

Zakład Metrologii i Modelowania Procesów Agrofizycznych

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie

RECENZJA

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ MGR INŻ. AMADEUSZA WALCZAKA PT. „BADANIA NAD INIEKCYJNYM NAWADNIANIEM WYBRANYCH ROŚLIN UPRAWNYCH”

Recenzję wykonano na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny prof. dr hab. inż. Krzysztofa Pulikowskiego z dnia 8.07.2021 r. w związku z powołaniem na recenzenta w przewodzie doktorskim mgr inż. Amadeusza Walczaka).

Przedstawiona do recenzji praca doktorska została wykonana w Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji w Katedrze Kształtowania i Ochrony Środowiska pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Grzegorza Janika i promotora pomocniczego dr hab. Agnieszki Szyplowskiej.

Uwagi ogólne

Praca doktorska Pana mgr inż. Amadeusza Walczaka dotyczy wpływu nawadniania iniekcyjnego na warunki wilgotnościowe w glebie i ewaporację. Tworzenie i rozwijanie systemów nawadniających na polach uprawnych jest dla polskiego rolnictwa stosunkowo nowym wyzwaniem, związanym z pogłębiającym się niedoborem wody w okresie wegetacyjnym roślin jako konsekwencja zmian klimatycznych. Obserwowany od kilkunastu lat wzrost średnich sezonowych wartości temperatury powietrza oraz nieregularność opadów (z coraz częściej występującymi w różnych rejonach kraju okresami suszy w kluczowych fazach rozwoju roślin) i jednocześnie ograniczone zasoby niezbędnej dla rolnictwa wody retencjonowanej w różny sposób, powodują konieczność poszukiwania najbardziej efektywnych sposobów nawadniania pól. Obiecującą metodą jest niewątpliwie nawadnianie iniekcyjne, umożliwiające precyzyjne, wgłębne dawkowanie określonych ilości wody w obręb systemu korzeniowego roślin. Technologia nawadniania iniekcyjnego, zaliczana do metod rolnictwa precyzyjnego jest rozwijana od niedawna, a wciąż nierozwiązane problemy techniczne i naukowe związane z jej wdrażaniem sprawiają, że tematyka jest bardzo rozwojowa i niezwykle istotna dla praktyki rolniczej. Szczególnie istotnym, a jednocześnie wciąż słabo rozpoznany zagadnieniem jest wpływ takiego sposobu podawania wody do gleby na dynamikę zmian wilgotności oraz ewaporację. W literaturze światowej prac dotyczącej tej tematyki jest bardzo niewiele, a ze względu na zróżnicowanie rozwiązań technicznych samych iniektorów i parametrów ich pracy, oraz ze względu na różny sposób testowania tych systemów trudno jest o jednoznaczną ocenę wpływu iniekcji na warunki wilgotnościowe w glebie. Dlatego badania Kandydata, odkrywające wiele nowych aspektów związanych z dystrybucją wody w profilu glebowym po nawodnieniu iniekcyjnym są niezwykle istotne z punktu widzenia naukowego i praktycznego. Recenzowane publikacje składające się na cykl rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Amadeusza Walczaka to niewątpliwie pionierskie doniesienia literaturowe podejmujące to zagadnienie. Bardzo istotnym aspektem podnoszącym według mnie wartość recenzowanej pracy jest to, że badania, które stanowią jej treść zostały częściowo wykonane w ramach

projektu „Mobilny system iniekcyjnego, precyzyjnego nawadniania i nawożenia, zaspokajający indywidualne potrzeby rośliny”, akronim MSINiN, numer grantu BIOSTRATEG3/343547/8/NCBR/2017, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Testowany w pracy system iniektora jest nowoczesnym i unikatowym rozwiązaniem, które ma szansę na komercjalizację, co powoduje, że uzyskane wyniki badań mogą mieć kluczowe znaczenie w przygotowywaniu ewentualnego wdrożenia takiego systemu iniekcyjnego.

Przedstawiona do oceny praca doktorska stanowi jednotematyczny cykl trzech publikacji naukowych opublikowanych w 2021 r., zatytułowany: „Badania nad iniekcyjnym nawadnianiem wybranych roślin uprawnych”:

1. Walczak A. (2021) The Use of World Water Resources in the Irrigation of Field Cultivations, *Journal of Ecological Engineering*, 22(4), 186-206, DOI: 10.12911/22998993/134078
2. Walczak A., Szyplowska A., Janik G., Pęczkowski G. (2021) Dynamics of volumetric moisture in a sand caused by injection irrigation – physical model, *Water*, 13(11), 1603, DOI: 10.3390/w13111603
3. Walczak A., Lipiński M., Janik G. (2021) Application of the TDR Sensor and the Parameters of Injection Irrigation for the Estimation of Soil Evaporation Intensity, *Sensors*, 21(7), 2309, DOI: 10.3390/s21072309.

Prace opublikowano w dobrych czasopismach indeksowanych w bazie Web of Science (Impact Factor z roku publikacji wynosi odpowiednio 0, 2,544 oraz 3,275) i jednocześnie zamieszczonych na listach czasopism punktowanych MNiSW (punktacja z roku opublikowania 40, 70, 100 pkt.). Sumaryczny indeks IF trzech przedstawionych publikacji wynosi 5.819, a liczba przypisanych im punktów zgodnie z wykazem czasopism MNiSW wynosi 210. Uwzględniając oświadczenie autorskie, liczba punktów przypadająca na mgr inż. Amadeusza Walczaka wynosi 159. Pomimo, że prace zostały opublikowane w 2021 r. zostały dotychczas zacytowane łącznie 5 razy (baza Scopus).

We wszystkich trzech pracach wchodzących w skład cyklu Pan mgr inż. Amadeusz Walczak jest pierwszym autorem, a jego średni zadeklarowany udział w przygotowaniu tych prac wynosi 80%. W załączonych oświadczeniach nie opisano szczegółowo na czym polegał udział Kandydata w przygotowaniu każdej z trzech prac cyklu.

Ocena poprawności struktury rozprawy

Układ rozprawy doktorskiej jest prawidłowy. Posiada ona wszystkie niezbędne elementy pracy naukowej stawiane pracom doktorskim. Treść rozprawy obejmująca 105 stron podzielona jest na następujące rozdziały: Wstęp, Struktura pracy, Cele badawcze, Materiał i metody, Wyniki i dyskusja, oraz Podsumowanie i wnioski.

W obrębie zasadniczych rozdziałów wydzielono logicznie powiązane podrozdziały, które pozwalają czytelnikowi na łatwy dostęp do interesujących zagadnień. Oprócz tego praca zawiera Streszczenie (również w języku angielskim), Spis rysunków, Spis Tabel, Spis załączników, Bibliografię oraz opis dorobku naukowego Kandydata. Załączniki stanowią 3 artykuły naukowe opisujące wyniki badań. W pracy zamieszczono 12 kolorowych rysunków i 2 tabele (bez uwzględnienia tych elementów umieszczonych w załącznikach).

Ocena merytoryczna pracy

Oceniam wysoko wartość merytoryczną pracy doktorskiej Pana mgr inż. Amadeusza Walczaka. Przedstawiony cykl dowodzi umiejętności prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata. Dotyczy to zarówno zaprojektowania eksperymentu naukowego i jego precyzyjnego przeprowadzenia,

posługiwania się zaawansowanymi narzędziami badawczymi i programowaniem komputerowym, przeprowadzenia analizy uzyskanych wyników oraz wyciągania interesujących wniosków z tej analizy. Przedstawione w cyklu prace potwierdzają wysoki stopień rozwoju naukowego Kandydata. Warto zauważyć, że wszystkie 3 prace cyklu przygotowane są według ogólnie zaakceptowanych wzorców współczesnych prac naukowych z obszaru nauk ścisłych. Dwie spośród nich opublikowane zostały w wysoko punktowanych czasopismach z listy JCR. Wszystkie prace zawierają stosunkowo obszerny, reprezentatywny dla podjętej tematyki przegląd literatury, co potwierdza dobrą orientację Doktoranta w najnowszych osiągnięciach wiedzy w badanej dziedzinie. Przeprowadzone badania modelowe potwierdzają dobrze rozwinięty warsztat matematyczny kandydata i umiejętność poprawnego tworzenia modeli matematyczno-fizycznych. Przedstawione poniżej uwagi szczegółowe oraz pytania i sugestie nie umniejszają mojej pozytywnej oceny pracy i umiejętności Kandydata.

We Wstępie Kandydat dokonał wprowadzenia do tematyki nawadniania iniekcyjnego i omówił przesłanki przeprowadzonych badań. Trzy cele badań sformułowano w sposób klarowny. Według mnie cel drugi został sformułowany zbyt ogólnie, gdyż metodyka i uzyskane wyniki pozwoliły na scharakteryzowanie rozkładu wilgotności po iniekcyjnym zadaniu określonej ilości wody w glebie piaszczystej, a nie w dowolnym ośrodku porowatym (zamiast „ośrodka porowatego” powinno być „gleby piaszczystej”). Każdy cel zrealizowany został w oddzielnych badaniach opisanych w kolejnych pracach cyklu. Jedyne zastrzeżenie można mieć do braku w tej części hipotez badawczych, które stanowiły podstawę zaprojektowania eksperymentów laboratoryjnych i dobór parametrów modeli. Hipotez tych doszukać się można pośrednio we wstępach do poszczególnych prac, ale warto byłoby je przedstawić syntetycznie w części poprzedzającej cele pracy.

Ważną częścią pracy jest rozdział Materiał i metody, opisujący założenia i przebieg badań literaturowych oraz eksperymentu laboratoryjnego. Opisane są w nim również stosowane metody matematyczne. Układ tej części jest bardzo przejrzysty. Wszystkie wykorzystane instrumenty pomiarowe opisane są szczegółowo, z podaniem najważniejszych parametrów ich pracy. Dobrze scharakteryzowano materiał glebowy, jego przygotowanie do badań i sposób instalacji sond pomiarowych. Opisano również szczegółowo równania służące do obliczania zmian zawartości wody w monolicie, wielkości ewaporacji i jej intensywności. Nie mam uwag krytycznych do tej części pracy.

Rozdział Wyniki i dyskusja opisuje oddzielnie badania zawarte w każdym z trzech artykułów (A1, A2 i A3) cyklu publikacji wchodzących w skład pracy doktorskiej. Te trzy części pracy stanowią jej trzon, dlatego spróbuję się ustosunkować do każdej z nich oddzielnie.

W pierwszej części (artykuł A1 został przygotowany w całości przez Kandydata) autor dokonał oceny czynników wpływających na wskaźniki efektywności nawadniania (tj. rodzaj systemu nawadniania, procedury decyzyjne przy nawodnieniu, jakość wody, warunki środowiskowe, nawożenie technika uprawy). Omówił poszczególne wskaźniki z grupy Water use efficiency. Przy zastosowaniu metody SWOT dokonał oceny technik nawadniania w aspekcie eksploatacyjnym, koncentrując się na systemie nawodnień deszczownianych oraz systemie linii kroplujących (z których wywodzą się systemy iniekcyjne). Przeprowadzona analiza ma istotny aspekt praktyczny, gdyż może ułatwić w konkretnym przypadku decyzję, który system nawadniający wybrać. Warto podkreślić, że autor wykonał analizy w tej części pracy w oparciu o bardzo bogatą literaturę (167 pozycji, w większości z okresu po 2000 r.) oraz strony internetowe oraz katalogi branżowe producentów systemów nawadniających. Na podstawie przeglądu literatury autor zauważa konieczność dalszych prac nad doskonaleniem technik nawadniania, tak, aby łączyły w sobie cechy oszczędności wody i mobilności urządzenia. Oceniam tę część pracy wysoko. Jedyne moja uwaga do tej części dotyczy barku bardziej szczegółowego podziału i analizy metod nawodnieniowych, które można zakwalifikować do metod iniekcyjnych. Słowo „iniekcyjny” nie pojawiło się w żadnym akapicie pracy A1 (z wyjątkiem Acknowledgements).

Druga część pracy dotyczy analizy dynamiki wilgotności wywołanej iniekcyjnym nawadnianiem prowadzonym przy pomocy unikatowego urządzenia (wykonanego w ramach projektu NCBiR MSININ), wykorzystującego wysokie ciśnienie aplikowanej cieczy (artykuł A2). Doktorant stworzył model rzeczywisty (nazwany w pracy modelem fizycznym), który stanowił monolit glebowy, urządzenie do iniekcji wody oraz czujniki do pomiaru wilgotności objętościowej. Obiekt modelowy pozwalał na zróżnicowanie dawek wody aplikowanej przez urządzenie iniekcyjne i precyzyjny monitoring rozkładu wilgotności w całym monolicie glebowym za pomocą rozlokowanych, według dobrze zaprojektowanego schematu, sond TDR. Na podstawie uzyskanych wyników zmian w czasie (od zadania dawki wody) wilgotności objętościowej gleby w poszczególnych objętościach cząstkowych siatki obejmującej monolit, obliczono zmianę zawartości wody w monolicie, która zgodnie z zasadą zachowania masy powinna równać się ilości wody zaaplikowanej (pomijając parowanie, ściek grawitacyjny, itp.). W pracy wykonano graficzne trójwymiarowe prezentacje rozkładów wilgotności objętościowej na podstawie danych z pomiarów wykonanych w chwili zakończenia iniekcji oraz wykresy zmian w czasie wilgotności objętościowej gleby w wybranych punktach monolitu, znajdujących się w różnych odległościach od aplikatora. Przy wykorzystaniu wyników pomiarów wilgotności w elementarnych komórkach sześciennych monolitu obliczono również bilans wodny w monolicie. Otrzymano około 10-procentowy błąd względny pomiędzy objętością wody obliczoną na podstawie bilansu, a dawką która miała być zadana z aplikatora. Pomimo iż błąd ten jest niewielki autorzy artykułu A2 przeprowadzili dyskusję kilku możliwych przyczyn jego wystąpienia. Najprostsze wytłumaczenie to dokładność wprowadzanej dawki cieczy, która według producenta iniektora wynosi $\pm 10\%$. Autorzy sugerują również efekt mechanicznego zakłócenia struktury monolitu glebowego, obserwowany w doświadczeniu, jako jedną z przyczyn. Przy okazji warto zadać pytanie, czy błąd ten nie mógł również wynikać z dokładności pomiaru wilgotności objętościowej gleby wykorzystanym urządzeniem TDR. W pracy A2 (strona 6) autorzy informują, że pomiary prowadzone były z interwałem czasowym 30 s. Skoro okres dynamicznego narastania wilgotności (czas t_2-t_3) wynosił 12 s (str. 9 artykułu A2), to czy udało się uchwycić pomiarem rzeczywiste piki wilgotności w poszczególnych punktach, i jak wpłynęło to na bilans wodny? Bardzo ciekawą obserwacją dokonaną w przeprowadzonym eksperymencie jest wpływ aplikacji wody pod ciśnieniem na strukturę gleby. Może to stanowić istotny element ograniczający efektywność tej metody nawadniania, co niewątpliwie powinno być przedmiotem dalszych badań. Pomimo bardzo pozytywnej oceny badań przeprowadzonych w tej części sygnalizują dwa aspekty, które znacznie podniosłyby uniwersalność badań. Chodzi mi o zastosowanie modelowania matematyczno-fizycznego w oparciu o metodę elementów skończonych, i wykorzystanie istniejących w literaturze modeli transportu wody w glebie, które uwzględniają wpływ takich czynników jak skład granulometryczny, gęstość, porowatość, czy temperaturę. Porównanie wartości zmierzonych rozkładu wilgotności gleby po iniekcji z uzyskanymi takim modelem podniosłoby atrakcyjność pracy. Druga uwaga dotyczy badań tylko na jednym rodzaju gleby. Bardzo ciekawe byłoby porównanie wyników rozkładu wilgotności w doświadczeniu iniekcyjnym dla przynajmniej 2 rodzajów gleb. Ale na szczęście autorzy deklarują takie badania w przyszłości.

Trzecia część pracy dotyczy określania intensywności ewaporacji wody z gleby w warunkach iniekcyjnego nawadniania. Tematyka ta jest bardzo istotna dla lepszej oceny wpływu zastosowania metody iniekcyjnej na warunki wilgotnościowe w glebie. Ewaporacja z gleby to złożony proces, uwarunkowany głównie różnicą prężności pary wodnej między powierzchnią gleby i sąsiadującą z nią warstwą powietrza oraz strukturą powierzchni gleby i jej właściwościami fizykochemicznymi (w modelach oporowych wyrażonymi poprzez opór na transport pary wodnej w powierzchniowej warstwie gleby). Niewątpliwym utrudnieniem w badaniu ewaporacji gleby, uwzględniającym iniekcyjne, wgłębne podawanie wody jest fakt, że rozkład wilgotności wewnątrz objętości monolitu glebowego jest w tym przypadku niehomogeniczny, co niewątpliwie wpływa na dynamikę transportu

wody w profilu i jej rozkład w warstwie powierzchniowej. Dlatego przeprowadzone przez Kandydata badania (opisane w artykule A3) uważam za niezwykle wartościowe. W przeprowadzonym doświadczeniu wazonowym kontrolował metodą wagową ubytki wody z monolitu po zadaniu metodą iniekcijną różnych dawek wody na różnych głębokościach profilu. Przeanalizowane wartości ewaporacji pozwoliły wyciągnąć wniosek, że intensywność ewaporacji rośnie wraz z wielkością dawki i maleje ze wzrostem głębokości iniekcji. Kandydat opracował 2 modele empiryczne. Pierwszy z nich pozwala określić ewaporację gleby po nawodnieniu iniekcijnym, uwzględniając dawkę oraz głębokość aplikacji wody. W modelu tym wykorzystano zmodyfikowaną funkcję logistyczną. Drugi model szacuje intensywność ewaporacji gleby nawadnianej iniekcyjnie, wyłącznie w oparciu o średnią ważoną wilgotności objętościowej wierzchniej warstwy gleby. Zastosowano w nim funkcję wykładniczą do wpasowania danych. Oba modele zwalidowane zostały na niezależnym zbiorze danych. Lepszą dokładność wpasowania uzyskano w pierwszym z wymienionych modeli. Wyniki badań opublikowano w renomowanym czasopiśmie *Sensors*. Praca A3 zawiera pokaźną liczbę odnośników literaturowych (67), które wykorzystano głównie we Wstępie do przeglądu istniejących metod badania ewaporacji oraz posiada interesującą szatę graficzną. Pomimo pozytywnej oceny tej części pracy mam kilka uwag ogólnych. Model pierwszy opracowany przez Kandydata uwzględnia 2 czynniki wpływające na ewaporację z gleby (głębokość dawki i ilość aplikowanej wody). Większość istniejących modeli ewaporacji uwzględnia niedosyt prężności pary wodnej nad powierzchnią gleby i wiadomym jest, że ten czynnik ma decydujący wpływ na intensywność parowania. Autorzy pracy monitorowali zarówno wilgotność powietrza jak i jego temperaturę. Jak informują w pracy obie te wielkości fizyczne zmieniały się w trakcie eksperymentu w bardzo szerokim zakresie (wilgotność powietrza od 53% do 92% a temperatura od 21,5 °C do 29,1 °C). Dlaczego czynnik ten nie był uwzględniony w modelach? Druga wątpliwość dotyczy wilgotności początkowej gleby (bezpośrednio przed aplikacją dawki wody). Czy wilgotność ta była taka sama dla wszystkich powtórzeń eksperymentu? Już we wczesnych pracach dotyczących ewaporacji z gleby można znaleźć wyniki wskazujące, że wielkość ewaporacji w danym okresie czasu silnie zależy od wilgotności początkowej gleby i zależność ta nie jest wcale liniowa. Czy nie należałoby każdy eksperyment iniekcyjny prowadzić przy tej samej wilgotności początkowej, na przykład wilgotności odpowiadającej połowej pojemności wodnej (wiele modeli ewaporacji uwzględnia ten parametr jako daną wejściową)? A może warto byłoby powtórzyć eksperyment przy kilku wartościach wilgotności początkowej gleby? Zastanawiam się również, czy najfortunniejszym rozwiązaniem było tworzenie modelu dla 15 dniowych wartości ewaporacji. Rozumiem motywację autorów, że po tym czasie notowano bardzo małe przyrosty ewaporacji dla wszystkich wariantów. Jednakże autorzy dysponowali danymi dobowymi, mogli więc pokusić się o stworzenie bardziej ogólnego modelu uwzględniającego jako zmienną wejściową czas. Dodatkowo nasuwa się do tej pracy uwaga, że stworzone modele mają zastosowanie tylko dla jednej gleby. Warto byłoby w przyszłości rozszerzyć badania na kilka wybranych, różniących się głównie składem granulometrycznym i gęstością gleb. Pozwoliłoby to stworzyć bardziej uniwersalny model ewaporacji przy nawadnianiu iniekcijnym.

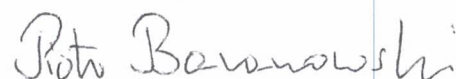
Ostatnim rozdziałem pracy jest Podsumowanie i wnioski, który streszcza efekt przeprowadzonych badań. O ile podsumowanie pracy, polegające na przedstawieniu najważniejszych osiągnięć uzyskanych w każdym z trzech przedstawionych artykułów jest przeprowadzone w sposób prawidłowy, to brakuje w tej części wypunktowanych ogólnych wniosków z przeprowadzonych badań. Chodzi tu o wnioski ogólne, które oceniłyby pozytywne i negatywne strony iniekcijnego nawadniania w kontekście kształtowania się warunków wilgotnościowych w glebie oraz dawały sugestie jakie elementy przyszłych systemów iniekcijnego nawadniania są niewrażliwe z punktu widzenia ich efektywności do utrzymania właściwych stosunków wodnych w glebie. Mam nadzieję, że Kandydat w autoreferacie swojej pracy doktorskiej takie ogólne wnioski uwzględni.

Dodatkowa część pracy pt. Dorobek naukowy, przedstawia dotychczasowe osiągnięcia naukowe Kandydata, które świadczą o jego dużym doświadczeniu naukowym i aktywności badawczej. Jest współautorem 10 publikacji, 10 wystąpień ustnych na konferencyjnych krajowych i 3 na konferencjach międzynarodowych. Jest również współautorem 8 posterów. Był również zaangażowany w realizację jednego projektu w konkursie NCBiR.

Uwagi końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że Kandydat opanował w bardzo dobrym stopniu umiejętność zaprojektowania i przeprowadzenia doświadczenia laboratoryjnego oraz zastosowania matematyczno-fizycznych modeli do określania zmian wilgotności w profilu glebowym i ewaporacji z powierzchni gleby. Pracę wyróżnia spójność, systematyczność i pracowitość oraz umiejętność posługiwania się najnowszym oprogramowaniem komputerowym i posiada istotny aspekt użyteczności. Zastosowane modele matematyczne i wyniki dotyczące wpływu iniekcyjnego nawadniania na dynamikę rozkładu wilgotności w glebie oraz intensywność ewaporacji z pewnością mogą być wykorzystane do projektowania coraz bardziej efektywnych systemów nawadniających pola uprawne, co w warunkach zmieniającego się klimatu i coraz bardziej odczuwalnego w skali kraju deficytu wody glebowej jest zagadnieniem fundamentalnym dla rolnictwa.

W moim przekonaniu przedstawiona rozprawa „Badania nad iniekcyjnym nawadnianiem wybranych roślin uprawnych” i osiągnięte wyniki spełniają wymagania stawiane pracom doktorskim określonych w Ustawie o Stopniach i Tytułach Naukowych oraz Stopniach i Tytułach w Zakresie Sztuki z dnia 14 marca 2003 (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami), stanowiąc wymagane „oryginalne rozwiązanie problemu naukowego” oraz dokumentując „umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej”. W związku z powyższym zwracam się do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu o dopuszczenie mgr inż. Amadeusza Walczaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. dr hab. Piotr Baranowski