

dr hab. Małgorzata Kijowska-Strugała, prof. IGiPZ PAN
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
Zakład Badań Geośrodowiska
Stacja Badawcza im. E. Gila w Szymbarku
38-311 Szymbark 430

Szymbark, 24.08.2026 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Rafała Mazura pt. *Deformacja powierzchni gleby w wyniku uderzenia kropli wody*

1. PODSTAWA FORMALNO-PRAWNA RECENZJI

Recenzja została przygotowana w związku z powołaniem mnie, w dniu 22 czerwca 2026 roku przez Radę Naukową Instytutu Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgra inż. Rafała Mazura (Uchwała nr 259/P29/2026). Recenzja została sporządzona z uwzględnieniem wymagań określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571 ze zm.).

2. FORMALNA CHARAKTERYSTYKA I STRUKTURA ROZPRAWY

Przedłożona do recenzji praca została przygotowana pod kierunkiem dr hab. Magdaleny Ryżak, prof. IA PAN, oraz promotora pomocniczego dr hab. inż. Agaty Sochan. Obejmuje ona dwie zasadnicze części: 1) autoreferat wraz ze streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz oświadczeniami autora rozprawy, promotora i promotora pomocniczego, spisem literatury (73 pozycje z dorobku zagranicznej i polskiej literatury przedmiotu) oraz 2) cykl publikacji w postaci czterech współautorskich artykułów opublikowanych w czasopiśmie naukowych wraz z oświadczeniami współautorów. W skład spójnego tematycznie cyklu czterech artykułów naukowych, pod wspólnym tytułem „*Deformacja powierzchni gleby w wyniku uderzenia kropli wody*” wchodzi:

1. Mazur R., Ryżak M., Sochan A., Beczek M., Polakowski C., Bieganowski A., 2023. *Soil Deformation after Water Drop Impact-A Review of the Measurement Methods*. Sensors 23(1), 121. DOI 10.3390/s23010121. (IF: 3,4; punktacja MEiN: 100).
2. Mazur R., Ryżak M., Sochan A., Marciszek K., Beczek M., Lamorski K., Bieganowski A., 2020. *Surface deformation and displacement of bed elements during*

splash – Model tests. Catena 185, 104277.DOI:10.1016/j.catena.2019.104277. (IF: 5,198; punktacja MNiSW: 140).

3. Mazur R., Ryżak M., Sochan A., Beczek M., Polakowski C., Przysucha B., Bieganowski A., 2022. *Soil Deformation after One Water-Drop Impact-The Effect of Texture and Soil Moisture Content*. Geoderma 417, 115838. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.115838. (IF: 6,1; punktacja MEiN: 200).
4. Mazur R., Ryżak M., Sochan A., Beczek M., Polakowski C., Bieganowski A., 2025. *The potential effect of temperature on surface deformation after water drop impact in soils with different texture and moisture content*. Catena 255, 109005. DOI: 10.1016/j.catena.2025.109005. (IF: 5,7; punktacja MNiSW: 140).

Wszystkie publikacje są indeksowane w bazie *Web of Science*. Łączna liczba punktów zgodnie z punktacją MNiSW (MEiN) wynosi 580, a sumaryczny IF 20,398. Na podkreślenie zasługuje miejsce publikacji manuskryptów. Czasopisma *Geoderma*, *Catena* należą do cieszących się wysokim prestiżem wśród naukowców zajmujących się problematyką gleb, w tym erozją wodną. Mgr inż. Rafał Mazur we wszystkich publikacjach jest pierwszym autorem. Dodatkowo, zgodnie z oświadczeniami wszystkich współautorów, wkład mgr inż. Rafała Mazura w przygotowanie wszystkich czterech publikacji był kluczowy i obejmował m.in. współudział w opracowaniu koncepcji pracy i metodyki badań, przeprowadzenie większości pomiarów i opracowanie wyników, przygotowanie pierwszej wersji manuskryptu oraz koordynację i aktywny udział w procesie recenzji. Należy także podkreślić, że publikacje nr 1, 3 oraz 4 powstały w ramach kierowanego przez mgr inż. Rafała Mazura projektu NCN Preludium pt.” *Wpływ temperatury gleby na zjawisko rozbryzgu (splash erosion)*”. Publikacja nr 2 powstała w ramach projektu NCN Sonata Bis, którego kierownikiem była dr hab. Magdalena Ryżak, prof. IA PAN, w którym mgr inż. Rafał Mazur był zatrudniony jako wykonawca.

Autoreferat ma przejrzystą i logiczną strukturę. Po przedstawieniu problematyki rozbryzgu, luki badawczej oraz celów i hipotez mgr inż. Rafał Mazur omawia zastosowane materiały i metody, a następnie syntetyzuje wyniki czterech publikacji i przedstawia najważniejsze wnioski. Na podkreślenie zasługuje wykorzystanie w badaniach nowoczesnych, bezkontaktowych metod pomiarowych, w tym mikrotomografii, szybkiego obrazowania i skanowania 3D (655 punktów·mm⁻²). Istotnym elementem układu eksperymentalnego była możliwość dozowania kropli z wysokości 1,5 i 7,0 m, przy czym swobodny spadek z wysokości 7 m pozwolił na osiągnięcie ponad 90% prędkości granicznej

charakterystycznej dla kropli o podobnej wielkości podczas naturalnego opadu. Przyjęta metodyka była właściwa do realizacji postawionych celów. Wyniki badań zostały omówione w rozdziale czwartym, z podziałem na cztery publikacje naukowe, natomiast rozdział piąty zawiera podsumowanie i wnioski.

3. OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Mgr inż. Rafał Mazur prawidłowo wskazał luki badawcze, podkreślając, że dotychczasowe badania stosunkowo rzadko koncentrowały się na morfologii kraterów oraz dynamice ich powstawania, co wynikało przede wszystkim z niewielkich rozmiarów analizowanych form, ich podatności na uszkodzenie podczas pomiaru oraz ograniczonej dostępności odpowiednio precyzyjnej aparatury. W rozdziale drugim Autor wskazał cel główny, cele cząstkowe i trzy hipotezy badawcze. W mojej ocenie, sformułowanie głównego celu jako: „...opisu deformacji powierzchni gleby w wyniku uderzenia pojedynczej kropli wody w kontekście początkowego etapu erozji wodnej-zjawiska rozbryzgu” nie oddaje w pełni zakresu przeprowadzonych badań. Praca nie ogranicza się bowiem jedynie do opisu analizowanych form, lecz obejmuje również ilościową ocenę ich morfologii, rozpoznanie mechanizmów przemieszczania cząstek oraz określenie czynników wpływających na wielkość i kształt kraterów. Hipotezy badawcze są powiązane logicznie z celami szczegółowymi rozprawy. W hipotezie trzeciej nie wskazano jednak przewidywanego kierunku wpływu temperatury ani cech morfologicznych kraterów, które miałyby ulec zmianie. Pewnego wyjaśnienia wymaga podana liczba wariantów eksperymentalnych w publikacji P3 oraz P4. Liczba poziomów analizowanych czynników wskazuje na 18, a nie 16 kombinacji (publikacja P3: trzy gleby, trzy wilgotności, dwie wartości energii kropli wody oraz publikacja P4: trzy gleby, dwa poziomy wilgotności, trzy warianty termiczne). Ponadto w przypadku badań przedstawionych w publikacji P4 należy zaznaczyć, że jednocześnie podlegały temperatura gleb, wody i powietrza, zatem rezultaty odnoszą się do wpływu przyjętych wariantów termicznych jako całości. Istotnym walorem merytorycznym pracy jest zastosowanie odpowiednio dobranych analiz statystycznych, obejmujących analizę wariancji (ANOVA), test post-hoc Tukeya oraz współczynnik ω^2 , umożliwiające oszacowanie wielkości efektu, a tym samym ocenę znaczenia poszczególnych czynników dla zmienności analizowanych danych.

Rozdział czwarty pokazuje, że przedstawione publikacje tworzą spójny i logiczny ciąg badań: od przeglądu stosowanych metod, przez rozpoznanie mechanizmu przemieszczania

elementów złoża, po ocenę wpływu wilgotności, uziarnienia, energii kropli i warunków termicznych na morfologię powstających kraterów.

Najważniejszym rezultatem **pierwszej publikacji** było uporządkowanie i krytyczne porównanie metod stosowanych do pomiaru morfologii kraterów i obserwacji procesu ich formowania. Autorzy wykazali wyraźny rozwój od prostych pomiarów manualnych do nowoczesnych metod bezkontaktowych i trójwymiarowych, umożliwiających dokładniejszą charakterystykę geometrii kraterów i dynamiki ich powstawania. Wskazali również potencjalne zastosowanie tych metod w badaniach erozji oraz modelowaniu jej początkowych etapów. Interesującym elementem publikacji jest także uwzględnienie problemu transportu zanieczyszczeń i patogenów w wyniku rozbryzgu.

Istotnym walorem metodycznym **drugiej publikacji** było wykorzystanie złóż modelowych przygotowanych ze szklanych kulek o różnej barwie, co umożliwiło śledzenie ruchu materiału i określenie jego związku z deformacją powierzchni. Można się jednak zastanowić, czy zastosowanie stosunkowo wąskiego zakresu średnic szklanych kulek (0,425-0,600 mm) mogło wpłynąć na przebieg deformacji i przemieszczanie materiału w porównaniu ze złożem o szerszym i bardziej zróżnicowanym uziarnieniu? W publikacji wykazano, że w suchych złożach występują trzy sposoby przemieszczania markerów znajdujących się na powierzchni: przesunięcie w obrębie materiału zwilżonego przez kroplę, wybicie oraz przemieszczenie w obrębie wału. W złożach nasyconych przebieg procesu był mniej złożony i obejmował przemieszczanie w obrębie deformacji oraz wybicie cząstek. Za szczególnie interesujące uważam analizę złóż z barwnymi monowarstwami, która pozwoliła prześledzić udział materiału pochodzącego z różnych głębokości w powstającej deformacji. Wykazano przy tym, że przemieszczeniu uległy nie tylko cząstki powierzchniowe, ale również materiał z warstw położonych głębiej. Zastosowanie mikrotomografii umożliwiło ponadto wykazanie, że kratery powstające w złożach suchych miały bardziej złożoną budowę oraz były większe (ich średnica była większa o około 5 mm) i głębsze (różnica 0,35 mm). Na podstawie literatury różnice te powiązano z oddziaływaniem wody wypełniającej pory, w tym z jej napięciem powierzchniowym i lepkością oraz ograniczeniem penetracji złoża przez kroplę. Szczególnie istotnym osiągnięciem publikacji jest bezpośrednie powiązanie morfologii krateru z ruchem materiału i wykazanie, że największe przemieszczenia występowały w strefach najsilniejszej deformacji, tj. w suchych złożach przy krawędzi obszaru zwilżonego, natomiast w złożach nasyconych w odległości około 2-4 mm od centrum uderzenia kropli, w obszarze formowania się wewnętrznych ścian krateru. Nasuwa się jednak pytanie, w jakim zakresie mechanizmy przemieszczania cząstek rozpoznane na złożach modelowych ze

szklanych kulek można odnieść do rzeczywistych gleb, charakteryzujących się nieregularnym kształtem ziaren, agregacją oraz zróżnicowanymi właściwościami powierzchniowymi?

W publikacji trzeciej kontynuowano analizę wpływu wilgotności początkowej, rozkładu granulometrycznego i energii kropli na wielkość i kształt kraterów w trzech materiałach glebowych: piasku gliniastym, glinie piaszczystej oraz pyłe gliniastym. Materiał glebowy pobrano z głębokości 5-15 cm na Wysoczyźnie Polanowskiej, Wyżynie Częstochowskiej oraz Wyżynie Miechowskiej. Na szczególne podkreślenie zasługuje wykorzystanie materiału glebowego pobranego w warunkach terenowych, z obszarów narażonych na erozję wodną. Zwiększa to znaczenie środowiskowe przeprowadzonych eksperymentów i pozwala lepiej odnieść uzyskane wyniki do właściwości rzeczywistych gleb niż w przypadku badań prowadzonych wyłącznie na złożach modelowych. Uzyskanych wyników nie można jednak w pełni utożsamiać z reakcją gleby o nienaruszonej strukturze, w której istotną rolę mogą odgrywać również właściwości agregatów glebowych i ich stabilność.

Istotnym rezultatem pracy było ukazanie, że uproszczona metoda obliczania objętości kraterów prowadzi do zawyżenia rozmiarów kraterów średnio o 23% w porównaniu z wartościami wyznaczonymi na podstawie skanera. Stwierdzono również, że wraz ze wzrostem wilgotności próbek oraz energii kropli zwiększały się wartości analizowanych parametrów. Wpływ wilgotności był jednak zróżnicowany w zależności od zastosowanego materiału glebowego. Największą zmiennością podatności na deformację w zależności od wilgotności początkowej i energii kropli charakteryzowała się glina piaszczysta, natomiast najmniejszą piasek gliniasty. Interesujące wydaje się wyjaśnienie, jakie właściwości fizyczne badanych materiałów glebowych odpowiadały za ich zróżnicowaną podatność na deformację przy zmianie warunków wilgotnościowych? Autorzy wykazali, że najbardziej regularne kraterzy powstawały w glebie o największej zawartości pyłu i iłu, a ich kolistość zwiększała się wraz z wilgotnością i energią kropli. Wzrost energii kropli powodował wzrost średnich wartości prawie wszystkich mierzonych parametrów, jednak spośród analizowanych czynników jej wpływ był najmniejszy, a różnice istotne statystycznie występowały jedynie w części wariantów eksperymentalnych.

Publikacja czwarta umożliwiła ocenę wpływu warunków termicznych, wilgotności początkowej i rozkładu granulometrycznego na morfologię kraterów powstających po uderzeniu kropli. W badaniach zastosowano trzy warianty termiczne, obejmujące zróżnicowane temperatury gleby (5, 20, 40°C), wody (5, 15, 25°C) oraz powietrza (10, 20, 30°C). Potwierdzono obserwacje z wcześniejszych badań, wskazujące, że cztery wielkości

opisujące morfologię kraterów zależały przede wszystkim od wilgotności i rozkładu granulometrycznego gleb oraz interakcji tych czynników. Bezpośredni wpływ temperatury był ograniczony, natomiast dla wszystkich analizowanych parametrów stwierdzono jej istotne interakcje z wilgotnością i rozkładem granulometrycznym. Wpływ warunków termicznych na morfologię kraterów stwierdzono w przypadku pyłu gliniastego i piasku gliniastego. W najchłodniejszym wariancie eksperymentalnym kratery powstające w pyłe gliniastym były głębsze, a ich średnica zastępcza była istotnie statystycznie mniejsza niż kraterów powstających w cieplejszych wariantach, co znalazło odzwierciedlenie w wartościach parametru α , określającego stosunek głębokości do średnicy. Temperatura nie spowodowała jednak istotnej zmiany ich objętości. W przypadku piasku gliniastego wykazano, że temperatura modyfikowała wpływ wilgotności, w cieplejszych wariantach występowały istotne różnice w średnicy zastępczej i objętości kraterów pomiędzy analizowanymi poziomami wilgotności. Autorzy wiążą obserwowane zależności m.in. ze zmianami lepkości i napięcia powierzchniowego wody, których znaczenie było modyfikowane przez właściwości poszczególnych materiałów glebowych. Za ważne uważam wykazanie, że wpływ warunków termicznych zależał od wilgotności i rozkładu granulometrycznego, a najbardziej wyraźny był w pyłe gliniastym o wilgotności zbliżonej do nasycenia. Należy zachować ostrożność przy odnoszeniu tych rezultatów do wpływu zmian klimatu, ponieważ badania przeprowadzone w ramach publikacji czwartej obejmowały wybrane laboratoryjne warianty termiczne i pojedyncze uderzenia kropli, a nie pełny zakres zmian warunków termicznych i opadowych związanych ze zmianą klimatu.

Warto podkreślić zwarte i uporządkowane przedstawienie najważniejszych rezultatów badań **w rozdziale piątym**. Mgr inż. Rafał Mazur nie powtarza szczegółowych wyników zawartych w poszczególnych publikacjach, lecz formułuje pięć najważniejszych wniosków i odnosi je do postawionych hipotez badawczych. Wniosek dotyczący możliwości uwzględnienia bezpośredniego wpływu temperatury w modelach erozji wymaga pewnego wyjaśnienia. W autoreferacie wskazano, że mogłoby to zwiększyć dokładność analiz, podczas gdy w publikacji czwartej Autorzy stwierdzają, że stosunkowo niewielki bezpośredni efekt temperatury może częściowo ograniczać potrzebę jej uwzględniania w modelach. Interesujące byłoby zatem wyjaśnienie stanowiska mgra inż. Rafała Mazura. W rozdziale tym nie wyeksponowano jednak znaczenia początkowego położenia elementów złoża w odniesieniu do sposobu ich przemieszczania, co nawiązałoby do pierwszego celu cząstkowego oraz pierwszej hipotezy. Wartościowe byłoby również wyraźniejsze wskazanie metodycznego wkładu rozprawy, obejmującego zastosowanie nowoczesnych metod badawczych

umożliwiających tworzenie trójwymiarowych modeli kraterów, a także ocenę ograniczeń uproszczonych metod obliczania ich parametrów np. ich objętości.

Podsumowując, rozprawa podejmuje istotne zagadnienie dotyczące mechanizmów deformacji powierzchni gleby i przemieszczania materiału w początkowej fazie erozji wodnej. Przedstawiony cykl publikacji stanowi spójne i wartościowe opracowanie o istotnym znaczeniu poznawczym i metodycznym

4. OCENA REDAKCYJNA

Rozprawa jest napisana jasnym i poprawnym językiem. Ponieważ zasadniczą część dysertacji stanowi cykl czterech artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych, trudno wskazać na elementy, które mogły być podstawą formułowania większych uwag o charakterze krytycznym, gdyż zostały one wyeliminowane na etapie recenzji i przygotowania publikacji do druku. Przedstawione poniżej drobne błędy, uchybienia i uwagi redakcyjne odnoszą się do części pierwszej, czyli autoreferatu:

- strona 12, wiersz 7 – błędnie zapisano inicjał imienia, zamiast „R.”, zapisano „M.”;
- strona 17, wiersz 12 – literówka w wyrażeniu „znaczných różnic...”;
- strona 18-19 – brak konsekwencji terminologicznej w nazewnictwie parametru opisującego średnicę krateru (w publikacji czwartej określanego jako *equivalent diameter*);
- strona 19, wiersz 11 – niepoprawna forma gramatyczna w wyrażeniu „w wyniku uderzeniu kropli...”;
- strona 27, wiersz 13 – w opisie parametrów szybkiego obrazowania występuje niewielka rozbieżność: w autoreferacie podano wartość $3268 \text{ klatek} \cdot \text{s}^{-1}$, natomiast w publikacji P.2 wskazano $3260 \text{ klatek} \cdot \text{s}^{-1}$;
- strona 29, wiersz 4 – w autoreferacie podano, że próbkowanie wynosiło $655 \text{ punktów} \cdot \text{mm}^{-1}$, zgodnie z treścią artykułu powinno być $655 \text{ punktów} \cdot \text{mm}^{-2}$;
- strona 40, wiersz 4 – w zdaniu „*Analiza statystyczna wyników zawartych w publikacji P.2 potwierdziła powyższe stwierdzenia.*” Prawdopodobnie należałoby się powołać na publikację P.3 zamiast P.2;
- strona 41, wiersz 1 – błędna forma w wyrażeniu „...o największej zawartości pyły i ilu...”;
- strona 41, wiersz 17 – zdanie „...erozję, jest tym samym widoczne już na jej początkowym etapie.” wymaga korekty składniowej.

Pragnę zaznaczyć, że powyższe uwagi mają charakter jedynie techniczno-redakcyjny i nie wpływają na ogólną, wysoką ocenę rozprawy doktorskiej.

5. OCENA KOŃCOWA

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi spójne i wartościowe opracowanie naukowe dotyczące mechanizmów powstawania kraterów oraz przemieszczania cząstek materiału pod wpływem uderzenia pojedynczej kropli wody. Przeprowadzone badania poszerzają wiedzę na temat początkowych etapów erozji wodnej gleby, w szczególności znaczenia wilgotności początkowej, rozkładu granulometrycznego, energii kropli i temperatury dla przebiegu deformacji powierzchni i morfologii powstających kraterów. Na podkreślenie zasługuje zastosowanie nowoczesnych metod pomiarowych, umożliwiających szczegółową analizę przestrzennej geometrii kraterów oraz sposobu przemieszczania materiału. Cykl czterech powiązanych tematycznie publikacji został prawidłowo zaplanowany i konsekwentnie zrealizowany. Uzyskane wyniki mają istotną wartość poznawczą i metodyczną, a także mogą zostać wykorzystane w doskonaleniu modeli opisujących początkowe etapy erozji wodnej. Rozprawa potwierdza dobrą znajomość podejmowanej problematyki przez mgra inż. Rafała Mazura, umiejętność właściwego doboru metod badawczych, prowadzenia eksperymentów, analizy i interpretacji uzyskanych wyników oraz formułowania wniosków.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgra inż. Rafała Mazura pt. „*Deformacja powierzchni gleby w wyniku uderzenia kropli wody*” prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dziedzinie nauk rolniczych w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo, potwierdza jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Tym samym spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.). **W związku z powyższym oceniam rozprawę pozytywnie i wnoszę o dopuszczenie mgra inż. Rafała Mazura do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.**

Biorąc pod uwagę wysoką wartość merytoryczną i poziom naukowy rozprawy, oryginalność uzyskanych wyników, nowatorski charakter badań nad deformacją powierzchni gleby w wyniku rozbryzgu, kompleksowe podejście do podjętej problematyki oraz spójność przedstawionego cyklu publikacji, w których mgr inż. Rafał Mazur jest pierwszym autorem, a także istotny wkład rozprawy w rozwój wiedzy o początkowych etapach erozji wodnej gleb, **wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.**

Małgorzata Kipuska-Strupczak