

dr hab. Marta Pogrzeba, prof. IETU
Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych
ul. Kossutha 6
40-844 Katowice

Katowice, 23.10.2023 r.

RECENZJA

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

wykonanej w Instytucie Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu pod kierunkiem dr hab. Krzysztofa Lejcusia, prof. UP oraz przy udziale promotora pomocniczej dr inż. Joanny Grzybowskiej-Pietras.

Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została przygotowana w odpowiedzi na zaproszenie do przygotowania recenzji Pani dr hab. inż. Justyny Hachoł, prof. UP, Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu z dnia 13 października 2023 roku.

Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Powierzona mi do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Darii Marczak została wykonana pod opieką naukową promotora dr hab. Krzysztofa Lejcusia, prof. UP oraz promotora pomocniczego dr inż. Joanny Grzybowskiej-Pietras. Opisane w doktoracie badania były finansowane w ramach projektu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju pt: „Hydrobox2.0 – innowacyjna technologia wspomagająca oszczędzanie wody i wegetację roślin”, (nr projektu POIR.04.01.04-00-0061/16, którego kierownikiem był dr hab. Krzysztof Lejcuś, prof. uczelni. W powyższym projekcie Pani mgr inż. Daria Marczak była wykonawcą.

Biorąc pod uwagę, że wszystkie publikacje zawarte w przedstawionej mi do oceny rozprawie doktorskiej zostały rzetelnie opracowane i pozytywnie ocenione przez recenzentów w procesie publikacyjnym i opublikowane w bardzo dobrych czasopismach naukowych o szerokim zasięgu międzynarodowym i wysokim współczynniku oddziaływania, skupię się na ocenie formalnej oraz merytorycznej rozprawy doktorskiej.

Ocena formalna

Przedstawiona do oceny dysertacja naukowa mgr inż. Darii Marczak, zgodnie w art. 187. Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 poz. 742 z późn. zm.), stanowi cykl 4 powiązanych tematycznie oryginalnych prac. Rozprawę doktorską opatrzone tytułem „Trwałość biodegradowalnych geokompozytów sorbujących wodę”, zaś przedział czasowy publikacji manuskryptów to lata 2020 – 2023.

Dysertacja w większości napisana jest w języku polskim, liczy 131 stron, wszystkie spośród załączonych artykułów naukowych stanowiących podstawę dysertacji są w języku angielskim. W skład dysertacji wchodzi zbiór czterech spójnych artykułów:

1. **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, lista Ministra, **140 pkt., IF 9.297**.
2. **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, lista Ministra, **200 pkt., IF 7.053**.
3. **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, Lista Ministra, **200 pkt., IF 9.800**.
4. **Marczak D.**, Lejcuś K., Lejcuś I., Misiewicz J. 2023. Sustainable Innovation: Turning Waste into Soil Additives. *Materials*. 16, 2900. DOI:10.3390/ma16072900, Lista Ministra, **140 pkt., IF 3.400**.

Doktorantka we wszystkich pracach jest pierwszym autorem. **Sumaryczny IF dysertacji wynosi 29.55, zaś punkty MEiN to 680**. Wkład Doktorantki w powstanie tych publikacji wynosi od 60 do 70%, co wskazuje, na wiodącą jej rolę w prowadzeniu przedstawionych w rozprawie doktorskiej badań. Jednocześnie potwierdzają to załączone do dysertacji oświadczenia wszystkich współautorów publikacji, w których jednoznacznie wskazano na rolę Doktorantki w opracowaniu koncepcji badań, wykonaniu analiz, opracowaniu danych, interpretacji wyników oraz przygotowaniu manuskryptów. Cykl publikacji poprzedzony został zwięzłymi i starannie przygotowanymi streszczeniami w językach polskim i angielskim, które obejmują wprowadzenie do istoty problemu zarówno w zakresie środowiska gruntowo-wodnego, jak i roślinnego. Dogłębna analiza badawcza pozwoliła na sformułowanie hipotezy badawczej tj. „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”. W celu zweryfikowania hipotezy Doktorantka określa dwa cele naukowe badań, gdzie w pierwszym celu znalazła się analiza biodegradowalności w warunkach rzeczywistych wybranych materiałów stanowiących element BioWAG, zaś w drugim ocena możliwości wykorzystania BioWAG do wspomaganie wegetacji wybranych gatunków traw. Dodatkowo dla uszczegółowienia prowadzonych doświadczeń Autorka wspomaga się celami szczegółowymi, które zostają dokładnie przypisane do konkretnych manuskryptów stanowiących dzieło doktorskie.

Ostatnim istotnym elementem pracy jest podsumowanie i wnioski. Doktorantka formułuje 9 wniosków z przeprowadzonych badań laboratoryjnych i terenowych, przy czym 4 wnioski przypisano do pojedynczych prac, zaś 5 z nich jest wynikiem badań zawartych przynajmniej w dwóch manuskryptach. Rozprawa zakończona jest spisem 124 pozycji najnowszej literatury,

z czego wszystkie pozycje są anglojęzyczne, zaś 10% zacytowanych manuskryptów powstało w zespole, w którym Doktorantka prowadziła badania. Do dysertacji dołączono wykaz dorobku naukowego i zawodowego Doktorantki oraz oświadczenia współautorów publikacji wchodzących w skład dysertacji. Opracowanie uzupełnione jest dokumentacją fotograficzną z przeprowadzonych badań.

Ocena merytoryczna

Powszechnie wiadomo, że zasoby wodne w Polsce są ograniczone, a narastająca presja na środowisko, głównie w wyniku rozwoju rolnictwa, przemysłu, procesu urbanizacji, negatywnie wzmacnianego przez zmiany klimatu, powoduje dodatkowe zagrożenia dla rosnącego zapotrzebowania na wodę. Zmiany klimatu objawiające się nasilającymi się całorocznymi suszami lub też nawałnymi deszczami, które nieraz prowadzą do katastrof ekologicznych, zmuszają do radykalnego przemodelowania tradycyjnego podejścia do zarządzania wodą na terenach rolnych, terenach zdegradowanych, czy poddanych rekultywacji, ale również w przestrzeni miejskiej. Do tej pory działania prowadzone w obszarze gospodarki wodnej skupiały się głównie na ograniczeniu zagrożenia powodziowego i emisji zanieczyszczeń. Stosowano przede wszystkim systemy odwadniające, a działania polegało na odprowadzaniu nadmiarów wody, czy to z użytków rolnych czy też szeroko pojętych budowli ziemnych. Oczywiście to rozwiązanie jest nadal stosowane zwłaszcza w przypadku trwale zabetonowanych powierzchni w środowisku, takich jak koryta cieków wodnych czy przestrzenie w miastach, ale konieczne jest wzmacnianie rozwiązań inżynierjno-technicznych, które pozwolą zatrzymać najwięcej wody odpadowej w całym środowisku. Tworząc małe rezerwuary wody, jesteśmy w stanie roślinom w okresach suszy zapewnić przetrwanie, a jednocześnie zwiększać zasób wód dostępnych dla innych elementów przyrody żywej. Dlatego racjonalne gospodarowanie wodą jest w dzisiejszych czasach nie tylko wyzwaniem dla właścicieli gruntów, gleb czy terenów rolnych, ale zwłaszcza dla samorządów i włodarzy miast.

Rozwiązania systemowe w zakresie zrównoważonej gospodarki wodnej pozwolą nie tylko osiągnąć Cele Zrównoważonego Rozwoju ONZ, ale wspomogą realizację priorytetów Europejskiego Zielonego Ładu, w których wprost zapisano: „że, niezbędna jest transdyscyplinarna integracja wiedzy oraz wykorzystanie własności ekosystemów jako innowacyjnych komplementarnych dla hydro-inżynierii narzędzi w gospodarce wodnej i zarządzaniu środowiskiem. Są to tzw. Ekohydrologiczne Rozwiązania Bliskie Naturze EH RBN, ang. Ecohydrological Nature-Based Solutions.

Takim rozwiązaniem dla szeroko pojętej biogospodarki, mogą być opracowane w roku 2014 w Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu geokompozyty sorbujące wodę (WAG), bazujące na zasadzie pobierania i oddawania wody do środowiska. Budowa WAG pozwala nie tylko na wielokrotne magazynowanie i oddawanie wody czyli zmianę objętości, co odbywa się z wykorzystaniem superabsorbenta polimerowego, który otoczony przez geowłókninę i wzmocniony szkieletem siatki lub maty może pełnić również rolę rezerwuaru wody dla roślin.

Wynalazek WAG dał początek nie tylko komercjalizacji ww. rozwiązania, które było docenione wieloma nagrodami krajowymi i międzynarodowymi, ale pozwolił również na sformułowanie wielu dodatkowych pytań badawczych, związanych nie tylko z trwałością tego rozwiązania w środowisku naturalnym, ale również interakcji elementów wykorzystanych w tym wynalazku w warunkach zmieniającego się stale środowiska wodno-gruntowego. Mankamentem jednak tego rozwiązania było wykorzystanie materiałów syntetycznych do jego produkcji, co w dobie ograniczania produkcji odpadów i wprowadzania Gospodarki Obiegu Zamkniętego i idei „zero waste” wymusza poszukiwanie i zastąpienie syntetyków, biodegradowalnymi materiałami zastępczymi. Problemy dotyczące zanieczyszczenia środowiska tworzywami sztucznymi, duży potencjał materiałów biodegradowalnych oraz zapotrzebowanie rynku, stanowiły istotną motywację dla Zespołu do opracowania nowej biodegradowalnej wersji geokompozytów sorbujących wodę (BioWAG). W związku z powyższym w niniejszej rozprawie podjęto się badań nad określeniem właściwości BioWAG.

Badania podjęte przez Autorkę są szczególnie ważne w celu ulepszenia i stworzenia takich geokompozytów, które w okresie funkcjonowania nie będą negatywnie oddziaływać na środowisko glebowe. Pytania badawcze postawione przez Doktorantkę w celu weryfikacji zastosowania w BioWAG materiałów biodegradowalnych i ich wpływu na roślinność wybranych gatunków traw oraz ocenę stopnia ich biodegradacji w jednostce czasu dotyczą innowacyjności zaproponowanego rozwiązania. Takie rozwiązanie może nie tylko wpłynąć na stworzenie bezpiecznego magazynu wody dla roślin, ale również po czasie wykorzystania przez rośliny, nie będą stanowiły balastu dla środowiska. **Tematyka rozprawy jest zatem bardzo aktualna, pozwala zwalidować produkt bezpieczny dla środowiska glebowego i odpowiadający na wyzwania obecnych czasów w zakresie racjonalnego zarządzania wodą w środowisku gruntowo-wodnym oraz ograniczenia odpadów wprowadzanych do środowiska. Efekty tych badań mogą być bezpośrednio stosowane w inżynierii środowiska, jak i w jego ochronie i kształtowaniu.**

Poza czterema publikacjami ważną częścią merytoryczną pracy jest wprowadzenie. We wstępie Autorka wprowadza czytelnika w studium nad dodatkami stosowanymi w glebie, w celu zatrzymywania wody, zwiększenia retencji i poprawy struktury gleby, które mogą niewątpliwie pomóc nie tylko w rolnictwie, ale zagospodarowaniu terenów zielonych, co jest niezmiernie ważne w adaptacji miast do postępujących zmian klimatu. Wymienia tu zeolity, attapulgit, bentonity czy superabsorbenty polimerowe, zwracając uwagę na ich cechy fizykochemiczne oraz możliwości zastosowania. Co potwierdza przytoczona literatura oraz badania prowadzone w instytucie inżynierii, hydrozele pozostają najlepszym wyborem spośród dostępnych materiałów, ze względu na dużą efektywność wykorzystania wody i składników odżywczych, poprzez ograniczenie parowania, infiltracji i ich wypłukiwania w głąb profilu glebowego. Kolejno we wprowadzeniu Doktorantka podaje dane dotyczące geotekstyliów w tym geowłóknin, które mogą pełnić szereg funkcji, w tym: hydrauliczne (drenaż, filtracja), mechaniczne (wzmocnienie, zbrojenie, zabezpieczenie przeciwoerozyjne, separacja) oraz biologiczne (ochrona, rekultywacja). Jest to niezmiernie ważna rola, ponieważ w większości

zarówno obiekty ziemne jak i tereny do rekultywacji charakteryzują się występowaniem gleb o niskich zdolnościach retencyjnych i żyzności, w których składniki odżywcze są łatwo wymywane w profilu glebowym, a przez to są niedostępne dla systemu korzeniowego roślin, zwłaszcza w okresach wysokich temperatur letnich i zjawiska okresowej suszy. Autorka podnosi również we wprowadzeniu bardzo ważny aspekt zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego w tym wodnego i glebowego geosyntetykami, stosowanymi coraz powszechniej w rolnictwie i gospodarce. Podniesienie problemu zanieczyszczenia środowiska cząsteczkami tworzyw sztucznych świadczy nie tylko o wnikliwym i krytycznym podejściu do proponowanych rozwiązań, ale daje również możliwość skierowania uwagi na zastąpienie ich produktami biodegradowalnymi. W części pracy dotyczącej materiałów biodegradowalnych znalazła się szeroka ich charakterystyka, włącznie z uwzględnieniem funkcji czasu ich rozkładu, która powinna być skorelowana ze stopniową poprawą właściwości gleb/gruntów, w których są stosowane. Ostatecznie we wprowadzeniu Autorka szeroko omawia nowe rozwiązanie dla gleb niskiej jakości czy rekultywowanych tj. geokompozyt sorbuujący wodę (tzw. WAG). Podkreśla uniwersalność tego rozwiązania nie tylko w konstrukcjach inżynierskich tj. wałach przeciwpowodziowych czy nasypach drogowych, ale również terenach zdegradowanych, zurbanizowanych czy wybranych gałęziach rolnictwa oraz ogrodnictwa. WAG-i były produkowane do tej pory tylko z materiałów syntetycznych istnieje zatem konieczność opracowania biodegradowalnej wersji geokompozytów sorbuujących wodę (BioWAG). Ta część dysertacji jest przygotowana bardzo dobrze, dogłębne omówienie przesłanek, które skłoniły Autorkę do zajęcia się opracowaniem nowego rozwiązania świadczy o wnikliwym rozpoznaniu problemu, jest napisana zwięźle i zrozumiale.

Dobrze przeprowadzone studia literaturowe pozwoliły na sformułowanie hipotezy badawczej dla zweryfikowania której wyznaczono cel naukowy, w którym wyodrębniono cztery cele szczegółowe. Cel naukowy wraz z celami szczegółowymi dysertacji jest poprawnie i logicznie sformułowany, a przypisanie celów szczegółowych do konkretnych elementów środowiska, tj., środowiska glebowego oraz środowiska przyrody ożywionej, czyli roślin, systematyzuje pracę.

W rozdziale „Organizacja badań” schemat dotyczący etapów przeprowadzonych badań z wyszczególnieniem ich celu, zakresu oraz zastosowanych metod badawczych i przyporządkowanie do konkretnej publikacji stanowiącej element dysertacji, pozwala na swobodną weryfikację przez recenzenta nie tylko założonej hipotezy badawczej, ale również adekwatności zastosowanych metod badawczych do jej udowodnienia.

Doktorantka w publikacji P1 szczegółowo opisała i przeanalizowała dane dotyczące najczęściej stosowanych włókien naturalnych pochodzenia roślinnego (z roślin: len, juta, konopie, kenaf, kokos, bawełna, palma, sizal, pszenica, ryż, bambus) i zwierzęcego (wełna) oraz biopolimerów (PLA, PHA, PCL, PHB, PBS, CA). W publikacji tej bardzo dobrze usystematyzowano dostępną wiedzę na temat właściwości tych włókien, w tym scharakteryzowano źródło ich pochodzenia, parametry chemiczne i fizyczne, potencjalny czas biodegradacji w warunkach kontrolowanych i rzeczywistych. Autorka dokonała również przeglądu dostępnych metod mechanicznej

i chemicznej modyfikacji włókien roślinnych i zwierzęcych. Ponadto zidentyfikowała przyszłe trendy oraz kluczowe zagadnienia, które należy rozwiązać, aby umożliwić powszechne stosowanie materiałów biodegradowalnych w środowisku. Wyniki zaprezentowane w publikacji **P1** dostarczyły istotnych informacji niezbędnych do opracowania elementów BioWAG, uwzględniając właściwości chemiczne, fizyczne, dostępność oraz aspekty ekonomiczne produkcji włókien stanowiących element BioWAG. Na tej podstawie do badań wytypowano włókna wełny, juty oraz lnu. **Rozpoczęcie badań nad ulepszeniem BioWAG poprzez przegląd literatury, a w zasadzie przygotowany manuskrypt w formie Critical Review (mimo iż tak nie jest nazwany), było niewątpliwie bardzo dobrą decyzją, która umożliwiła nie tylko stworzenie dobrego warsztatu metodologicznego Autorce, ale ostatecznie przyczyniła się do wyboru materiałów do badań. Podkreślić należy, że publikacja jest na bardzo wysokim poziomie, co nie byłoby możliwe bez wsparcia i właściwego pokierowania przygotowaniem manuskryptu przez promotora pracy prof. UP Krzysztofa Lejcusia oraz promotora pomocniczej.**

W drugim etapie badań, z których powstały publikacje **P2** i **P3**, z wytypowanych włókien naturalnych, Autorka wyprodukowała włókniny, które następnie zaimplementowała w BioWAG i w kilku wariantach zastosowała w doświadczeniu polowym. Celem tego etapu było określenie zmian parametrów fizyko-chemicznych zachodzących we włókninach i pozostałych elementach BioWAG pod wpływem wybranych czynników środowiskowych. Ponadto, Doktorantka przeanalizowała wybrane procesy towarzyszące biodegradacji zastosowanych materiałów oraz ich wpływ na vegetację roślin. W badaniach tych jednoznacznie wskazała, że w zależności od technologii wytwarzania włókien, które stanowiły element BioWAG, obserwowano wyraźne różnice w stopniu i tempie ich biodegradacji. Po jednym sezonie vegetacyjnym wszystkie analizowane warianty włókien uległy częściowej biodegradacji, zaś w przypadku włókien igłowanych, niezależnie od rodzaju zastosowanego surowca, materiały już po 6 miesiącach aplikacji do gleby, uległy silnej biodegradacji, bez możliwości ich wyodrębnienia w glebie. Dokumentacja fotograficzna jednoznacznie wskazuje, że wzrost i rozwój traw przebiegał bardzo dobrze, zwłaszcza rozwinął się system korzeniowy tworząc zwartą matę. Badania dotyczące stopnia degradacji włókien, ich odporności na przebicie oraz wodoprzepuszczalności zależały od składu materiału (włókniny) oraz technologii produkcji. **Bardzo dobra poglądowa dokumentacja fotograficzna wyglądu BioWAG po 6 miesięcznej aplikacji w glebie potwierdza, że materiał ten może być uznany za biodegradowalny, a wyglądem po długoterminowej aplikacji przypomina zmineralizowaną materię organiczną roślin np. energetycznych lub przemysłowych (liście miskanta olbrzymiego lub konopi siewnych).**

Ocena zmiany struktury chemicznej badanych materiałów biodegradowalnych po okresie aplikacji w glebie z wykorzystaniem spektroskopii FTIR, jednoznacznie wskazało, że Pani mgr inż., opanowała warsztat badawczy w stopniu bardzo dobrym i oprócz typowych metod analitycznych jest w stanie wykorzystać nowe narzędzia badawcze, których dokładność może być porównywana do innych znanych technik molekularnych. Wyniki badań białka

keratyny, które powstaje podczas biodegradacji wełny z udziałem mikroorganizmów glebowych wskazały jego przekształcenie w związki możliwe do pobrania przez system korzeniowy roślin. Ponadto Autorka zaobserwowała stopniowe uwalnianie składników bogatych w azot z zachowaniem charakterystycznej budowy chemicznej keratyny **(P2)**.

W publikacji **(P3)** potwierdzono na podstawie składu chemicznego gleby, iż BioWAG zachowały swoją skuteczność w zakresie wspomaganie roślin przez trzy sezony wegetacyjne. Na stanowiskach z BioWAG zaobserwowano wyraźny wzrost żyzności gleby w oparciu o analizy mikro- i makroskładników. Najistotniejsze różnice w składzie chemicznym odnotowano dla fosforu, którego zawartość po trzech sezonach wegetacyjnych była wyższa od 26 do 81% w porównaniu do kontroli. Istotne różnice zaobserwowano również w przypadku azotu i magnezu. Zastosowanie BioWAG nie wpłynęło istotnie na zmiany w odczynie gleby. W publikacji **P3** Doktorantka oceniła również redukcję zdolności sorpcyjnych SAP w czasie. Po pierwszym roku zaobserwowano największy spadek zdolności sorpcyjnych SAP, który wyniósł ponad 70%. Po kolejnym roku użytkowania w podłożu nie zaobserwowano tak dynamicznych zmian, a redukcja zdolności sorpcyjnych wynosiła około 75% w porównaniu do wzorca. Po trzech latach SAP zachował zaledwie 17% pierwotnej chłonności.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że oprócz metod konwencjonalnych i powszechnie znanych autorka wykorzystała metodę Tea bag (wprowadzoną w roku 2016), którą stosuje się również w ocenie mineralizacji materii organicznej w układach eksperymentalnych z glebą i roślinami. Potwierdza to bogaty warsztat metodologiczny jakim dysponuje Doktorantka **(P3)**.

W ostatnim, trzecim etapie badań, który prowadzono równoległe do drugiego, Autorka przeanalizowała wpływ BioWAG na wzrost i rozwój wybranych gatunków traw **(P3 i P4)**. Badania prowadzono w terenie przez trzy sezony wegetacyjne, co pozwoliło kompleksowo ocenić skuteczność technologii. Na stanowiskach z BioWAG trawa tworzyła zwartą darń w przeciwieństwie do stanowisk kontrolnych. W przypadku zastosowania BioWAG odnotowano zwiększenie przyrostów biomasy roślin w pierwszym roku doświadczenia od 240 do 430%, w porównaniu do stanowisk kontrolnych. W kolejnych latach przyrosty świeżej masy traw były wyższe o 200-300% oraz 40-55% **(P3)**.

Wyniki przedstawione w publikacjach P3 i P4 wskazują na bardzo wysoką skuteczność opracowanej technologii, w porównaniu do tradycyjnej metody aplikacji SAP (poprzez bezpośrednie mieszanie z glebą) lub innych dodatków doglebowych.

Uzyskane badania dotyczące oceny działania innowacyjnego biodegradowalnego geokompozytu sorbującego wodę (BioWAG) w układzie gleba-roślina mają bezpośrednie znaczenie użytkowe i praktyczne oraz są najważniejszym osiągnięciem przedstawionej mi do oceny dysertacji.

We wszystkich przedstawionych mi do oceny badaniach jednoznacznie stwierdzam, że przyjęta metodyka oraz prace eksperymentalne zostały zaplanowane prawidłowo i szczegółowo oraz wykonane bardzo starannie.

Założenie doświadczeń *in situ* wymagało od Doktorantki dużej pracy oraz konsekwencji w prowadzeniu monitoringu i postępów prac pod okiem Promotora. Ilość oznaczeń jakie

Autorka wykonała na jednostkach eksperymentalnych przyjętych do badań oraz całkowita pracochłonność związana z poborem próbek i ich analizą, tak, aby oznaczyć wszystkie założone parametry, które ostatecznie miały zweryfikować założoną hipotezę badawczą i potwierdzić cele, była bardzo duża.

W dalszej części rozprawy doktorskiej Autorka formułuje szczegółowe wnioski z konkretnych eksperymentów omawiając je w kolejności od publikacji nr 1 do publikacji nr 4. Wnioski są sformułowane prawidłowo, forma przedstawienia jest odpowiednia, bo czytający może odnosić je bezpośrednio nie tylko do założonego planu badawczego, celów badawczych, ale i konkretnych publikacji.

Za najważniejsze osiągnięcia Doktorantki przedstawione w rozprawie, stanowiące jednocześnie element nowości naukowej i wzbogacenie obecnego stanu wiedzy w tym zakresie uważam:

- potwierdzenie, że 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 (**P1**),
- wskazanie obniżenia lub utraty parametrów fizyko-chemicznych elementów BioWAG już po 6 miesiącach od aplikacji do gleby, przy czym włókniny igłowane utraciły swoją integralność, co uniemożliwiło wyznaczenie ich parametrów fizycznych, zaś u włókien przesywanych zanotowano spadek wybranych parametrów fizycznych, m.in. redukcję masy powierzchniowej o ponad 84% dla przesywanej włókniny z wełny (BA) oraz o 54% dla przesywanej włókniny z wełny i juty (BD) (**P2**),
- zależność czasu aplikacji do gleby dla stosowanych włókien i sposobów ich produkcji, - dla krótkoterminowych aplikacji (1 sezon wegetacyjny), dobrze sprawdzą się włókniny wytwarzane techniką igłowania, zaś w przypadku aplikacji obejmujących kilka sezonów wegetacyjnych (powyżej 6 miesięcy), skutecznierozwiązaniem mogą okazać się włókniny przesywane, które wykazują lepsze właściwości mechaniczne oraz wyższą odporność na biodegradację (**P2**),
- wzrost żyzności gleby, po trzech sezonach wegetacyjnych, w zależności od zastosowanego wariantu BioWAG, zawartość fosforu była wyższa w porównaniu do kontroli od 26 do 81% zaś azotu od 15 do 70%. Działanie BioWAG można porównać do nawozów o spowolnionym działaniu (**P3**),
- wzrost roślin był stymulowany przez uwalnianie przez BioWAG mikro- i makroelementy (azot, fosfor, siarka i potas), efekt obserwowano przez 3 sezony wegetacyjne, trawy charakteryzowały się istotnie wyższymi zawartościami pierwiastków,
- aplikacja BioWAG pozytywnie wpłynęła na wegetację 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),

- 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).

Podsumowując przedstawione wyniki badań dają podstawę do wdrożenia rozwiązania BioWAG w biogospodarce, z jednoczesnym ograniczeniem kosztów związanych z podlewaniem i nawożeniem roślin oraz wpisanie rozwiązania jako elementu spełniającego założenia strategii GOZ z zachowaniem zasad zrównoważonego rozwoju (P2, P3, P4).

Z recenzenckiego obowiązku wymienię poniżej kilka drobnych niedociągnięć, które zauważyłam:

- Doktorantka kilkakrotnie (str. 6, 14, 32, 34) do opisu roli roślin w budowlach ziemnych stosuje stwierdzenie: „rośliny stanowią istotny element ubezpieczenia biotechnicznego budowli ziemnych” nie wiem czy w literaturze przedmiotu jest takie stwierdzenie jak „ubezpieczenie”, moim zdaniem bardziej pasuje tu słowo zabezpieczenia biotechnicznego budowli ziemnych, jest ono zdecydowanie bardziej zrozumiałe i powszechne, wprawdzie wśród synonimów słowa ubezpieczenie możemy znaleźć w słowniku języka polskiego: zabezpieczenie, osłona, ochrona, wydaje mi się jednak, że słowo to w odniesieniu do budowli ziemnych i roli roślin w ich zabezpieczaniu jest niefortunne,
- we wstępie dotyczącym materiałów biodegradowalnych znalazło się sformułowanie „stopniowe uwalnianie wilgoci do gleby w okresach niedoboru wody”, trochę niefortunne, można by go zastąpić „stopniowe uwalnianie wody do gleby w okresach jej niedoboru”,
- na str. 12 chyba omyłkowo podana nazwa geokompozytem absorbującym wodę (WAG), zamiast geokompozyt sorbuujący wodę, tak jak podano w skrótach i akronimach na str. 7,
- Doktorantka używa w opisie dysertacji stwierdzenia „odpowiednio dobranej mieszanki traw i podaje skład gatunkowy (65% *Lolium perenne*; 5% *Poa pratensis*; 20% *Festuca rubra*; 5% *Festuca ovina*), brakuje mi w tym opisie wytłumaczenia choćby jednym zdaniem, co to znaczy odpowiednio dobrana mieszanka traw, czy ta mieszanka była proponowana przez producenta do obsiewów skarp, do rekultywacji czy na gleby ciężkie, nie ma takiego wytłumaczenia, chyba, że dobór składu gatunkowego traw to wynik własnych badań zespołu, taka informacja powinna znaleźć się w opisie,
- w rozdziale 3 – "Organizacja Badań i opisu doświadczenia polowego nie ma informacji na temat wymiarów poletka doświadczalnego, wydzielonych z niego bloków doświadczalnych oraz stref buforowych, podana jest wyłącznie informacja, że były one jednakowych wymiarów, takie informacje są niezbędne w celu nie tylko oceny czy jednostki

eksperymentalne były wiarygodnie wyznaczone, ale również przyszłej skalowalności wyników tego eksperymentu,

- w tym samym rozdziale niefortunne stwierdzenie dotyczące podlewania roślin do fazy skielkowania nasion, zamiast „Nawodnienia prowadzono wyłącznie we wczesnej fazie doświadczenia, tzn. do momentu wzejścia traw” powinno być „Podlewanie roślin prowadzono do momentu skielkowania nasion traw”
- sugerowałabym, aby zamiast w pracy używać stwierdzenia „stan BioWAG po eksploatacji w glebie” (8 razy użyte sformułowanie) poprawnie powinno być „stan BioWAG po 6 miesiącach od aplikacji do gleby”,
- wymienione w opisie dysertacji włókna, w zdaniu na str. 23: „W publikacji P1 szczegółowo opisano i przeanalizowano dane dotyczące najczęściej stosowanych włókien naturalnych (len, juta, konopie, kenaf, kokos, bawełna, palma, sisal, pszenica, ryż, bambus i wełna) oraz biopolimerów (PLA, PHA, PCL, PHB, PBS, CA)”, są de facto roślinami, z których te włókna się pozyskuje. Zatem zdanie powinno brzmieć: „W publikacji P1 szczegółowo opisano i przeanalizowano dane dotyczące najczęściej stosowanych włókien naturalnych pochodzenia roślinnego (pozyskane z roślin: len, juta, konopie, kenaf, kokos, bawełna, palma, sisal, pszenica, ryż, bambus) i zwierzęcego (wełna) oraz biopolimerów (PLA, PHA, PCL, PHB, PBS, CA),
- we wniosku 6 zamiast: „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 (P3)”, zamiast słowa „poborami” powinno być „zawartościami”,
- na str. 27 pomyłka w nazwie badań, tzw. czeski błąd : „Badania FITR wykazały biologiczną aktywność składników uwalnianych z włókien i ich dostępność w przynajmniej kolejnym sezonie wegetacyjnym”, powinno być FTIR,
- na str. 29 niefortunne słowo: „Na stanowiskach z BioWAG darnina tworzyła gęstą, zwartą strukturę o intensywnie zielonej barwie, w przeciwieństwie do stanowisk kontrolnych”, brzmiało by lepiej trawa tworzyła zwartą darń.

Mimo powyższych błędów, praca jest przygotowana bardzo starannie, z niewielką ilością błędów interpunkcyjnych i stylistycznych.

W przyszłości w uzupełnieniu badań nad wpływem biodegradowalnych geokompozytów sorbujących wodę (BioWAG) można zająć się oceną wpływu tego rozwiązania na parametry fizjologiczne roślin (poziom fotosyntezy, barwników asymilacyjnych) uzupełniłoby to znacznie wiedzę dotyczącą aklimatyzacji roślin w obecności BioWAG, ale również ich reakcji na zmieniające się warunki klimatu. Dobrze byłoby również ocenić jak zmienia się mikrobiom gleby po aplikacji BioWAG i czy wspiera on rozwój właściwych szczepów bakterii, wzmacnia mikoryzację korzeni z grzybami, a eliminuje, poprzez odpowiednie zaopatrzenie w wodę i dobrostan roślin, patogeny i choroby.

Podsumowując, stwierdzam, że **praca pod względem merytorycznym nie budzi żadnych zastrzeżeń i napisana jest na bardzo dobrym poziomie naukowym. Ponadto opublikowane**

prace są w czasopismach o bardzo wysokim współczynniku oddziaływania, a suma punktów ministerialnych jest bardzo wysoka. Wskazuje to jednoznacznie na bardzo dobrą opiekę Państwa Promotorów. **Bardzo ważne są uylitarne aspekty prowadzonych badań, które jednoznacznie wskazały, że BioWAG jest nowej generacji biodegradowalnym geokompozystm sorbującym wodę, który oprócz głównej funkcji zatrzymywania i oddawania wody roślinom, jest biodegradowalny w zależności od czasu aplikacji do gleby i zastosowań oraz wspomaga wegetację roślin poprzez uwalnianie w trakcie rozkładu mikro- i makroelementy konieczne do ich prawidłowego wzrostu. Zaproponowana innowacja może być z powodzeniem wykorzystana w rolnictwie, ogrodnictwie, rekultywacji terenów zdegradowanych i zanieczyszczonych oraz na wszelkiego rodzaju glebach marginalnych, na których rośliny wymagają nie tylko dodatkowego podlewania, ale i nawożenia.**

Dorobek naukowy i zawodowy Doktorantki

Dane bibliometryczne Doktorantki w bazie Web of Science Core Collection mimo, iż nie podlegają ocenie w procesie recenzji pracy doktorskiej są **bardzo dobre**. Jak na młodego pracownika naukowego współautorstwo w 8 publikacjach indeksowanych angielskojęzycznych (w tym 4 prace wchodzące w skład dysertacji), **zasługuje na wyróżnienie**. **Sumaryczny IF Doktorantki wynosi 40.571**, zaś suma punktów **MEiN wynosi 1107 punktów**. Publikacje Doktorantki były cytowane w 78 pracach (89 cytowań), a index Hirscha Pani mgr inż. wynosi 5. Doktorantka brała czynny udział w pięciu projektach, jednego finansowanego ze środków POIR, trzech z udziałem środków UE w tym: dwóch w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich oraz jednego Horyzont Europa, jako wykonawca. W jednym z projektów finansowanych z NCN – projekt Preludium, Pani mgr inż. była kierownikiem projektu. Na uwagę zasługuje również duża aktywność Doktorantki w rozpowszechnianiu wyników badań poprzez bezpośrednie uczestnictwo w jedenastu konferencjach, w tym 9 krajowych i 2 międzynarodowych. Dodatkowo Pani mgr inż. była wyróżniona 4-krotnie w tym przez: Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego (stypendium doktoranckie), Prezydenta Miasta Wrocław (dwukrotnie - stypendium i osiągnięcia w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych) oraz w roku bieżącym przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej (FNP). **Pani mgr inż. Daria Marczak swoim dorobkiem i zaangażowaniem w pracach grupy badawczej prof. UP Krzysztofa Lejcusia potwierdziła, że jest i będzie świetnie rozwijającym się naukowcem.**

Wniosek końcowy

Podsumowując, rozprawa doktorska Pani mgr inż. Darii Marczak stanowi samodzielne rozwiązanie problemu badawczego przy użyciu adekwatnej metodyki badań, co jest ustawowym wymaganiami stawianym rozprawom doktorskim. Tematyka rozprawy w pełni wpisuje się w dyscyplinę inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Stwierdzam, że przedstawiony do oceny cykl czterech prac stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej pt. „Trwałość biodegradowalnych geokompozytów sorbujących wodę” spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim określonym w art. 187. ust 1 i 2 Ustawy

z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 poz. 742 z późn. zm.).

Zwracam się zatem do Wysokiej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu o dopuszczenie mgr inż. Darii Matczak do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie stwierdzam, że miałam przyjemność recenzowania pracy, którą uznaję za wyróżniającą. Przedstawione wyniki nie pozostawiają żadnej wątpliwości co do wysokiego poziomu naukowego Doktorantki oraz jakości merytorycznej przeprowadzonych badań potwierdzonym jej opublikowaniem w bardzo dobrych czasopismach naukowych. Dlatego też **stawiam wniosek i proszę** Wysoką Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu **o wyróżnienie recenzowanej pracy stosowną nagrodą.**

dr hab. Marta Pogrzeba, prof. IETU