Prof. dr hab. Andrzej Łachacz
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Wydział Rolnictwa i Leśnictwa
Katedra Gleboznawstwa i Mikrobiologii
pl. Łódzki 3
10-727 Olsztyn

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra Rafała Mazura

pt. „Deformacja powierzchni gleby w wyniku uderzenia kropli wody"

Recenzję wykonano na podstawie decyzji Rady Naukowej Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie z dnia 22 czerwca 2026 r. (pismo nr RN-431-2/26 z dnia 30.06.2026 r.). Rozprawa doktorska została przygotowana w Zakładzie Biogeochemii Środowiska Przyrodniczego Instytutu Agrofizyki pod kierunkiem Promotora: dr hab. Magdaleny Ryżak prof. IA PAN oraz Promotora pomocniczego: dr hab. inż. Agaty Sochan.

1. Wybór tematu i jego uzasadnienie

Erozja gleby uznawana jest za jedno z głównych zagrożeń środowiska. Czynniki powodujące erozję wiążą się z działaniem wody, wiatru, ruchów masowych oraz przemieszczaniem lodowców. Erozja wodna wraz z erozją wietrzną odpowiada za największe straty, prowadzi do degradacji gleby poprzez odspojenie i przemieszczenie cząstek glebowych, które zostają następnie zdeponowane w nowej lokalizacji. W ekstremalnych sytuacjach proces ten może prowadzić do niszczenia całych profili glebowych. Przewiduje się, że zmiany klimatyczne mogą przyczynić się do powiększenia strat gleb w wyniku erozji. W przypadku Polski ryzyko wystąpienia erozji wodnej dotyczy ok. 30% obszaru kraju.

Początkowym etapem erozji wodnej jest rozbryzg wywoływany opadem atmosferycznym. Cząstki gleby po uderzeniu kropli przemieszczane są zwykle na niewielkie odległości, chociaż w pewnych warunkach mogą sięgać nawet kilku metrów. Na zjawisko rozbryzgu składają się wybicie materiału glebowego, niszczenie agregatów glebowych, lokalne zagęszczenie gleby oraz deformacja powierzchni czyli powstawanie kraterów. Głównym

elementem deformacji powierzchni gleby jest zagłębienie formowane w miejscu uderzenia kropli. Zagłębienie to może być częściowo lub całkowicie otoczone wałem utworzonym z przemieszczonego materiału. Znaczenie kraterów w procesie erozji wodnej można rozpatrywać w kilku aspektach. Kratery są jedną z najwcześniejszych zmian zachodzących na powierzchni terenu w wyniku opadu atmosferycznego. Materiał glebowy usunięty z ich wnętrza i obrzeży zasila materiał przemieszczany w początkowych etapach erozji. Formowanie kraterów jest ważnym elementem bilansu energetycznego zjawiska rozbryzgu. Powstawanie kraterów wiąże się z lokalnym zagęszczeniem gleby mogącym inicjować proces jej uszczelnienia, który prowadzi do uruchomienia spływu powierzchniowego i kolejnych etapów erozji wodnej. Ponadto deformacja powierzchni przez kroplę jest powiązana z rozprzestrzenianiem się zanieczyszczeń i mikroorganizmów, w tym patogenów.

Dotychczasowe badania erozji gleby, w tym badania dotyczące zjawiska rozbryzgu, stosunkowo rzadko podejmowały zagadnienie powstawania kraterów. Wynikało to ze specyfiki tego typu deformacji, tj. ich niewielkich rozmiarów, podatności na uszkodzenie w czasie pomiaru oraz dużej dynamiki zjawisk związanych z ich formowaniem. Rozwój aparatury i technologii pomiarowych pozwolił pokonać powyższe ograniczenia, stwarzając możliwości uzupełnienia dotychczasowych luk w stanie wiedzy. Stopniowo rezygnowano z manualnych metod pomiaru, w miejsce których pojawiły się znacznie dokładniejsze metody bezdotykowe, takie jak skanery i profilometry.

W związku z powyższym, należy uznać za uzasadnione podjęcie przez Autora recenzowanej pracy szczegółowych badań dotyczących deformacji powierzchni gleby w wyniku uderzenia kropli wody jako pierwszego etapu erozji wodnej. Oceniana rozprawa jest próbą wypełnienia luki w wiedzy i przyczynia się do lepszego poznania zagadnień ważnych z naukowego i utylitarnego punktu widzenia. Tytuł rozprawy dobrze oddaje zawarte w niej treści.

2. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgra Rafała Mazura stanowi oprawiony maszynopis liczący 109 stron. Zawiera ona następujące rozdziały: Wstep; Cel i hipotezy rozprawy doktorskiej; Materiały i metody; Omówienie wyników i treści publikacji; Podsumowanie i wnioski; Bibliografia; Tekst czterech publikacji; Oświadczenia autora i współatorów oraz Streszczenia w języku polskim i angielskim. Podstawą osiągnięcia naukowego będącego przedmiotem oceny są cztery publikacje naukowe:

P-1. Mazur R., Ryżak M., Sochan A., Beczek M., Polakowski C., Bieganowski A. ***Soil Deformation after Water Drop Impact – A Review of the Measurement Methods***. SENSORS 2023, 23(1), 121. DOI 10.3390/s23010121.

Impact Factor (2023): 3,4; Punktacja MEiN (w roku wydania): 100 punktów.

P-2. Mazur R., Ryżak M., Sochan A., Marciszuk K., Beczek M., Lamorski K., Bieganowski A. ***Surface deformation and displacement of bed elements during splash – Model tests.*** CATENA 2020, 185, 104277.DOI:10.1016/j.catena.2019.104277.

Impact Factor (2020): 5,198; Punktacja MNiSW (w roku wydania):140 punktów.

P-3. Mazur R., Ryżak M., Sochan A., Beczek M., Polakowski C., Przysucha B., Bieganowski A. ***Soil Deformation after One Water-Drop Impact – The Effect of Texture and Soil Moisture Content.*** GEODERMA 2022, 417, 115838. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.115838.

Impact Factor (2022): 6,1; Punktacja MEiN (w roku wydania): 200 punktów.

P-4. Mazur M., Ryżak M., Sochan A., Beczek M., Polakowski C., Bieganowski A. ***The potential effect of temperature on surface deformation after water drop impact in soils with different texture and moisture content.*** CATENA 2025, 255, 109005. DOI: 10.1016/j.catena.2025.109005

Impact Factor (2024): 5,7; Punktacja MNiSW (w roku wydania): 140 punktów.

Oceniana rozprawa doktorska stanowi zbiór opublikowanych, powiązanych tematycznie artykułów naukowych, co spełnia formalny wymóg zawarty w Art. 187, punkt 3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024, poz. 1571, ze zm.). Pierwsza z publikacji jest pracą przeglądową, a pozostałe to oryginalne prace badawcze. Wszystkie prace są współautorskie (6-7 autorów), z udziałem promotora i promotora pomocniczego. Należy zauważyć, że we wszstkich pracach Doktorant jest pierwszym autorem. Powyższe prace opublikowano w renomowanych czasopismach naukowych indeksowanych w bazach Scopus oraz Web of Science Core Collection. Czasopisma te posiadają wysoki Impact Factor wynoszący od 3,4 do 6,1. W wykazie czasopism Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego przyznano im od 100 do 200 punktów. Powyższe prace powstały w ramach realizacji dwóch projektów badawczych:

1) NCN Sonata Bis 4, 2014/14/E/ST10/00851 pt. „*Opracowanie bilansu energetycznego pierwszej fazy erozji wodnej – rozbryzgu*", realizowanego w latach 2015-2019, którego kierownikiem była dr hab. Magdalena Ryżak prof. IA PAN, a w którym mgr inż. Rafał Mazur był zatrudniony jako wykonawca.

2) NCN Preludium 19, 2020/37/N/ST10/03363 pt. „*Wpływ temperatury gleby na zjawisko rozbryzgu (splash erosion)*", realizowanego w latach 2021-2025, którego kierownikiem był mgr inż. Rafał Mazur, a opiekunem naukowym dr hab. Magdalena Ryżak prof. IA PAN.

Na podstawie załączonego oświadczenia mgra Rafała Mazura oraz oświadczeń Promotorów i pozostałych współautorów stwierdzam, że Jego wkład w powstanie tych publikacji obejmował współudział w opracowaniu koncepcji pracy i metodyki badań (wspólnie z Promotorem i Promotorem pomocniczym). Doktorant samodzielnie przeprowadził większość pomiarów i opracował uzyskane wyniki. Przygotował także pierwsze wersje manuskryptów oraz koordynował i aktywnie uczestniczył w poprawie prac po recenzjach. W przpadku prac P-1, P-3 i P-4 mgr Rafal Mazur był także inicjatorem badań, gdyż publikacje te powstały w ramach kierowanego przez Niego projektu Preludium 2020/37/N/ST10/03363 pt. „*Wpływ temperatury gleby na zjawisko rozbryzgu (splash erosion)*".

Na podstawie powyższych faktów stwierdzam, że wkład mgra Rafała Mazura w powstanie osiągnięcia naukowego był kluczowy i może ono stanowić podstawę ubiegania się o stopień doktora nauk rolniczych. W mojej ocenie wymienione przez Kandydata formy aktywności związane z powstaniem cyklu publikacji stanowiących rozprawę doktorską oraz zadeklarowany wkład autorski, pozwalają na weryfikację ogólnej wiedzy teoretycznej z zakresu dyscypliny naukowej rolnictwo i ogrodnictwo oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

3. Merytoryczna ocena pracy

Nadrzędnym celem ocenianej rozprawy jest opis deformacji powierzchni gleby w wyniku uderzenia pojedynczej kropli wody w kontekście początkowego etapu erozji wodnej – zjawiska rozbryzgu. Cel główny został uszczegółowiony w formie następujących celów cząstkowych:

C-1. Określenie sposobu przemieszczenia (wybicie, przesunięcie) elementów złoża modelowego (stanowiącego uproszczony układ glebowy) po uderzeniu kropli wody w zależności od ich początkowego położenia.

C-2. Określenie wpływu rozkładu granulometrycznego oraz wilgotności początkowej gleb na wielkość i kształt kraterów powstających w wyniku uderzenia kropli o różnej energii kinetycznej.

C-3. Określenie wzajemnego wpływu temperatury, wilgotności oraz uziarnienia gleb na wielkość i kształt kraterów powstających w wyniku uderzenia kropli.

W celu realizacji powyższych celów Doktorant przyjął następujące hipotezy badawcze:

H-1. Sposób przemieszczenia elementów modelowego złoża w wyniku uderzenia kropli wody zależy od ich początkowej lokalizacji i zmienia się wraz z wilgotnością próbki.

H-2. Wpływ początkowej wilgotności gleby oraz energii kropli na zmianę morfologicznych cech kraterów powstających w wyniku rozbryzgu jest zależny od rozkładu granulometrycznego materiału glebowego.

H-3. Warunki termiczne, w których dochodzi do rozbryzgu, wpływają na deformację powierzchni gleby po uderzeniu kropli.

Na podstawie wnikliwego przeglądu literatury zawartego w **P-1**, Doktorant sprecyzował główny cel badań, a następnie uszczegółowił go podając trzy cele pracy. Umożliwiło to postawienie trzech hipotez badawczych, które wynikają ze zidentyfikowanych luk w wiedzy. W mojej ocenie ogólna koncepcja badań, postawione cele oraz zaproponowane hipotezy badawcze są poprawne. Umożliwiło to zaplanowanie i przeprowadzenie ciągu doświadczeń laboratoryjnych, które zaowocowały interesującymi wynikami i sformułowanie wartościowych z punktu widzenia nauki wniosków.

Doktorant do badań wykorzystał złoża modelowe przygotowane z przezroczystych kulek szklanych (**P-2**), a także materiał glebowy pobrany z powierzchniowej warstwy gleb narażonych na erozję (**P-3**, **P-4**). Materiał do badań pobrano z gleb użytkowanych rolniczo z różnych lokalizacji w Polsce i został on zaliczony do następujących grup granulometrycznych: piasek gliniasty, glina piaszczysta, pył gliniasty. W badaniach zastosowano różne warianty uwilgotnienia: materiał powietrznie suchy, wilgotność odpowiadająca potencjałowi wody glebowej 0,1 kPa (gleba nasycona), 1,0 kPa (gleba bliska nasyceniu), 16 kPa (wilgotność odpowiadająca polowej pojemności wodnej). W badaniach uwzględniono dwie wysokości spadku kropli wody (1,5 m oraz 7 m), co odpowiada zróżnicowanej energii w momencie uderzenia w złoże (0,49 mJ; 1,35 mJ; 1,4 mJ). Zastosowane rozmiary kropli i wysokości ich spuszczania miały na celu nawiązanie do warunków naturalnych (deszcz nawalny, krople spadające z liści roślin). W pracy **P-4** zastosowano trzy warianty termiczne eksperymentów. Każdy z wariantów uwzględniał inną temperaturę gleby, powietrza w laboratorium oraz wody tworzącej spadającą kroplę. Takie podejście odzwierciedlało warunki termiczne panujące podczas naturalnego deszczu w różnych porach roku w klimacie umiarkowanym.

Podczas badań zastosowano szereg technik pomiarowych, które umożliwiły uzyskanie danych odnośnie uderzenia kropli wody oraz morfologii kraterów, a tym samym weryfikację hipotez badawczych. Wykorzystano m.in. analizę zdjęć wykonanych aparatem Nikon D7100,

którą przeprowadzono przy pomocy programu GIMP. Dodatkowo wykorzystano nagrania szybką kamerą Phantom Miro 310. Do badania morfologii kraterów wykorzystano zobrazowania wykonane za pomocą mikrotomografu GE Nanotom 180S. W pracach **P-3** i **P-4** do analizy morfologii kraterów wykorzystano analizę skanów 3D (skaner powierzchni Scan3D UNIVERSE 10 Mpix). Do obróbki obrazów wykorzystano specjalistyczne programy (Smarttech3D measure, Geomagic Control 2015, ImageJ). Uzyskane wyniki przedstawiono graficznie oraz opracowano statystycznie, stosując odpowiednie procedury statystyczne.

Przeprowadzono zatem dobrze zaplanowane, kompleksowe badania laboratoryjne, na podstawie których Autor wyciągnął następujące wnioski ogólne:

1. Obecność wody w porach złoża wpływa na wielkość i kształt powstających kraterów, a także na sposób i dystans przemieszczenia elementów złoża oraz wielkość obszaru, w obrębie którego dochodziło do przemieszczeń.
2. Analiza deformacji złóż przygotowanych z materiału glebowego wykazała wpływ rozkładu granulometrycznego, wilgotności początkowej i energii kropli na morfologię kraterów. Dominujący wpływ na wielkości charakteryzujące kratery miała wilgotność, której wzrost powodował powstawanie kraterów o większych rozmiarach.
3. Wpływ wilgotności i energii padającej kropli na kratery był wyraźniejszy w materiałach glebowych zawierających większą ilość drobnych cząstek należących do frakcji pyłowej. W przypadku materiału charakteryzującego się dominującym udziałem frakcji piaskowej wielkość deformacji zmieniała się w najmniejszym stopniu.
4. Wpływ temperatury na deformację wynikał z jej interakcji z pozostałymi czynnikami, tj. z wilgotnością i rozkładem granulometrycznym. Najbardziej podatna na oddziaływanie temperatury była gleba o dominującym udziale frakcji pyłowej przy wilgotności zbliżonej do nasycenia (odpowiadającej potencjałowi wody glebowej wynoszącemu 1 kPa).
5. Rozszerzenie modeli erozyjnych o bezpośredni wpływ temperatury na początkowe etapy erozji może, w przypadku niektórych gleb, przyczynić się do podniesienia dokładności prowadzonych analiz.

Wszystkie wnioski są zasadne i wynikają z przeprowadzonych badań. Potwierdziły one w całości dwie pierwsze hipotezy badawcze (**H-1** i **H-2**) oraz częściowo hipotezę **H-3**. Doktorant udokumentował oraz wnikliwie przeanalizował procesy powstawania kraterów, czyli pierwszego etapu erozji wodnej gleb. Obszerne wyniki badań własnych omówił w sposób uporządkowany i przekonywujący. Udowodnił w ten sposób, że opanował aktualne metody

prowadzenia badań naukowych oraz nowoczesne techniki analityczne. Posiadł także umiejętność interpretacji i dyskusji wyników.

Do najważniejszych osiągnięć pracy zaliczam:

- Podjęcie zagadnienia deformacji powierzchni gleby w wyniku uderzenia kropli wody, które jest aktualne w nauce światowej, ważne z teoretycznego i praktycznego punktu widzenia.
- Zastosowanie w badaniach procesu rozbryzgu nowych podejść metodologicznych oraz szeregu nowych metod.
- Uwzględnienie w badaniach oprócz uziarnienia gleb i ich wilgotności także wpływu temperatury, co wydaje się istotne w kontekście przewidywanych zmian klimatu.
- Przedstawienie szeregu prawidłowości dotyczących pierwszego etapu erozji wodnej czyli rozbryzgu.
- Próba powiązania uzyskanych wyników z określeniem podatności gleb na erozję.

Oceniana rozprawa doktorska stanowi tematyczny ciąg czterech już opublikowanych artykułów naukowych. Ich jakość naukowa nie budzi zastrzeżeń, a zawarte w nich wyniki podlegały wcześniej wnikliwej ocenie przez wysokiej klasy specjalistów, recenzentów i wydawców. Oceniana rozprawa doktorska daje klarowną odpowiedź na postawione pytania. Natomiast w przyszłych badaniach należałoby w szerszym zakresie uwzględnić wpływ zawartości materii organicznej gleb na zjawisko rozbryzgu.

Reasumując stwierdzam, że praca doktorska mgra Rafała Mazura jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego i dostarcza wielu nowych informacji odnośnie powstawania deformacji powierzchni gleby (kraterów) w wyniku uderzenia kropli wody. Uzyskane wyniki mogą w przyszłości posłużyć do doskonalenia metod ograniczania skutków erozji wodnej gleb.

4. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa **mgra Rafała Mazura pt. „Deformacja powierzchni gleby w wyniku uderzenia kropli wody"** została wykonana w oparciu o starannie opracowaną metodykę badań i jest dobrze udokumentowana. Stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu badawczego. Autor w rozprawie doktorskiej wykazał szeroką wiedzę teoretyczną w zakresie podjętego problemu naukowego. Obszerny zakres badań wskazuje na dobre przygotowanie Autora do samodzielnego prowadzenia interdyscyplinarnych prac naukowych. Na podkreślenie

zasługuje zastosowanie różnorodnych metod badawczych, adekwatnych do rozwiązywanego problemu. Recenzowana praca wnosi nowe elementy poznawcze i utylitarne, zasługuje na pozytywną ocenę.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska całkowicie spełnia kryteria określone w art. 187 ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024, poz. 1571, ze zm.). Zakres pracy mieści się w dziedzinie nauk rolniczych, w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo. Składam formalny wniosek do Rady Naukowej Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie o jej przyjęcie i dopuszczenie mgra Rafała Mazura do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie, biorąc pod uwagę wysoki poziom naukowy rozprawy, jej nowatorskie podejście do badania początkowych etapów erozji wodnej gleb, a także szeroki zakres badań, wnioskuję o wyróżnienie Autora stosowną nagrodą. Na podkreślenie zasługuje duża skuteczność w publikowaniu wyników badań w renomowanych czasopismach naukowych.

Olsztyn, 28 sierpnia 2026 r.

Prof. dr hab. Andrzej Łachacz