

Rzeszów, 30.10.2023r

Prof. dr hab. inż. Piotr Koszelnik,
Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury
Katedra Inżynierii i Chemii Środowiska

Recenzja

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Darii Marczak pt.: „Trwałość biodegradowalnych
geokompozytów sorbujących wodę”,**

napisanej pod promotorstwem dr. hab. Krzysztofa Lejcusia, profesor uczelni

Promotor pomocniczy: dr inż. Joanna Grzybowska-Pietra

Recenzję niniejszą wykonano zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu o wyznaczeniu recenzentów rozprawy doktorskiej mgr inż. Darii Marczak, podjętą w dniu 11 października 2023 roku i przesłanym zleceniem wykonania tej recenzji, zgodnie z pismem znak IDDD0000.4100.12.23 z dnia 13.10.2023.

Ocena celowości podjętej tematyki

W ostatnich latach problem niedoboru wody w środowisku glebowym staje się jednym z kluczowych problemów gospodarczych i wyzwań dla specjalistów zajmujących się hydrologią gleb wykorzystywanych rolniczo. Oceniana praca doktorska wskazuje na nowoczesny sposób retencjonowania wody na potrzeby roślinności z wykorzystaniem biodegradowalnego geokompozytu sorbującego wodę. Jest to niezwykle istotny zakres badawczy z punktu widzenia zrównoważonego wykorzystywania zasobów środowiska, produkcji żywności i ochrony wód przed zanieczyszczeniem, dlatego też celowość podjętej tematyki uznaję za ważną i zasadną.

Ocena formalna i merytoryczna

Przedstawiona do recenzji rozprawa to cykl czterech współautorskich publikacji:

- A1. **Marczak D.**, Lejcuś K., Misiewicz J. 2020. Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: a comprehensive review. Journal of Cleaner Production. 268, 122129. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.122129. **IF = 9,297, 140 pkt.**
- A2. **Marczak D.**, Lejcuś K., Grzybowska-Pietras J., Biniś W., Lejcuś I., Misiewicz J. 2020. Biodegradation of sustainable nonwovens used in water absorbing geocomposites supporting plants vegetation. Sustainable Materials and Technologies. 26, e00235. DOI:10.1016/j.susmat.2020.e00235. **IF = 7,053, 200 pkt.**

A3. **Marczak D.**, Lejcuś, K., Kulczycki, G., Misiewicz, J. 2022. Towards circular economy: Sustainable soil additives from natural waste fibres to improve water retention and soil fertility. *Science of the Total Environment*. 844, 157169. DOI:10.1016/j.scitotenv.2022.157169. **IF = 9,8, 200 pkt.**

A4. **Marczak D.**, Lejcuś K., Lejcuś I., Misiewicz J. 2023. Sustainable Innovation: Turning Waste into Soil Additives. *Materials*. 16, 2900. DOI:10.3390/ma16072900. **IF 2020 = 3,4, 140 pkt.**

Czasopisma w których opublikowano powyższe prace są indeksowane w bazie Scopus i znajdują się na liście czasopism punktowanych, ogłoszonej w 2023 roku na potrzeby ewaluacji dyscyplin naukowych w Polsce. Są to czasopisma o uznanej renomie, wysoko punktowane (140 i 200 punktów). Udziały doktorantki są dominujące i wynoszą 65-70%. W każdej z publikacji mgr Marczak była pierwszym autorem, zaś z oświadczeń współautorów załączonych do dokumentacji wynika, że udział merytoryczny doktorantki w całości prac był istotny.

W dokumentacji zawarto także łączący i częściowo podsumowujący badania opublikowane we wzmiankowanych artykułach, tzw. przewodnik po tychże publikacjach. Jest to coraz powszechniej stosowany sposób prezentacji osiągnięć w postępowaniu doktorskim, zastępujący klasyczną dysertację, moim zdaniem właściwy. Zatem taki układ pracy uznaję za prawidłowy. W przewodniku zamieszczono rozdział, gdzie doktorantka podaje, bardzo celnie uzasadnienie podjęcia tematu. Następnie wskazane są hipotezy badawcze i cele pracy. Brzmiały one następująco:

Hipoteza:

Zastosowanie w BioWAG materiałów biodegradowalnych w postaci włókien na bazie naturalnych włókien odpadowych, umożliwi ich stopniową biodegradację w glebie przy jednoczesnym wspomaganie wegetacji wybranych gatunków traw.

Główne cele:

1. Analiza biodegradowalności w warunkach rzeczywistych wybranych materiałów stanowiących element BioWAG.
2. Ocena możliwości wykorzystania BioWAG do wspomaganie wegetacji wybranych gatunków traw.

W kolejnym rozdziale „Cele pracy” wykazanych jest cztery cele szczegółowe pracy doktorskiej ze wskazaniem, które z publikacji cyklu stanowią ich realizację:

1. Przegląd właściwości biodegradowalnych wyrobów włókienniczych oraz wskazanie najlepszych do zastosowań środowiskowych (A1);

2. Określenie zmian parametrów fizyko-chemicznych zachodzących we włókninach i pozostałych elementach BioWAG pod wpływem wybranych czynników środowiskowych (A2; A3);
3. Określenie wpływu BioWAG na wegetację wybranych gatunków traw (A3; A4);
4. Określenie procesów towarzyszących biodegradacji wybranych elementów BioWAG, m.in. zidentyfikowanie mikro- i makroelementów uwalnianych do gleby oraz efektywnie pobieranych przez wybrane gatunki traw (A3; A4).

Zarówno hipoteza jak i cele pracy są sformułowane poprawnie stanowią dobre wyjście do realizacji badań w założonym zakresie.

Przewodnik zawiera także stan wiedzy w zakresie badań, a także co szczególnie istotne szczegółowy opis metodyki przeprowadzonych badań. Dokument ten stanowi podsumowanie najważniejszych elementów pracy doktorskiej, opisanych w czterech publikacjach wchodzących w skład cyklu publikacji.

Jednym z obowiązków doktoranta jest rozpoznanie aktualnego stanu wiedzy w analizowanym zagadnieniu badawczym. Publikacja A1 spełnia ten obowiązek. W artykule „Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: A comprehensive review”, na podstawie przeglądu literatury autorzy wskazują, że geotekstylią stały się popularnym rozwiązaniem w inżynierii środowiska. Mogą być wykonane z materiałów syntetycznych lub biodegradowalnych. Do głównych funkcji geowłóknin zalicza się: separację, filtrację, drenaż, uszczelnianie, ochronę przed erozją oraz poprawę warunków wegetacji roślin. Geotekstylią syntetyczną produkowaną są głównie z paliw kopalnych. Jednym ze sposobów ograniczenia zużycia energii ze źródeł nieodnawialnych i ograniczenia zanieczyszczenia środowiska jest zastąpienie surowców petrochemicznych produktami naturalnymi. Niestety, tylko 2% geosyntetyków jest produkowanych ze źródeł odnawialnych. Szacuje się jednak, że włókna naturalne i biopolimery mogą z powodzeniem zastąpić materiały syntetyczne nawet w 50% wszystkich zastosowań. W artykule przedstawiono aktualny stan wiedzy i rozwój technologii w zakresie ich wytwarzania i stosowania. W pracy wskazano także na istniejące braki i możliwości w rozwoju technologii wytwarzania włókien naturalnych i polimerów biodegradowalnych. Piśmiennictwo tej publikacji (pozostałych także) jest bardzo bogate i należy docenić dużą pracę jaką wykonała doktorantka aby zapoznać się z aktualnym stanem wiedzy.

Kolejne publikacje cyklu to prezentacja wyników badań własnych.

W publikacji A2 pt.: „Biodegradation of sustainable nonwovens used in water absorbing geocomposites supporting plants vegetation” dokonano oceny wpływu czasu instalacji i

biodegradacji na właściwości mechaniczne, hydrauliczne i chemiczne stosowanych tekstyliów. Analizowano biodegradację geotekstyliów w czasie rzeczywistym, a ich parametry określano po jednym sezonie wegetacyjnym. Włókniny igłowane wykonane z wełny i lnu lub wzmocnione siatką jutową ulegały biodegradacji już po pierwszym sezonie wegetacyjnym. Istotnie lepsze właściwości mechaniczne zaobserwowano w przypadku włókien wyprodukowanych z tych samych materiałów, ale wzmocnionych szwami. Wszystkie rodzaje geotekstyliów charakteryzowały się wystarczającą odpornością na biodegradację, która pozwalała na utrzymanie roślinności i prawidłowe funkcjonowanie BioWAG przynajmniej przez jeden sezon wegetacyjny. Biodegradowalne geowłókniny instalowane w glebie zapewniają natychmiastową ochronę, a ich stopniowe usuwanie sprzyja wegetacji roślin.

W pracy opublikowanej w 2022 roku pt.: „Towards circular economy: Sustainable soil additives from natural waste fibres to improve water retention and soil fertility” skupiono się na analizie możliwości zastąpienia syntetycznych dodatków do gleby materiałami biodegradowalnymi i przeanalizowano potencjalne i zrównoważone przetwarzanie naturalnych materiałów włóknistych, które tworzą problematyczne odpady. Włókna odpadowe są podstawą innowacyjnych technologii magazynowania wody glebowej w postaci biodegradowalnych i wodochłonnych geokompozytów (BioWAG). Przeanalizowano wpływ BioWAG na wegetację roślin i jakość środowiska prowadząc intensywne trzyletnie doświadczenia polowe. Ponadto przeanalizowano wzrost biomasy, ograniczenie skutków suszy i mechanizmy biodegradacji materii. Naturalne włókna odpadowe miały pozytywny wpływ, ponieważ podczas biodegradacji uwalniały do gleby łatwo dostępne składniki odżywcze. BioWAG wpłynęły pozytywnie na parametry biometryczne trawy, zwiększając przyrost biomasy o 430%. Uzyskane wyniki wykazały, że jest to efektywna metoda zagospodarowania włókien odpadowych, dająca możliwość wytwarzania innowacyjnych, przyjaznych środowisku materiałów, zgodnie z celami gospodarki o obiegu zamkniętym.

W kolejnej pracy (A4) z 2022 r. pt.: „Sustainable Innovation: Turning Waste into Soil Additives” wskazano potencjalne sposoby zrównoważonego gospodarowania naturalnymi odpadami tekstylnymi, którymi są problematyczne odpady pochodzące z hodowli owiec oraz uprawy roślin włóknistych. Na bazie odpadów tekstylnych opracowano innowacyjną technologię wspomagania oszczędzania wody i roślinności roślinnej. Głównym celem pracy było określenie skuteczności preparatu BioWAG w warunkach polowych. W pracy przeanalizowano wpływ BioWAG na przyrosty świeżej i suchej masy, rozwój systemu korzeniowego oraz względną zawartość wody wybranych gatunków traw. Przeprowadzone badania potwierdziły wysoką efektywność opracowanej technologii. BioWAG zwiększyły

świeżą masę pędów traw o 230-420% i system korzeniowy o 130-200% w porównaniu z grupą kontrolną. Badania wykazały, że BioWAG są wysoce efektywną technologią wspomagającą vegetację roślin i oszczędzającą wodę. Dzięki ponownemu wykorzystaniu materiałów odpadowych opracowana technologia jest zgodna z założeniami gospodarki o obiegu zamkniętym i celami zrównoważonego rozwoju.

Przewodnik zawiera wnioski zebrane z prowadzonych badań. Jest ich dziewięć (w skrócie):

1. Biodegradowalne materiały włókiennicze mają duży potencjał aplikacyjny m.in. w inżynierii środowiska, rolnictwie oraz ogrodnictwie. Uwzględniając właściwości fizyczne, chemiczne, dostępność surowca oraz aspekty ekonomiczne do produkcji włókien stanowiących element BioWAG, wskazano odpadowe włókna wełny, juty i lnu.
2. We wszystkich wariantach BioWAG zaobserwowano spadek parametrów fizykochemicznych elementów BioWAG już po 6 miesiącach eksploatacji w glebie. W tym okresie włókniny igłowane utraciły swoją integralność, co uniemożliwiło wyznaczenie ich parametrów fizycznych. W przypadku włókien przesywanych zanotowano spadek wybranych parametrów fizycznych.
3. Uzyskane wyniki badań wskazują, iż w przypadku krótkoterminowych aplikacji, dobrze sprawdzą się włókniny wytwarzane techniką igłowania, które uległy intensywnej biodegradacji w trakcie pierwszego sezonu wegetacyjnego. W przypadku aplikacji obejmujących kilka sezonów wegetacyjnych, skuteczniejszym rozwiązaniem mogą okazać się włókniny przesywane, które wykazują lepsze właściwości mechaniczne oraz wyższą odporność na biodegradację.
4. Niezależnie od technologii wytwarzania i składu surowcowego, zastosowane włókniny charakteryzowały się trwałością pozwalającą na utrzymanie vegetacji i prawidłowego funkcjonowania BioWAG, przez co najmniej jeden sezon wegetacyjny. Czas biodegradacji był odpowiedni do prawidłowego rozwoju wybranych gatunków traw.
5. Na stanowiskach z BioWAG zaobserwowano wzrost żyzności gleby. Działanie BioWAG można porównać do nawozów o spowolnionym działaniu.
6. Składniki odżywcze uwalniane do gleby przez BioWAG były łatwo dostępne dla roślin. Przez trzy kolejne sezony wegetacyjne trawy charakteryzowały się istotnie wyższymi poborami wybranych mikro- i makroelementów (N, P, S, K) z gleby.
7. Aplikacja BioWAG pozytywnie wpłynęła na vegetację wybranych gatunków traw. W zależności od zastosowanego wariantu BioWAG przyrosty świeżej masy nadziemnych

części traw były wyższe: w I sezonie wegetacyjnym od 240 do 430%, w II sezonie wegetacyjnym od 200 do 300% oraz w III sezonie wegetacyjnym od 40 do 55% w porównaniu do kontroli (P3, P4).

8. Zastosowanie BioWAG sprzyjało intensywnemu rozwojowi systemu korzeniowego oraz ograniczeniu stresu wodnego wybranych gatunków traw. W zależności od zastosowanego wariantu BioWAG przyrosty suchej masy systemu korzeniowego traw były wyższe: w I sezonie wegetacyjnym od 130 do 220%, w II sezonie wegetacyjnym od 120 do 186% oraz w III sezonie wegetacyjnym od 73 do 120% w porównaniu do kontroli. Podczas trzech sezonów wegetacyjnych wartości wskaźnika RWC utrzymywały się na wyższym poziomie w porównaniu do stanowisk kontrolnych (P3, P4).
9. Przedstawione wyniki dają podstawę do wdrożenia rozwiązania, które pozwala zredukować dawkę nawodnień oraz nawozów niezbędnych do prawidłowego rozwoju wybranych gatunków traw, przy jednoczesnym uwzględnieniu założeń gospodarki cyrkulacyjnej oraz zasad zrównoważonego rozwoju.

Wnioski mają charakter zarówno poznawczy. Mam jednak dwie uwagi. Moim zdaniem pierwsze zdanie wniosku 1 jest stwierdzeniem tożsamym z tezą, który można udowodnić, niekoniecznie wynika z przeprowadzonych badań. Nie rozumiem też, co oznacza wyrażenie „spadek parametrów fizyko-chemicznych” we wniosku 2.

Uwagi ogólne

Doktorantka wykazała się umiejętnością zaprojektowania i przeprowadzenia badań naukowych. W bardzo dobrym stopniu opanowała współczesne narzędzia i techniki badawcze, wykorzystując je do przeprowadzenia kompleksowych analiz w założonym zakresie. Rozprawa ta stanowi kompleksowe omówienie zagadnienia wykorzystania geowłóknin jako materiałów retencjonujących wodę na potrzeby środowiska glebowego, co jest niezwykle istotne w spodziewanej trudnej sytuacji hydrologicznej gleb w kolejnych latach. Zauważyć należy umiejętność pracy zespołowej. Nie wnoszę innych uwag krytycznych, zwłaszcza, że prace zostały już poddane recenzjom w procesie wydawniczym. Niemniej jako przyczynek do dyskusji proszę doktorantkę o odpowiedź na kilka pytań.

1. Badany materiał zatrzymuje wodę dostępną dla roślin. Czy można wzbogacić BioWAG w dawkę nawozów, co jeszcze skuteczniej spowoduje wzrost organizmów? Jeżeli tak, to jak to zrobić?
2. Dlaczego w badaniach zastosowano mieszankę traw? Czy BioWAG mogą być stosowane do uprawy innych roślin?

Podsumowanie

Uważam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Darii Marczak pt.: „Trwałość biodegradowalnych geokompozytów sorbujących wodę”, prezentuje interesujące i nowatorskie wyniki badań. Jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego, zaś doktorantka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Uzyskane rezultaty mają charakter zarówno naukowy jak i praktyczny, wobec tego stanowią dobrą bazę do dalszych działań. Systematyka opisu eksperymentów, analiza i dyskusja wyników oraz wnioskowanie są prawidłowe. Powyżej wyszczególnione uwagi nie obniżają merytorycznej wartości pracy. Stwierdzam zatem, że rozprawa doktorska mgr inż. Darii Marczak pt.: „Trwałość biodegradowalnych geokompozytów sorbujących wodę”, spełnia wymogi stawiane zwyczajowo i normatywnie pracom doktorskim dlatego też wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Darii Marczak do dalszych etapów przewodu doktorskiego.