

**TOMASZ CIESIELCZUK**

Instytut Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Uniwersytet Opolski, ul. Kominka 6, 45-033 Opole, Poland. tel. +4877 401 60 20, email: [tciesielczuk@uni.opole.pl](mailto:tciesielczuk@uni.opole.pl)

**ODPADY Z PRZEMYSŁU TEKSTYLNEGO JAKO NOŚNIK AZOTU ORGANICZNEGO DLA SEKTORA OGRODNICZEGO**

*Zjawisko fast fashion generuje co roku znaczne masy odpadów tekstylnych. Tylko w Europie to 12,6 mln Mg z czego ubrania i obuwie to 5,2 mln Mg. Jednym ze sposobów ich zagospodarowania jest recykling materiałowy, gdzie w procesach rozwłókniania, przędzenia i tkania powstanie nowa tkanina, jednak udział tak przetwarzanych odpadów wynosi 1% masy. Innym sposobem jest zagospodarowanie mające na celu poprawę własności gleb poprzez zastosowanie modyfikowanych fizycznie i chemicznie odpadów i wykorzystanie jako polepszacza glebowego. W pracy badano możliwość zastosowania odpadowej tkaniny bawełnianej jako nośnika organicznego nawozu azotowego o zrównoważonym działaniu. Skrawki odpadowej tkaniny bawełnianej o gramaturze 408g/m<sup>2</sup> nasycano gorącym roztworem kolagenu, który po wysuszeniu stanowił 1/3 masy próbek. Tak przygotowane skrawki, zastosowano jako nawóz dla gleby lekkiej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego. Zastosowano przemywanie wodą deszczową o temperaturze 20°C. Azot zawarty w kolagenie został uwolniony w ciągu 42 dni do roztworu glebowego, przy czym maksimum stężeń przypadło na okres 4-6 dnia po aplikacji. Dodatkową zaletą uzyskanego materiału jest naturalna pojemność wodna bawełny, co jest istotne z punktu widzenia gromadzenia wody w glebach lekkich. Równolegle, zaobserwowano powolną degradację tkaniny bawełnianej, która po 3 miesiącach inkubacji rozpadła się na fragmenty. Zastosowana modyfikacja odpadowej tkaniny bawełnianej daje możliwość zagospodarowania odpadów tekstylnych jako nośnik nawozu, co pozwoli na zmniejszenie masy odpadów bawełnianych kierowanych do spalania lub składowanych.*

**Słowa kluczowe:** przemysł tekstylny, bawełna odpadowa, azot organiczny, retardacja

**I. WSTĘP**

Negatywne oddziaływanie przemysłu włókienniczego na środowisko nasiliło się wraz z powstaniem zjawiska określanego jako „Fast fashion”. Zapotrzebowanie na nawozy, środki ochrony roślin oraz barwniki i energia wykorzystywane w czasie produkcji odzieży znacznie zwiększyły emisję gazów cieplarnianych oraz przyspieszyły degradację gleb [Rukhaya i in. 2021]. Na odpady przemysłu tekstylnego składają się dwa główne strumienie – odpady przedkonsumpcyjne i odpady pokonsumpcyjne. Pierwsza grupa to odpady powstałe w trakcie produkcji w postaci ścinków niewykorzystanej tkaniny oraz gotowe produkty, które zostały wycofane z uwagi na wady produkcyjne. To właśnie ten strumień najczęściej poddawany jest recyklingowi z uwagi na jednorodność materiału i brak ew. zanieczyszczeń wsadu poddanego procesowi recyklingu. Druga grupa, to zużyta odzież zebrana w procesie zbiórki selektywnej.

DOI: [10.15584/pjsd.2024.28.1.5](https://doi.org/10.15584/pjsd.2024.28.1.5)

Grupa ta zawiera produkty wykonane z włókien mieszanych, a ponadto zawiera znaczne ilości zanieczyszczeń w tym nity, zamki błyskawiczne oraz guziki.

Obecnie coraz szerzej wykorzystywane są odpady pochodzenia roślinnego do nawożenia lub poprawy właściwości gleby [Hossain i in. 2016]. Zastosowanie odpadowej bawełny może być elementem zrównoważonego nawożenia upraw ogrodniczych, szczególnie w gospodarstwach produkcyjnych, gdzie zużywane są znaczne masy podłoży organicznych opartych na torfie. Nośnik azotu powinien zapewnić zrównoważone uwalnianie tego pierwiastka w trakcie procesu produkcji rozsady lub roślin przeznaczonych na sprzedaż.

Używana odzież powinna być w pierwszej kolejności przekazana organizacjom pomocowym, lub przekazana do punktu wymiany (sklep recykularny, reUżytkownia), jednak w przypadku uszkodzenia, tkaniny takie stają się czyściwem lub paliwem RDF (rys.1). W mniejszym stopniu (nie przekraczającym 1%, odpady takie są rozwłókniane i z ponownie skręconej przędzy wykonywane są nowe wyroby. W odosobnionych przypadkach niezanieczyszczony odpad bawełniany jest kierowany jako wkład układów biofiltracji gazów, do spalania, toryfikacji lub kompostowania [Patel i in. 2021, Wierzbińska 2023]. Globalna konsumpcja wynosi obecnie 62 mln Mg, a prognozowana masa produktów tekstylnych w roku 2030 wyniesie 102 mln Mg [Niinimäki i in. 2020]. Dodatkowym negatywnym aspektem przemysłu odzieżowego jest emisja 500 tys. Mg mikrowłókien uwalnianych rocznie do mórz [Maiti 2023].



**Rys. 1.** Losy odpadów bawełny powstających w gospodarstwach domowych

**Fig. 1.** The fate of cotton waste generated in households

Celem pracy było przetestowanie odpadów z bawełny jako nośnika azotu organicznego z odpadów w produkcji ogrodniczej jako źródła zrównoważonego nawożenia azotowego.

## II. MATERIAŁ I METODY

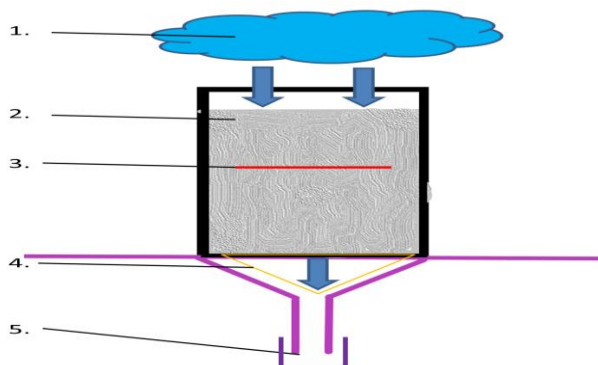
Skrawki odpadowej tkaniny bawełnianej splotu jeans o gramaturze 400 g/m<sup>2</sup> (pojemność wodna 1,36 g/g, porowatość 99,6%), nasycano gorącym roztworem kolagenu technicznego (N 9,68%), który po wysuszeniu stanowił 1/3 masy próbek. Próbki bawełny kontrolnej (B) miały masę średnią 475 mg, natomiast nasycone kolagenem (BC) 646 mg (rys. 2). Tak przygotowane skrawki bawełny odpadowej, zastosowano jako nawóz dla gleby lekkiej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego. Glebę pozyskano ze stanowiska naturalnego i przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm. Pojemniki eksperymentalne o pojemności 300 cm<sup>3</sup> (rys. 3), przemywano wodą deszczową o temperaturze 20°C, w ilości 50 cm<sup>3</sup>/podlewanie w 1,4, 6, 14 dniu a następnie w interwale 1x/tydzień i 1x/2 tygodnie w drugiej fazie eksperymentu.

Układ eksperymentalny poza dniami podlewania był przechowywany w pomieszczeniu bez dostępu światła słonecznego. Próbki eluatu sączono i poddano analizie zawartości azotu całkowitego oraz azotanów i jonów amonowych metodami spektrofotometrycznymi.



**Rys. 2.** Skrawki materiału bawełnianego kontrolne (po lewej) i nasączone kolagenem (strona prawa)

**Fig. 2.** Control cotton fabric scraps (left) and collagen-soaked scraps (right)



1. Woda deszczowa, 2. Gleba, 3. Bawełna odpadowa, 4. Sączek, 5. Odbiór eluatu

1. Rainwater, 2. Soil, 3. Waste cotton, 4. Filter, 5. Collection of eluate

**Rys. 3.** Układ eksperymentu

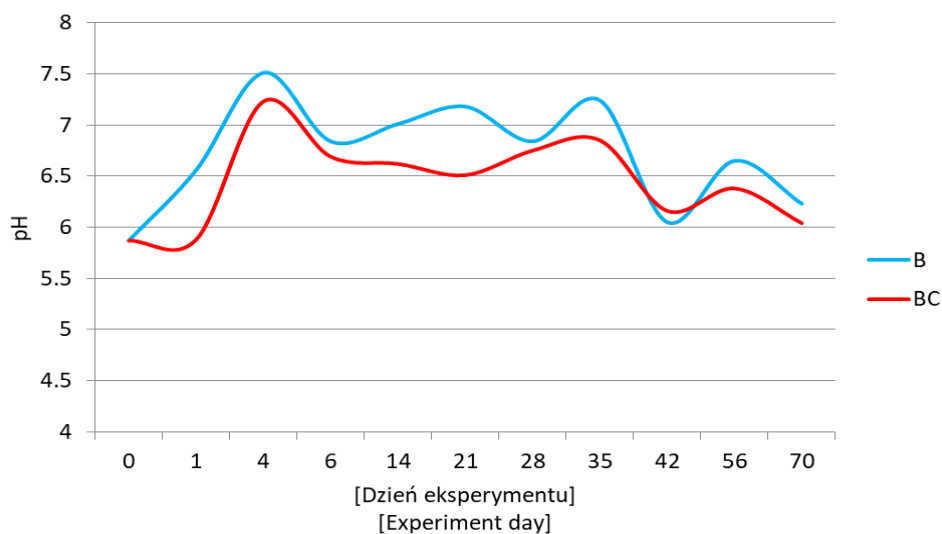
**Fig. 3.** Experimental setup

### III. WYNIKI I DYSKUSJA

Analiza źródeł literaturowych nie wykazała zastosowania bawełny odpadowej jako nośnika azotu organicznego do zastosowania w uprawach roślin. Odpad w postaci bawełny, jeśli nie nadaje się do wykorzystania przez macierzysty przemysł, jest kierowany do wytworzenia czyściwa lub jest substratem do kompostowania [Abbas i in. 2013]. Kolagen, oprócz prac własnych Autora [Ciesielcuk i in. 2018] był także proponowany jako źródło azotu dla roślin przez innych autorów [Chen i in. 2023]. Skrawki bawełny odpadowej nasycone kolagenem są sztywne i kruche co może stanowić problem podczas aplikacji do gleby. Na rys. 4 przedstawiono zmiany wartości pH eluatów uzyskiwanych w czasie eksperymentu. Wartości te były zbliżone, jednak nieco niższe wartości zanotowane dla próbek BC wskazują na lekkie zakwaszenie podłoża w efekcie mikrobiologicznego rozkładu kolagenu.

Na rys. 5 przedstawiono zmiany zawartości przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW), jako obraz stężenia jonów uwolnionych do roztworu glebowego. W 4 dniu eluat uzyskany z serii BC osiągnął maksimum – niemal 0,95 mS/cm. Stężenie jonów nieorganicznego azotu zależy w decydującym stopniu nie tylko od wilgotności gleby, ale także od podatności nawozu na rozpuszczanie [Tripolskaja i Verbylienė 2014]. Zanotowane wartości PEW nie stanowią zagrożenia dla roślin, które reagują negatywnie (w efekcie wystąpienia zjawiska tzw. suszy fizjologicznej) dopiero w przypadku zasolenia rzędu 4-6 mS/cm. Znacznie niższe

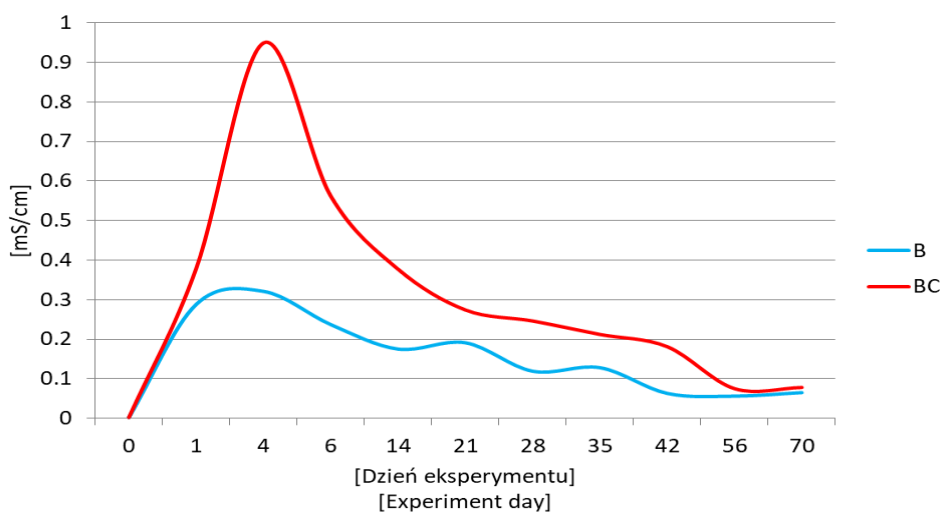
wartości (przekraczające 0,3 mS/cm zanotowano w przypadku serii kontrolnej B. Zasolenie generowane przez serię kontrolną wynika z naturalnej zawartości łatwo rozpuszczalnych soli w glebie eksperymentalnej.



bawełna kontrolna (B), nasycona kolagenem (BC) / control cotton (B), saturated with collagen (BC)

**Rys. 4.** Zmiany odczynu odcieków uzyskanych w czasie eksperymentu

**Fig. 4.** Changes in the pH of leachate obtained during the experiment

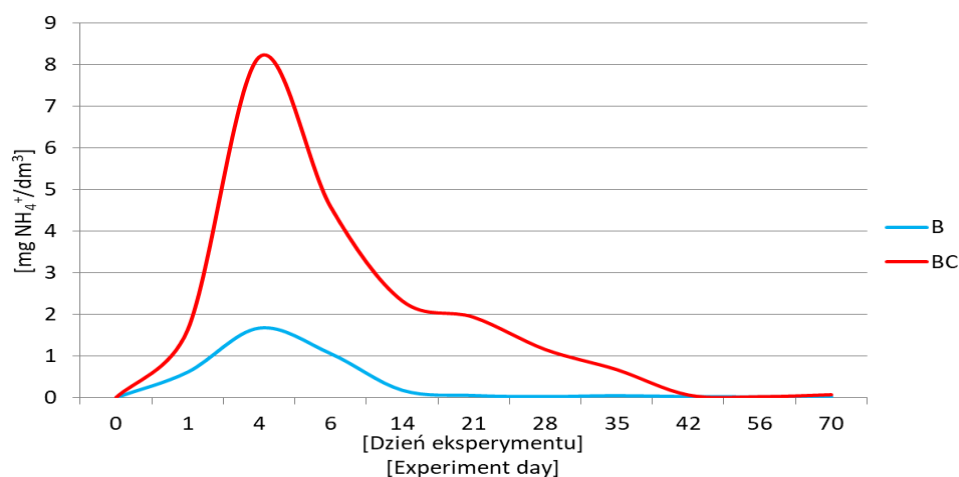


bawełna kontrolna (B), nasycona kolagenem (BC) / control cotton (B), saturated with collagen (BC)

**Rys. 5.** Zmiany PEW odcieków uzyskanych w czasie eksperymentu

**Fig. 5.** Changes in EC of leachates obtained during the experiment

Stężenia azotu amonowego (rys. 6) w eluacie serii kontrolnej zanotowano na niewielkim poziomie, jednak eluat serii BC był znacznie bardziej obciążony jonami amonowymi, które w 4 dni eksperymentu przekroczyły 8 mg/dm<sup>3</sup>. Maksimum stężeń spodziewano się w szóstym dniu ponieważ w eksperymencie wymywania długofalowego w wodzie, jony amonowe wytworzone z kolagenu zanotowano już w 4 dniu. Eksperyment prowadzony w glebie zawierającej mniej wody otaczającej nawóz oraz brak mieszania powinien opóźnić rozkład kolagenu, jednak zjawiska takiego nie zaobserwowano [Ciesielczuk i in. 2016]. Bardzo wysoką emisję jonów amonowych zanotowano w testach nawozów o kontrolowanym uwalnianiu składników Osmocote Plus 10-11-18, o czasie działania 5-6 miesięcy. W pierwszych trzech miesiącach zanotowano stężenia 350-450 mg/dm<sup>3</sup> podłoża, co stwarza zagrożenie wystąpienia suszy fizjologicznej oraz zaburzenie pobierania innych składników pokarmowych [Golcz i Komosa 2006].

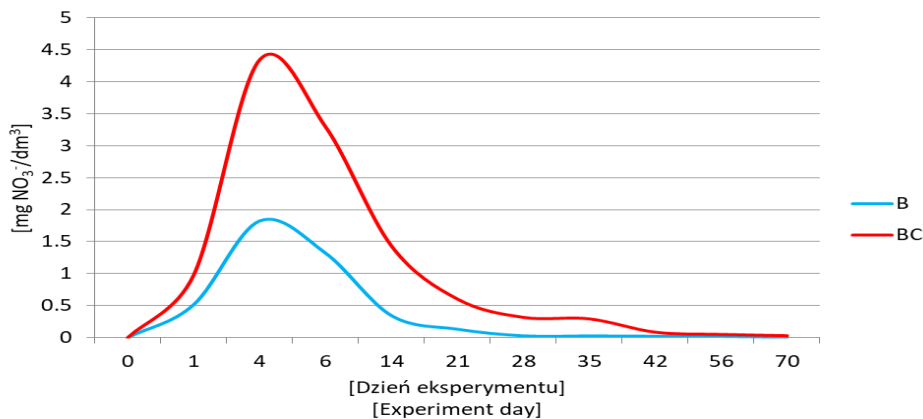


bawelna kontrolna (B), nasycona kolagenem (BC) / control cotton (B), saturated with collagen (BC)

**Rys. 6.** Stężenie azotu amonowego w odciekach uzyskanych w czasie eksperymentu

**Fig. 6.** Concentration of ammonium nitrogen in leachates obtained during the experiment

Stężenia azotu azotanowego, podobnie jak amonowego osiągnęły maksimum stężeń w 4 dniu eksperymentu (rys. 7) zarówno w serii B jak i eksperymentalnej (BC). Były one niższe od stężeń azotu amonowego co wskazuje na przewagę przemian beztlenowych zachodzących na powierzchni kolagenu. W eksperymencie długofalowego wymywania prowadzonego w wodzie, maksima stężeń tych jonów obserwowano już w pierwszym dniu (po 24 h od rozpoczęcia), jednak prawdopodobnie związane to było ze zużyciem tlenu rozpuszczonego w wodzie oraz ciągłego mieszania [Ciesielczuk i in. 2016]. Większe ilości azotanów uwalniane z nawozów organicznych notowane są także w przypadku większej sumy opadów, co potwierdza zjawisko wolniejszego wymycia w eksperymencie, gdzie podlewanie prowadzono okresowo [Maeda i in. 2003]. Cykl życia produktu uwzględniający finalne wytworzenie nawozu z odpadu może mieć znaczący wpływ na zredukowanie śladu węglowego rynku nawozowego w przypadku opracowania technologii wykorzystujących odpady zamiast surowców pierwotnych [Smol i in. 2020].



bawełna kontrolna (B), nasycona kolagenem (BC) / *bawełna kontrolna (B), nasycona kolagenem (BC)*

**Rys. 7.** Stężenie azotu azotanowego w odciekach uzyskanych w czasie eksperymentu  
**Fig. 7.** Concentration of nitrate nitrogen in leachates obtained during the experiment

Uzyskane wyniki stężeń wskazują na możliwość zastosowania testowanego materiału jako nawozu o spowolnionym uwalnianiu składników, co z jednej strony może zapobiegać stratom azotu w uprawach ogrodniczych, a z drugiej chronić przez zanieczyszczeniem wód podziemnych [Singh i in. 2017].

#### IV. PODSUMOWANIE

Azot zawarty w kolagenie został uwolniony w ciągu 42 dni do roztworu glebowego. Maksimum stężeń przypadło na okres 4-6 dnia po aplikacji. Wydłużenie czasu działania nawozu można zrealizować poprzez nawadnianie podsiąkowe. Dodatkową zaletą uzyskanego materiału jest naturalna pojemność wodna bawełny, co jest istotne z punktu widzenia gromadzenia wody w glebach lekkich. Zastosowana modyfikacja odpadowej tkaniny bawełnianej daje możliwość zagospodarowania odpadów tekstylnych jako nośnika nawozu /lub komponent podłoża, co pozwoli na zmniejszenie masy odpadów bawełnianych kierowanych do spalania, a tym samym retardację antropopresji przemysłu tekstylnego.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Abbas T., Nawab B., Nazli R., Saleem R., Lal A., Jamil K. 2013. Efficacy of cotton waste compost and fertinamakil fertilizer on the growth parameter of sunflower plants. *Pakistan J. Agric. Res.* Vol. 26(1). 54-58.
2. Chen H., Li Y., Dai H., Chen L., Ding X., Hu Z. 2023. Collagen hydrolyzed extract derived from leather waste as a multifunctional additive for the preparation of granular fertilizer. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 36. 101327. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101327>.
3. Ciesielczuk T., Rosik-Dulewska Cz., Szewczyk A., Poluszyńska J. 2016. Dynamika uwalniania azotu z nawozów o powolnym działaniu w eksperymencie laboratoryjnym. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 18. 506-517.
4. Ciesielczuk T., Poluszyńska J., Szewczyk A., Rosik-Dulewska Cz., Sporek M. 2018. Dynamic of Components Leachate from Experimental Fertilizers in Leaching Test. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 19. <https://doi.org/10.12911/22998993/82801>.

5. Golcz A., Komosa A. 2006. Uwalnianie się azotu, fosforu i potasu z nawozu wolnodziałającego osmocote plus w uprawie papryki (*Capsicum annuum* L.). *Acta Agrophysica*. 7(3). 567-576.
6. Hossain Z. von Fragstein und Niemsdorff P., Heß J. 2016. Plant Origin Wastes as Soil Conditioner and Organic Fertilizer: A Review. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 16 (7). 1362-1371 DOI:10.5829/idosi.aejaes.2016.16.7.12961.
7. Maeda M., Zhao B., Ozaki Y., Yoneyama T. 2003. Nitrate leaching in an Andisol treated with different types of fertilizers. *Environmental Pollution*. 121. 477-487. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00233-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00233-6).
8. Maiti R. 2023. Fast Fashion: Its Detrimental Effect on the Environment [wwwDocument]. *Earth.Org*. URL <https://earth.org/fast-fashions-detrimental-effect-on-the-environment/> (accessed 12.27.23).
9. Niinimäki K., Peters G., Dahlbo H., Perry P., Rissanen T., Gwilt A. 2020. The environmental price of fast fashion. *Nat. Rev. Earth Environ.* 1. 189-200. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>.
10. Patel H., Mangukiya H., Maiti P., Maiti S. 2021. Empty cotton boll crop-residue and plastic waste valorization to bio-oil, potassic fertilizer and activated carbon – A bio-refinery model. *Journal of Cleaner Production*. 290. 125738. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125738>.
11. Rukhaya S., Yadav S., Rose N.M., Grover A., Bisht D. 2021. Sustainable approach to counter the environmental impact of fast fashion. *The Pharma Innovation Journal SP*. 10(8). 517-523.
12. Singh R.P., Kumar S., Sainger M., Sainger P.A., Barnawal D. 2017. Eco-friendly Nitrogen Fertilizers for Sustainable Agriculture. In: Rakshit A., Abhilash P., Singh H., Ghosh S. (eds). *Adaptive Soil Management: From Theory to Practices*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-3638-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3638-5_11).
13. Tripolskaja L., Verbylienė I. 2014. The effect of different forms of nitrogen fertilizers on nitrogen leaching. *Zemdirbyste-Agriculture*. 101. 243-248. <https://doi.org/10.13080/z-a.2014.101.031>.
14. Wierzbińska M. 2023. Deodorisation of Industrial Gases Using a Biofiltration. *Plant. J. Ecol. Eng.* 24. 47-56. <https://doi.org/10.12911/22998993/169996>.
15. Smol M., Kulczycka J., Lelek Ł., Gorazda K., Wzorek Z. 2020. Life Cycle Assessment (LCA) of the integrated technology for the phosphorus recovery from sewage sludge ash (SSA) and fertilizers production. *Archives of Environmental Protection*. 46. No 2. 42-52 DOI:10.24425/aep.2020.133473.

## **WASTE FROM THE TEXTILE INDUSTRY AS A NITROGEN CARRIER ORGANIC FOR THE HORTICULTURE SECTOR**

### *Summary*

*The fast fashion phenomenon generates significant amounts of textile waste every year. Only in Europe it is 12.6 million Mg, of which oak trees and footwear account for 5.2 million Mg. One way to manage them is material recycling, where new fabric will be created in the processes of fiberising, spinning and weaving, but the share of waste*

*processed in this way is 1% of the mass. Another method is development aimed at improving the properties of soil by using physically and chemically modified waste and using it as a soil improver. The study examined the possibility of using waste cotton fabric as a carrier of an organic nitrogen fertilizer with a sustainable effect. Scraps of waste cotton fabric with a grammage of 408 g/m<sup>2</sup> were saturated with hot collagen solution, which after drying constituted 1/3 of the weight of the samples. The scraps prepared in this way were used as fertilizer for light soil with a granulometric composition of clay sand. Rinsing with rainwater at a temperature of 20°C was used. The nitrogen contained in the collagen was released into the soil solution within 42 days, with the maximum concentration occurring 4-6 days after application. An additional advantage of the obtained material is the natural water capacity of cotton, which is important from the point of view of collecting water in light soils. At the same time, slow degradation of the cotton fabric was observed, which broke into fragments after 3 months of incubation. The applied modification of waste cotton fabric makes it possible to use textile waste as a fertilizer carrier, which will reduce the weight of cotton waste sent for incineration or landfilled.*

**Keywords:** textile industry, waste cotton, organic nitrogen, retardation