

Skierniewice, 4 października 2024 r.

Dr hab. inż. Paweł Konopacki  
Zakład Agrotechnologii  
Instytut Ogrodnictwa – PIB  
Skierniewice

**Recenzja** rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Grodnego  
pt. „**Wpływ wieloobwodowego systemu grzewczego na warunki mikroklimatu  
wewnętrznego oraz zużycie ciepła w szklarni**”

wykonanej na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki  
Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie  
pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Kazimierza Rutkowskiego

Recenzja przygotowana na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, dr. hab. inż. Pawła Kiełbasy, prof. URK, skierowanego pismem z dnia 26 lipca 2024 r.

***Ocena wyboru tematyki badań***

Uprawa pod osłonami, a zwłaszcza produkcja warzyw, stanowi ważną część produkcji roślinnej w Polsce. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego zbiory warzyw w uprawach pod osłonami w 2021 roku przekroczyły 26% całkowitych zbiorów warzyw w Polsce. Składają się na nie całoroczna produkcja w szklarniach wyposażonych w systemy grzewcze oraz uprawa w obiektach nieogrzewanych, głównie tunelach foliowych, która trwa od wczesnej wiosny do jesieni. Wczesnowiosenna uprawa warzyw pod osłonami zapewnia dużą dostępność świeżych produktów na długo przed rozpoczęciem zbiorów warzyw gruntowych. Natomiast gospodarstwa produkujące warzywa w szklarniach ogrzewanych dostarczają polskim konsumentom w okresie zimowym świeże produkty, które najczęściej cechują się wyższymi walorami smakowymi oraz wyższą zawartością cennych składników prozdrowotnych od produktów importowanych w tym okresie. Szacuje się, że koszty ogrzewania upraw pod osłonami mogą przekraczać nawet 60% całkowitych kosztów produkcji, co powoduje, że zmniejszenie energochłonności jest ważnym zagadnieniem zarówno z punktu widzenia dostępności ekonomicznej tych produktów dla konsumentów, jak i opłacalności

produkcji. Z problematyką dogrzewania upraw pod osłonami wiąże się również kwestia mikroklimatu w którym rosną rośliny, a który wpływa nie tylko na wzrost i plonowanie roślin, lecz również na jakość plonu oraz presję patogenów i ilość koniecznych zabiegów ochrony roślin. Z tego powodu wybór tematu rozprawy doktorskiej postrzegam jako celowy i ważny społecznie, tym bardziej, że jest on kluczowy z punktu widzenia opłacalności upraw pod osłonami. Doktorant jako obiekt badań walidacyjnych użył szklarnię produkującą pomidory, co dodatkowo podnosi wartość aplikacyjną przeprowadzonych badań, ponieważ gatunek ten jest najczęściej uprawiany pod osłonami w Polsce.

### ***Charakterystyka formalna rozprawy***

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska ma formę monografii o strukturze zbliżonej do schematu wykorzystywanego w dysertacjach opartych na danych eksperymentalnych. Tytuł pracy jest zasadniczo zgodny z przedstawionym zakresem prac badawczych. W uprawach pod osłonami określenie „mikroklimat” obejmuje przede wszystkim temperaturę powietrza i jego wilgotność. Natomiast w przedstawionej pracy badany jest wpływ różnych wartości parametrów pracy systemu grzewczego na temperaturę powietrza oraz prędkość przepływu powietrza wewnątrz obiektu, ale nie na wilgotność powietrza. Jest to więc nie całkiem zgodne z tytułem pracy. Oprócz tego praca nie obejmuje metodycznych badań zużycia ciepła w szklarni. Dlatego właściwe byłoby sformułowanie tytułu w taki sposób, aby oddawał rzeczywisty zakres badań opisany w metodyce.

Rozprawa ma w większości układ klasyczny, od którego głównym odstępstwem jest umieszczenie na samym początku nie rozdziału ‘Wstęp’ tylko ‘Rozwój produkcji pod osłonami w Polsce oraz na świecie’. Rozdział ‘Przegląd literatury’ zapoznaje czytelnika z różnymi typami konstrukcji szklarni, materiałami pokryciowymi oraz systemami ogrzewania. W związku z takim zakresem tematycznym rozdział 2.1. ‘Materiały konstrukcyjne’ powinien raczej nazywać się ‘Typy konstrukcyjne obiektów do produkcji pod osłonami’ i obejmować również tunele, ponieważ w kolejnym podrozdziale Doktorant poświęca całą stronę foliom do pokrycia tuneli. W ‘Przeglądzie literatury’ rozdział 2.3.2. ‘Elementy grzejne nowej generacji i ich rozmieszczenie’ jest w większości zbędny. Opisywane w nim tzw. rury Walczaka nie są elementem systemów grzejnych użytych w badaniach, a szczegółowość opisu tego rozwiązania jest niewspółmierna do innych części ‘Przeglądu literatury’.



W dalszej części przedstawionej pracy po rozdziale ‘Cel i zakres pracy’ następuje rozdział ‘Przedmiot badań’. W klasycznym układzie pracy w tym miejscu znajdowałby się rozdział ‘Materiał i metody’, jednak w przedstawionej pracy inna nazwa tego rozdziału jest uzasadniona, ponieważ przedmiotem badań nie są różne materiały lecz różne parametry pracy systemu grzewczego, więc opis tego systemu grzewczego jest wręcz wymagany. Rozdział ten został jednak nadmiernie rozbudowany, bowiem ani budowa ani sposoby działania: kotłowni, systemu dozowania dwutlenku węgla, systemu dokarmiania roślin, systemu wywietrzników, systemu zasłon cieniująco-izolacyjnych, systemu doświetlania roślin oraz systemu wentylatorów nie znajdują odzwierciedlenia w przedstawionej metodyce badań. Wymienione systemy, w które wyposażony był walidacyjny, komercyjny obiekt szklarniowy, powinny zostać opisane bardziej syntetycznie. W moim przekonaniu niefortunnie dobrano nazwy do obiektów szklarniowych użytych podczas badań. O ile nazwa pierwszego z nich „Obiekt szklarniowy badawczy” nie budzi moich zastrzeżeń, to drugi z nich nie powinien się nazywać „Obiekt szklarniowy rzeczywisty”, bo pierwszy nie był wirtualny tylko również istnieje w rzeczywistości. Moim zdaniem lepsza byłaby nazwa „Obiekt szklarniowy walidacyjny”, bo jego rolę opisano właśnie jako „walidacyjną w stosunku do charakterystyk wygenerowanych w obiekcie badawczym”.

Kolejnymi dwoma rozdziałami są ‘Metodyka pomiarów’ oraz ‘Metodyka obliczeń’. Nie jest dla mnie zrozumiałe dlaczego Doktorant podzielił opis metodyki na dwa rozdziały, ani dlaczego opis kombinacji doświadczalnych zamieścił w drugim z tych rozdziałów. Informacja o kombinacjach doświadczalnych oraz opis różnic pomiędzy nimi jest, w moim przekonaniu, najważniejszym elementem metodyki badawczej i powinna znaleźć się na samym początku tego rozdziału. Nie jest również logiczne umieszczenie w tym rozdziale osobnych rozdziałów 5.2. ‘Charakterystyka czujnika temperatury’ oraz 5.3. ‘Charakterystyka przetwornika temperatury, które mogłyby być połączone ze sobą. Szczególnie, że kolejnym rozdziałem jest 5.4. ‘Charakterystyka czujnika prędkości ruchu powietrza’ a brak jest opisu przetwornika koniecznego do użycia tego czujnika.

Kolejne rozdziały to ‘Wyniki badań’ oraz ‘Dyskusja i wnioski’. Połączenie dyskusji i wniosków w jednym rozdziale nie było jednak dobrym pomysłem, bowiem wnioski nie zostały wyraźnie zaakcentowane i trudno określić jakie one dokładnie są. Na końcu pracy znajduje się rozdział ‘Literatura’ zawierający 104 pozycje oraz adresy 4 stron internetowych. Spośród

wspomnianych 104 pozycji literaturowych 45 jest obcojęzycznych, a 50 stanowią publikacje z ostatniej dekady.

Praca została zaopatrzona w streszczenie w języku polskim i angielskim, a także w spisy rysunków i tabel.

### ***Ocena merytoryczna rozprawy***

Rozprawa została zaplanowana jako sekwencja badań, najpierw w obiekcie szklarniowym bez uprawy roślin, a następnie w obiekcie szklarniowym z uprawą pomidorów, który miał pełnić rolę walidacyjną. Badania te miały doprowadzić do wielostronnego opisanie zmienności temperatury i przepływu powietrza w wycinku przekroju poprzecznego obiektu uprawowego w zależności od różnych parametrów pracy wieloobwodowego systemu grzejnego.

Doktorant analizując dostępną literaturę doszedł do słusznego wniosku, że dostępne opracowania dotyczące wpływu rozmieszczenia elementów układu grzewczego na zmienność temperatury i przepływu powietrza są najczęściej wycinkowe, w związku z czym brak jest kompleksowych, lecz zarazem precyzyjnych, wytycznych dotyczących planowania instalacji grzewczych w tym aspekcie.

Przedstawiony przegląd literatury dobrze ilustruje aktualny stan wiedzy i trendy w zakresie materiałów konstrukcyjnych i pokryciowych obiektów do upraw pod osłonami, jak również rodzajów stosowanych systemów grzewczych. Brak jest jednak w tym rozdziale szerszego omówienia wpływu nierównomiernego rozkładu temperatury powietrza na wzrost i plonowanie uprawianych roślin, a co za tym idzie wpływu na efekty ekonomiczne takiej sytuacji. Rozkład temperatur powietrza w szklarni wpływa również na wielkość strat ciepła, więc omówienie takiego wpływu byłoby wskazane. Szczególnie, że w tytule pracy umieszczono „zużycie ciepła w szklarni”. W przeglądzie literatury brakuje również omówienia wpływu nierównomiernego rozkładu prędkości przepływu powietrza na dostępność CO<sub>2</sub> dla poszczególnych stref wzrostu uprawianych roślin. Oba te czynniki, tj. zarówno rozkład temperatury jak i prędkości przepływu powietrza zostały omówione dopiero w rozdziale ‘Dyskusja i wnioski’.

Doktorant sformułował drugą hipotezę badawczą jako „Wymuszony ruch powietrza odpowiednią kombinacją działania systemu grzejnego pozwala na asymetryczny rozkład temperatur w przekroju poprzeczny szklarni”. Sądzę, że autor miał na myśli symetryczny



rozkład temperatur i traktuję to jako błąd pisarski. Jednak w tak ważnej części pracy naukowej nie powinien on wystąpić.

W metodyce brak jest informacji o ilości rejestrowanych danych pomiarowych i ich interwale, jak również o datach rozpoczęcia i zakończenia badań dla poszczególnych kombinacji badawczych. Jest to istotna informacja dla analizy porównawczej wyników uzyskanych w obiekcie badawczym i obiekcie walidacyjnym. Wprawdzie autor przedstawił analizę warunków meteorologicznych, tj. temperatury zewnętrznej powietrza, natężenia promieniowania słonecznego i prędkości ruchu powietrza, dla obiektu badawczego, ale nie zamieścił takich danych dla obiektu walidacyjnego. W metodyce brak jest również informacji jakich czujników użyto do pomiaru tych zmiennych, ani gdzie zostały one umieszczone.

Istnieje też sprzeczność w informacjach dotyczących siatki pomiarowej w obiekcie badawczym. Na rysunku 20 autor przedstawił zdjęcie użytej siatki pomiarowej, która składała się z 4 rzędów po 4 punkty pomiarowe w każdym, natomiast na rysunku 22a autor przedstawił schemat ideowy tejże siatki, który przedstawia 3 rzędy po 5 punktów pomiarowych. Dodatkowo z rysunku 22a wynika, że pomiary temperatury powietrza były przeprowadzone łącznie w 15 punktach, tymczasem analizę wyników przeprowadzono na danych zarejestrowanych tylko w 8 punktach. W przypadku pomiarów prędkości przepływu powietrza w obiekcie badawczym z rysunku 22a wynika, że pomiary były wykonywane w 9 punktach, a analiza obejmuje dane z 8 punktów.

Podobna nieścisłość występuje w danych dla obiektu walidacyjnego. Z rysunku 22b wynika, że pomiary temperatury wykonywano w 15 punktach, a pomiary prędkości przepływu powietrza w 9 punktach. Tymczasem analiza wyników obejmuje pomiary temperatury z 12 punktów, a pomiary prędkości ruchu powietrza z 8 punktów.

Doktorant opracował, metodą regresji krokowej postępującej, modele zależności od siebie mierzonych zmiennych. Dla danych zarejestrowanych w obiekcie badawczym opracował modele zależności prędkości przepływu powietrza w punktach pomiarowych 6. i 7. od temperatury powietrza mierzonej w różnych punktach siatki pomiarowej oraz od temperatury i prędkości przepływu powietrza na zewnątrz obiektu a także od natężenia promieniowania słonecznego. Natomiast dla danych zarejestrowanych w obiekcie walidacyjnym autor opracował modele zależności temperatury powietrza w 12 punktach pomiarowych od prędkości przepływu powietrza mierzonej w różnych punktach siatki pomiarowej bez uwzględniania

wpływu warunków zewnętrznych. Nie jest zrozumiałe, dlaczego autor dla jednego obiektu jako zmienną zależną wybrał temperaturę powietrza, a dla drugiego prędkość przepływu powietrza i na dodatek w przypadku obiektu walidacyjnego pominął możliwy wpływ warunków zewnętrznych. W ten sposób Doktorant pozbawił się możliwości porównania przy użyciu tych modeli wyników badań przeprowadzonych w obu obiektach.

Brak porównania wyników badań przeprowadzonych w obiekcie badawczym i walidacyjnym jest jedną z dwóch najpoważniejszych wad rozdziału 'Dyskusja i wnioski'. Wszak zakres pracy zakładał przeprowadzenie badań szczegółowych w obiekcie szklarniowym badawczym, a następnie „weryfikację zidentyfikowanych charakterystyk” w obiekcie szklarniowym walidacyjnym (nazywanym przez autora „rzeczywistym”). Brak wyników weryfikacji jest dużym brakiem przedstawionej pracy doktorskiej. Szczególnie, że z porównania wykresów warstwicznych przedstawiających rozkłady temperatur i prędkości przepływu powietrza w obu obiektach wynika, że rozkłady te były zdecydowanie różne.

Drugą ważną wadą rozdziału 'Dyskusja i wnioski' jest brak wyraźnie sformułowanych wniosków. Jedynym wyróżnionym w tym rozdziale zdaniem jest „Odnosząc uzyskane wyniki do obiektu badawczego zaobserwowano, że intensywność pracy systemu grzewczego środkowego (podrynnowego) ma decydujący wpływ na prędkość ruchu powietrza.” Wobec braku wyraźnie sformułowanych wniosków nie mogę ocenić ich poprawności.

Dodatkowo w rozdziale 'Dyskusja i wnioski' autor trzykrotnie zamieścił nieuzasadnione stwierdzenia. Na stronie 129 autor powołując się na tabelę 49 pisze, że „temperatura w strefie roślin jest zbliżona do temperatury w międzyrzędziach”. Niestety, w tabeli 49 podane są wyłącznie ogólne zakresy temperatur wewnątrz obiektu rzeczywistego (z uprawianymi roślinami). Co więcej, nigdzie w zamieszczonych tabelach nie ma informacji o temperaturach powietrza oddzielnie dla strefy roślin i dla międzyrzędzi. Dalej na tej samej stronie autor podaje, że „w strefie roślin występowało większe zróżnicowanie prędkości ruchu powietrza wraz z wysokością szklarni”. W tym przypadku również nie wiadomo na jakie dane autor się powołuje, bo nigdzie w przedstawionej pracy ich nie zamieścił. Na stronie 131 autor podaje, że „rośliny znajdujące się w szklarni powodują osiągnięcie stanu wyrównanej prędkości ruchu powietrza na wysokości o 100 mm wyżej w porównaniu do obiektu badawczego”. Informacje liczbowe o wysokości strefy wyrównanej prędkości powietrza znajdują się w tabelach 48 i 49. Z porównania tych wartości dla wariantów nastaw systemów grzewczych wspólnych dla obu



objektów wynika, że różnice w wysokości strefy wyrównanej prędkości powietrza wynoszą od 50 do 400 mm, w zależności od kombinacji doświadczalnej. Należy również w tym miejscu wspomnieć, że autor nie zamieścił w pracy definicji „strefy wyrównanej prędkości powietrza” ani metodyki obliczania jej wysokości, a tym bardziej analizy statystycznej tych wyników. Tym samym brak jest podstaw do sformułowania przytoczonych powyżej stwierdzeń.

Należy jednak pochwalić Doktoranta za użycie w rozprawie kilku różnych metod analizy statystycznej. Szkoda tylko, że zamieszczone tabele korelacji nie zostały wykorzystane do głębszej analizy model uzyskanych metodą regresji krokowej.

### ***Ocena edytorska rozprawy***

Język rozprawy jest w miarę poprawny, chociaż autor nie ustrzegł się od kilkukrotnego użycia zwrotów i określeń kolokwialnych. Widoczny jest również brak korekty edytorskiej, przez co w pracy wielokrotnie powtarzają się dwa rodzaje błędów:

1. Jednostki miar powinny być pisane z odstępem od wartości liczbowej. Zgodnie z zasadami polskiej tradycji ortotypograficznej tylko znaki „%” i „°C” pisze się za liczbą bez odstępem.
2. Spis literatury powinien być sporządzony zgodnie ze stylem przyjętym w danej oficynie wydawniczej lub jednostce naukowej, np. styl APA. Brak przyjęcia określonego stylu bibliograficznego spowodował, że w przypadku dziewięciu pozycji w spisie literatury nie jest wiadome, która z nich została zacytowana w danym miejscu pracy.

### ***Podsumowanie osiągnięć i znaczenie uzyskanych wyników***

Doktorant w swojej dysertacji przedstawił wyniki potwierdzające obie hipotezy badawcze.

Zmiany w parametrach pracy poszczególnych układów systemu grzewczego powodowały zmiany nie tylko w wielkości prędkości przepływu powietrza w szklarni, ale również zasadnicze zmiany w rozkładzie tej zmiennej w przekroju poprzecznym, a przynajmniej w tej części przekroju poprzecznego, która była objęta siatką pomiarową. Wpływ zmian parametrów pracy systemu grzewczego na rozkład prędkości przepływu powietrza był widoczny zarówno w wynikach badań prowadzonych w obiekcie szklarniowym badawczym, jak i obiekcie szklarniowym rzeczywistym.

Poprzez ustawienie odpowiedniej kombinacji parametrów pracy systemu grzejnego Doktorant uzyskał symetryczny rozkład temperatur w przekroju poprzecznym szklarni, chociaż

symetryczny rozkład temperatur autor uzyskał tylko w obiekcie rzeczywistym, tj. podczas uprawy pomidorów.

Uzyskane przez Doktoranta mają, w moim przekonaniu, wysoką wartość aplikacyjną oraz stanowią dobrą podstawę do dalszych prac badawczych zmierzających do uzyskania kompleksowej wiedzy o wpływie układu konstrukcyjnego oraz stosowanych parametrów pracy systemów grzewczych na symetryczność rozkładu temperatur oraz zmiany wielkości i rozkładu prędkości przepływu powietrza.

### **Wniosek końcowy**

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Krzysztofa Grodnego pod tytułem „Wpływ wieloobwodowego systemu grzewczego na warunki mikroklimatu wewnętrznego oraz zużycie ciepła w szklarni” w mojej ocenie spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 14 marca 2023 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2023 Nr 65 poz. 595) oraz Art. 187 ust. 1-4 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. z 2018, poz. 1668 ze zm.). Na tej podstawie wnoszę do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie o dopuszczenie Autora rozprawy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



dr hab. Paweł Konopacki