus*) i fasola zwyczajna (*Phaseolus vulgaris*). Wskazali, że obecne w

tym wermikompoście związki azotu oraz hormony roślinne stymulują proces kiełkowania oraz przełamywania spoczynku nasion.

Warto więc propagować wermikompostowanie różnych odpadów i zastosowanie otrzymywanych wermikompostów. Goswami i in. [2017] udowodnili, iż związki chemiczne zawarte w wermikompoście (zawierającym; 50% odpadów roślinnych, 20% resztek poźniwnych (słoma i łuski ryżowe) i 30% obornika bydlęcego) pozytywnie wpływają na cechy plonu wybranych roślin i właściwości gleby. Badania prowadzili na pomidorach *L. esculentum* oraz na kapuście *Brassica oleracea*. Jako substratów do produkcji wermikompostu użyli pozostałości z warzyw, resztek poźniwnych i obornika bydlęcego. Uzyskane przez nich wyniki, potwierdziły korzystny wpływ nawożenia organicznego w postaci – wermikompostu na wschody, wybrane cechy plonu oraz na właściwości gleby.

Z kolei Rodriguez-Quiroz i in. [2011] oceniali skuteczność oddziaływania wermikompostu pochodzącego z odpadów warzywnych i obornika bydlęcego w uprawie fasoli zwyczajnej (*Phaseolus vulgaris*). Nasiona fasoli wysiewali na tacach z jałową glebą, do której dodawali 0%, 25%, 50%, 80% i 100% wspomnianego wermikompostu. Wykazali, że podłoża wzbogacone wermikompostem (25–80%) znacząco przyspieszały kiełkowanie badanych roślin w porównaniu do gleby jałowej. Choć przy najwyższych stężeniach (80% i 100%) zauważono spadek wskaźnika kiełkowania poniżej 60%, mimo to rośliny rozwijające się w obecności wermikompostu wykazywały lepszą kondycję i osiągały większe rozmiary niż te rosnące w glebie bez jego dodatku.

IV. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały istotny wpływ składu podłoża użytego do produkcji wermikompostu na wschody pszenicy ozimej (*T. aestivum*). Najlepsze efekty, zarówno pod względem liczby siewek, jak i ich biomasy, uzyskano przy zastosowaniu wermikompostu wytworzonego wyłącznie z obornika końskiego. Wraz ze wzrostem udziału obornika końskiego w mieszankach z dodatkiem śruty sojowej (warianty 25%, 50% i 75%) obserwowano stopniowy wzrost efektywności podłoża w odniesieniu do analizowanych cech wschodów pszenicy ozimej. Najmniej obiecujące wskaźniki potencjalnego wzrostu i rozwoju pszenicy uzyskano na wermikompoście wytworzonym na bazie czystej śruty sojowej. Podłoże z tego wermikompostu nie zapewniało odpowiednich warunków do kiełkowania nasion pszenicy, co może wynikać z nieodpowiedniego stosunku węgla do azotu lub niekorzystnych substancji w materiale wyjściowym. Uzyskane wyniki potwierdzają także potencjał wykorzystania wermikompostu z obornika końskiego w praktyce rolniczej, szczególnie w uprawach wymagających wysokiej jakości podłoża we wczesnych fazach rozwoju roślin.

Składamy podziękowania dla pani dr hab. prof. UR Marioli Garczyńskiej, pani dr Anny Mazur-Pączki i pana dr hab. prof. UR Grzegorza Pączki za pomoc w pisaniu niniejszego artykułu

BIBLIOGRAFIA

1. Adhikary S. 2012. Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences*. 3(7). 905-917. <https://doi.org/110.4236/as.2012.37110>.
2. Arancon N.Q., Lee S., Edward C.A., Atiyeh R. 2003. Effects of humic acids derived from cattle, food and paper-waste vermicomposts on growth of greenhouse plants. *Pedobiologia*. 47. 741-744.

3. Bhat S.A., Singh S., Singh J., Kumar S., Bhawana V.A.P. 2018. Bioremediation and detoxification of industrial wastes by earthworms: vermicompost as powerful crop nutrient in sustainable agriculture. *Bioresources Technology*. 252. 172-179. <https://doi.org/10.1016/j.bioretech.2018.01.003>.
4. Biegańska J., Ciula J. 2011. Zintegrowana gospodarka odpadami komunalnymi w Polsce jako element zrównoważonego rozwoju. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*. 13(1). 51-60.
5. Dominguez J, Edwards C.A. 2010. Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting.; *Soil Zoology for Sustain Development in the 21st Century*. S.H. Shakir Hanna and W.Z.A. Mikhall (eds). Cairo. 27-40.
6. Dziuba M. 2024. Możliwości zagospodarowania odpadów organicznych pochodzących z sektora rolno-spożywczego, Praca inżynierska, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Rzeszowski. 1-116.
7. Edwards C.A., Bohlen P.J. 1996. *Biology and Ecology of Earthworms*. Chapman&Hall, London.
8. Enebe M.C., Erasmus M. 2023. Vermicomposting technology - A perspective on vermicompost production technologies. limitations and prospects. *Journal of Environmental Management*. 345. 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118585>.
9. Gajewska T., Szkoda M. 2016. Logistyka zwrotna jako nowoczesna forma gospodarki odpadami. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*. 17-6(196). 1327-1333.
10. Garczyńska M., Kostecka J., Kaniuczak J. 2020a. Effect of fertilization with the sheep manure vermicompost on the yield of sweet potatoes and selected properties of soil developed from loess. *Journal of Ecological Engineering*. 21(5). 27-33. <https://doi.org/10.12911/22998993/122183>.
11. Garczyńska M., Pączka G., Podolak A., Mazur-Pączka A., Szura R., Butt K.R., Kostecka J. 2020b. Effects of owinema bio-preparation on vermicomposting in earthworm ecological boxes. *Applied Sciences*. 10(456). 1-13. <https://doi.org/10.3390/app10020456>.
12. Garczyńska M., Kostecka J., Pączka G., Mazur-Pączka A., Cebulak T., Butt K.R. 2023. Chemical composition of earthworm *Dendrobaena veneta* (Rosa) biomass is suitable as an alternative protein source. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 20(4). 3108. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043108>.
13. Garczyńska M., Krempa M. 2018. Wstępne badania nad prośrodowiskowym zagospodarowaniem topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.). *Polish Journal for Sustainable Development*. 22(2). 19-26. <https://doi.org/10.15584/pjsd.2018.22.2.2>.
14. Goswami L., Nath A., Sutradhar S., Bhattacharya S. S., Kalamdhadm A., Vellinglri K., Kim K.H. 2017. Application of drum compost and vermicompost to improve soil health, growth, and yield parameters for tomato and cabbage plants. *Journal of Environmental Management*. 200. 243-252. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.073>.
15. Hussain N., Abbasi S.A. 2018. Efficacy of the vermicomposts of different organic wastes as Clean” Fertilizers: State of the Art. *Sustainability*. 10(1205). 1-63. <https://doi.org/10.3390/su10041205>.
16. Ivinsh G. 2011. Vermicompost treatment differentially affects seeds germination, seedling growth and physiological status of vegetable crop species. *Plant Growth Regular*. 65. 169-181. <https://doi.org/10.1007/s10725-011-9586-x>.

17. Kalembasa D. 1995. Vermikompost – nawóz do rekultywacji gleb zdegradowanych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. 418(2). 591-596.
18. Kalembasa D. 1998. Wpływ stosunku C/N w podłożu oraz stopnia rozdrobnienia podłoża na wzrost i rozwój dżdżownicy *Eisenia fetida*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie. 334. 117-120.
19. Kostecka J. 1994. Poradnik hodowcy dżdżownic. Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja w Krakowie, Filia w Rzeszowie. 1-40.
20. Kostecka J. 2000. Badania nad wermikompostowaniem odpadów organicznych. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie. Rozprawy. 268. 1-88.
21. Kostecka J., Garczyńska M., Pączka G., Mazur-Pączka A. 2022. Chemical composition of earthworm *Eisenia fetida* (Sav.) biomass and selected determinants for its production. Journal of Ecological Engineering. 23(7). 169-179. <https://doi.org/0.12911/22998993/149940>.
22. Kostecka J., Kaniuczak J. 2008. Vermicomposting of duckweed (*Lemna minor* L.) biomass by *Eisenia fetida* (Sav.) earthworm. Journal of Elementology. 13(4). 571-579.
23. Kostecka J., Koc-Jurczyk J., Garczyńska M. 2016. Rozważania na temat zrównoważonej gospodarki odpadami. Polish Journal for Sustainable Development. 20. 105-117. <https://doi.org/10.15584/pjsd.2016.20.12>.
24. Kostecka J., Pączka G. 2006. Possible use of earthworm *Eisenia fetida* (Sav.) biomass for breeding aquarium fish. European Journal of Soil Biology. 42. 231-236. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.07.029>.
25. Kostecka J., Pączka G., Garczyńska M., Podolak-Machowska A., Dunin-Mugler C., Szura R. 2014. Wykorzystanie wermikompostowania do zagospodarowania odpadów organicznych w gospodarstwach domowych. Inżynieria i Ochrona Środowiska. 17(1). 21-30.
26. Lavelle P., Decanens T., Aubert M., Barot S., Blouin S., Bureau F., Margerie P., Mora P., Rossi J.-P. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. European Journal of Soil Biology. 42(1). 3-15. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.002>.
27. Pączka G., Mazur-Pączka A., Garczyńska M., Kostecka J., Butt K.R. 2021. Garlic (*Allium sativum* L.) cultivation using vermicompost-amended soil as aspect of sustainable plant production. Sustainability. 13. 13557: 1-11. <https://doi.org/10.3390/su132413557>.
28. Raza S.T., Zhu B., Tang J.L., Ali Z., Anjum R., Bah H., Iqbal H., Ren X., Ahmad R. 2020. Nutrients recovery during vermicomposting of cow dung, pig manure and biochar for agricultural sustainability with gases emissions. Applied Sciences. 10(24). 8956. <https://doi.org/10.3390/app10248956>.
29. Rodriguez-Quiroz G., Valenzuela-Quinonez W., Nava-Perez E. 2011. Vermicomposting as a nitrogen source in germinating kidney bean in trays. Journal of Plant Nutrition. 34. 1418-1423. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.585200>.
30. Shi Z., Liu J., Tang Z., Zhao Y., Wang C. 2019. Vermiremediation of organically contaminated soils: Concepts, current status and future perspectives. Applied Soil Ecology. 147. 103377. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103377>.
31. Singh H., Pritpal Singh P., Hundal P. P. 2012. Vermicomposting of animal dung and its laboratory evaluation. Indian Journal of Science and Technology. 5(7). 3031-3035.
32. Sinha R. K., Herat S. 2009. Vermiculture and sustainable agriculture. American Euroasian Journal of Agricultural of Environmental Science. 5(S). 01-55.
33. Songin W. 1994. Produkcja kompostu koprolitowego w ogrodzie przydomowym i działkowym. Postępy Nauk Rolniczych. 1(94). 145-151.

34. Straka M. 2016. Logistics and chemical technology as effective means for the collection and treatment of biodegradable wastes. *Przemysł Chemiczny*. 1. 127-131. <https://doi.org/10.15199/62.2016.8.27>.
35. Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy Zaleszany - Część I - Uwarunkowania zagospodarowania przestrzennego. [dok. elektr. https://www.zaleszany.pl/asp/pliki/download/20190424_zalacznik_1.1_teskt_uwarunkowan.pdf. data wejścia 21.05.2025].
36. Struktura użytkowania terenu w gminie Zaleszany. [dok. elektr. https://www.zaleszany.pl/asp/pliki/download/20190424_zalacznik_1.1_teskt_uwarunkowan.pdf. data wejścia 21.05.2025].
37. Usmani Z., Kumar V., Gupta P., Gupta G., Rani R., Chandra A. 2019. Enhanced soil fertility, plant growth promotion and microbial enzymatic activities of vermicomposted fly ash. *Scientific Reports*. 9. 10455. 1-16. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46821-5>.