

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

Tytuł pracy: **„Wpływ wieloobwodowego systemu grzewczego na warunki mikroklimatu wewnętrznego oraz zużycie ciepła w szklarni”**

Autor: **Ing. Krzysztof Grodny**

Miejsce pracy: **Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, UNIWERSYTET ROLNICZY im. Hugona Kollataja w Krakowie**

Prowadzący: **prof. Ing. Kazimierz Rutkowski, Ph.D.**

Recenzent: **doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D., Katedra Mechaniki i Inżynierii Mechanicznej, Wydział Inżynierii, Czeski Uniwersytet Przyrodniczy w Pradze**

### **1. Podstawa prawna przygotowania oceny**

Recenzja została przygotowana w związku z postępowaniem o nadanie stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna (postępowanie o nadanie stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna). Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kollataja w Krakowie na zlecenie przewodniczącego rady dyscyplinarnej studiów doktoranckich w dyscyplinie inżynieria mechaniczna dr hab. inż. Pawła Kiełbasy, prof. URK, z dnia 26 lipca 2024 r.

### **2. Ogólne informacje**

Przedłożona rozprawa doktorska jest przygotowana zgodnie z obowiązującymi zasadami dla rozpraw doktorskich niebędących zbiorem opublikowanych artykułów naukowych. Zawiera 150 stron formatu A4, w tym spis treści, streszczenie, wykaz wykorzystanych źródeł oraz spis rycin i tabel.

Praca podzielona jest na 8 głównych rozdziałów. Układ pracy odpowiada wymogom stawianym tego typu pracom. Streszczenie i słowa kluczowe podano w języku polskim i angielskim. W rozdziale 1 krótko omówiono historię rozwoju produkcji roślin pod osłonami w Polsce. Przeglądowy rozdział 2 odnosi się do 104 pozycji źródeł literaturowych i 4 stron

internetowych. W rozdziale tym autor analizuje aktualny stan wiedzy w zakresie budowy szklarni. Koncentruje się na materiałach stosowanych do izolacji przegród, charakterystyce pracy wybranych systemów ogrzewania szklarni i ich wpływie na warunki mikroklimatyczne w szklarni oraz na energochłonność produkcji. Przedstawione informacje i ich interpretacja wraz z krytyczną oceną stanowią bardzo dobre uzasadnienie realizowanego problemu naukowego i są podstawą do określenia celu rozprawy oraz postawienia hipotez naukowych w rozdziale trzecim.

W rozdziałach 4, 5 i 6 opisano obiekty, w których wykonano pomiary, zastosowane przyrządy pomiarowe oraz metody oceny wyników.

W rozdziale 7 autor przedstawia wyniki badań. Wyniki badań obejmują dwa obiekty badawcze pierwszy z nich to obiekt badawczy bez roślin produkcyjnych drugi zaś dotyczy rzeczywistej szklarni produkcyjnej uprawiającej pomidory.

Porównanie własnych wyników z wynikami innych autorów, to. dyskusja i wyciągnięcie wniosków które są głównym tematem rozdziału 8.

Rozprawa jest kompleksowa i stanowi logicznie zamkniętą całość. Podjęta przez doktoranta tematyka mieści się w obszarze nauk inżynieryjno-technicznych w dziedzinie inżynierii mechanicznej.

### **3. Merytoryczna ocena rozprawy doktorskiej**

W rozdziale 2 autor ocenia zmiany, jakie zaszły w projektowaniu szklarni oraz materiałów stosowanych na przegrody od lat 80-tych XX wieku. Analizuje wpływ parametrów projektowych i zastosowanych materiałów na mikroklimat w szklarni oraz na zużycie energii zapewniające optymalne warunki wzrostu i rozwoju roślin.

Identyfikuje trzy główne trendy w stosowaniu nowych technologii dla zadanych powierzchni uprawnych. Są to w szczególności materiały syntetyczne tworzące podłoże oraz poprawa systemów zarządzania odżywianiem roślin. Zmiana rodzaju podłoża i jego lokalizacji w szklarni (uprawa w korytach), a także wydłużenie okresu wegetacji to nowe trendy w uprawie.

Doktorant wskazuje również na wzrost zapotrzebowania na ciepło w celu zapewnienia produkcji w szklarni w okresie przejściowym ze względu na zmianę stosunku pokrywy do powierzchni uprawy (znaczny wzrost wysokości szklarni). Zwraca również uwagę na fakt, że

szczególnej uwagę należy zwrócić na materiały konstrukcyjne wykorzystywane do budowy szklarni. Podkreśla, że materiał musi izolować od warunków zewnętrznych i zapewniać minimalną absorpcję promieniowania słonecznego.

Doktorant zwraca szczególną uwagę na działanie systemu ogrzewania i wentylacji. Ma to istotny wpływ na zmniejszenie zużycia ciepła. Źródła literaturowe są odpowiednio dobrane i przedstawione. Należy jednak zauważyć, że mniej niż 20% pozycji źródłowych zostało opublikowanych w ciągu ostatnich 5 lat, a 12 pozycji zostało opublikowanych przed rokiem 2000. Starsze pozycje są jednak dobrym uzupełnieniem informacji i stanu wiedzy z perspektywy historycznej i stanowią bogactwo doświadczeń w stopniowym wdrażaniu rozwiązań technicznych i organizacyjnych. Zwracam uwagę, że część badawcza pracy jest rozbudowana ilościowo i dostarcza informacji z czasopism polskich i zagranicznych. Jej zakres jest adekwatny i mimo uwag krytycznych stanowi wystarczające uzasadnienie dla badania i rozwiązania interdyscyplinarnego problemu badawczego.

Rozwiązanie problemu zależności między temperaturą nośnika ciepła systemu ogrzewania szklarni, przestrzennym rozkładem temperatury powietrza we wnętrzu szklarni i ruchem powietrza w przekroju szklarni uważam za właściwy cel rozprawy doktorskiej. Szkoda, że autor nie rozszerzył swojej rozprawy o zagadnienie wpływu wieloobwodowego systemu grzewczego na zużycie ciepła w szklarni. Zużycie ciepła w szklarniach to bardzo szeroki temat, dlatego rozumiem podejście doktoranta. Zagadnienie to może być również rozpatrywane niezależnie i zasługuje na dalszą uwagę.

Sformułowanie hipotez wynika z celu pracy. Hipotezy dotyczą możliwości sterowania ruchem powietrza w szklarni w oparciu o rozkład temperatur powietrza w jej przekroju. Wpływ na nie ma temperatura czynnika w poszczególnych systemach grzewczych.

Rozdział 4 bardzo szczegółowo opisuje przedmiot badań. Nie ma jednak powodów, aby dzielić go na 13 numerowanych podrozdziałów.

Rozdział 5 szczegółowo omawia metodologię badań. Jest on podzielony na dwa podrozdziały, z których pierwszy dotyczy sposobu wykonywania pomiarów. Opisano w nim siatkę pomiarową w zakładzie produkcyjnym i badawczym, czujniki wykorzystywane do pomiaru temperatury i prędkości powietrza oraz system archiwizacji danych. Drugi podrozdział przedstawia kombinacje ustawień roboczych rozważanych dla poszczególnych obiegów grzewczych zarówno w zakładach badawczych, jak i produkcyjnych.

Rozdział 6 krótko przedstawia zastosowane metody obliczeniowe. Uważam, że rozdział ten powinien zostać rozszerzony o niektóre informacje przedstawione w późniejszych rozdziałach. Obejmują one wstępne przetwarzanie surowych danych pomiarowych, wybór przedziałów czasowych do analiz porównawczych między obiektem badawczym a produkcyjnym.

W rozdziale 7 autor przedstawia wyniki pomiarów w szklarniach badawczych i produkcyjnych. Poszczególne podrozdziały prezentują bardzo szczegółowe wyniki analiz statystycznych mających na celu określenie wpływu nastaw temperatury czynnika grzewczego poszczególnych systemów grzewczych na rozkład temperatury powietrza w przekroju szklarni oraz na prędkość ruchu powietrza we wnętrzu budynku. Doktorant przedstawia wyniki analiz statystycznych dla każdego punktu pomiarowego oraz modeluje ich zmiany na podstawie informacji zebranych podczas pomiarów. W tym celu wykorzystuje modele regresji. Autor przedstawia nie tylko analizę w poszczególnych punktach siatki. Skupia się również na zmienności przestrzennej zarówno temperatury, jak i prędkości powietrza. Wykazuje się dobrą znajomością programu Statistica, w którym wykonywał poszczególne analizy.

Analizy są wykonane i przedstawione poprawnie. Pomimo dużej ilości danych pomiarowych praca jest nadal przejrzysta dla czytelnika. Uważam, że doktorant mógł bardziej podkreślić utylitarne znaczenie przeprowadzonych badań i zasygnalizować możliwości wykorzystania opracowanych algorytmów w sterowaniu poszczególnymi systemami w szklarni. Uzyskane wyniki pokazują, że odpowiednie ustawienia pracy poszczególnych systemów grzewczych mogą nie tylko zapewnić pożądaną temperaturę powietrza w szklarni, ale również zainicjować odpowiedni przepływ powietrza w poszczególnych strefach szklarni. Pozwala to na przykład na osiągnięcie wyższego stężenia CO<sub>2</sub> w strefie, w której rośliny mogą go lepiej wykorzystać do swoich potrzeb. Takie działanie będzie miało pozytywny wpływ na wielkość produkcji, a także winno zwiększyć jej rentowność. Lepsze wykorzystanie CO<sub>2</sub> przez rośliny ograniczy wydostawanie się dwutlenku węgla na zewnątrz wraz z powietrzem wentylacyjnym. Działanie to jest zatem rozsądne nie tylko ze względów ekonomicznych, ale także ekologicznych.

W dyskusji, w rozdziale 8, porównano wyniki badań własnych autora z wynikami opublikowanymi przez innych autorów. Wyniki potwierdzają, że parametry powietrza osiągnane w szklarni spełniają wymagania agrotechniczne dla uprawy roślin i pozwalają na

osiągnięcie zamierzonych prędkości ruchu powietrza w różnych strefach wzrostu roślin. W rezultacie można zwiększyć efektywność ich oddziaływania. Tabele zamieszczone w tym rozdziale w bardzo przejrzysty sposób podsumowują uzyskane wyniki. Syntetycznie ilustrują one wpływ ustawień różnych systemów grzewczych na ruch powietrza w roślinach badawczych i rzeczywistych. Powinny one jednak zostać przedstawione w rozdziale 7, a autor powinien się do nich odnieść dopiero w rozdziale 8.

#### 4. Pytania

Proponuję, aby autor podczas obrony odpowiedział na następujące pytania:

1. Jak kształtowało się jednostkowe zużycie ciepła w szklarniach w Polsce na przestrzeni ostatnich 30 lat? Jak zmieniła się ich konstrukcja obiektów oraz technologie uprawy?
2. W rozprawie na stronie 30 podano maksymalną osiąganą prędkość przepływu powietrza 0,45 m-s-1. Literatura zaleca prędkość do  $0,5 \div 0,7$  m-s-1 dla uprawy pomidorów. Za pomocą jakich środków i w jakich warunkach można osiągnąć taką prędkość?

#### 5. Wnioski

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Grodnego pt. „Wpływ wieloobwodowego systemu grzewczego na warunki mikroklimatu wewnętrznego oraz zużycie ciepła w szklarni” jest oryginalnym rozwiązaniem tematu naukowego i mieści się w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie budowa maszyn. Wykazuje specjalistyczną wiedzę autora w dziedzinie inżynierii mechanicznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane w Rzeczypospolitej Polskiej rozprawom doktorskim wynikające z Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzania czynności w przewodach doktorskim i habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego z dnia 26 września 2016 r.

Biorąc pod uwagę powyższe, rekomenduję Radzie Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki dalsze postępowanie w sprawie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do

publicznej obrony. Proponuję, aby po pomyślnej obronie Pan mgr inż. Krzysztof Grodny otrzymał stopień naukowy „doktora”.

Praga, 24 sierpnia 2024 r.

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.



## ACADEMIC REVIEW OF THE DOCTORAL DISSERTATION

Title: **„The Influence of a Multi-Circuit Heating System on the Conditions of the Internal Microclimate and Heat Consumption in a Greenhouse”  
„Wpływ wieloobwodowego systemu grzewczego na warunki mikroklimatu wewnętrznego oraz zużycie ciepła w szklarni”**

Author: **Ing. Krzysztof Grodny**

Department: **Faculty of Production and Power Engineering, University of Agriculture in Krakow**

Supervisor: **prof. Ing. Kazimierz Rutkowski, Ph.D.**

Opponent: **Asc. Prof. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D., Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Czech University of Life Sciences Prague**

### 1. Legal basis for preparing the review

The review was prepared in connection with the proceedings for the conferral of the academic degree of Doctor in Mechanical Engineering (postępowanie o nadanie stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna). It was prepared based on the Resolution of the Discipline Council of Mechanical Engineering (Rada dyscypliny inżynieria mechaniczna) at the Hugo Kołłątaj University of Agriculture in Kraków (Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie) on the appointment of the opponent – see the letter of the chairman of the Discipline Council of Mechanical Engineering Dr hab. inż. Paweł Kiełbasa, prof. URK, dated 26 July 2024.

### 2. General Information

The submitted doctoral dissertation was prepared in accordance with the applicable rules for doctoral dissertations, which are not a collection of published scientific articles. It consists of 150 A4 pages, including a table of contents, a summary, a list of references and lists of figures and tables.



tf.czu.cz

The dissertation is structured into eight primary chapters. The layout corresponds to the requirements for this type of work. The abstract and keywords are in Polish and English. Chapter 1 briefly mentions the history of the use of covered growing areas in Poland. The literature review (Chapter 2) refers to 104 items of literature sources and 4 websites. In this chapter, the author analyses current knowledge in greenhouse construction. He focuses on the materials used for partition insulation, the characteristics of the operation of selected greenhouse heating systems and their effects on microclimatic conditions in the greenhouse, and the energy demand of production. The information presented and its interpretation, together with a critical assessment, constitute great justification for the existence of a scientific problem and form the basis for determining the objective of the dissertation and the scientific hypotheses in the third chapter.

Chapters 4, 5 and 6 describe the facilities where the measurements were made, the measuring instruments and the methods used to evaluate the results.

The author presents the research results in Chapter 7; he divides it into three subchapters. It presents the results of the research carried out in a research facility without production plants and the results obtained in a real production greenhouse growing tomatoes.

The comparison of the results with the results of other authors' research (i.e. the discussion) and the drawing of conclusions is the focus of Chapter 8.

The dissertation is coherent and represents a logically structured piece of work. The topic that the PhD student deals with is well within the domain of engineering and technical sciences in mechanical engineering.

### **3. Substantive evaluation of the dissertation**

In the literature review (Chapter 2), the author assesses the evolution of greenhouse construction and partition materials since the 1980s. He examines the impact of construction parameters and used materials on the greenhouse microclimate and energy consumption to maintain optimal conditions for plant growth and development.

He identifies three main trends in using new technologies for covered growing areas. These are, in particular, the use of synthetic material as a substrate and the improvement of plant nutrition management systems. Changing the type of substrate and its location



in the greenhouse (growing in troughs) and extending the growing period are new trends in cultivation.

The PhD candidate also draws attention to the increased heat demand to ensure production in the greenhouse during the transition period due to the change in the ratio of the cover surface to the growing area (significant increase in greenhouse height). He also points out that special attention must be paid to the materials used in the greenhouse construction. He stresses that the material must insulate against external conditions and ensure minimal absorption of solar radiation.

The PhD student draws attention to the need to pay special attention to the operation of the heating and ventilation system. It has a significant impact on reducing heat consumption. Literature sources are selected and presented appropriately, though it should be noted that less than 20% of the references are from the last five years and 12 items were published before 2000. However, the older sources supplement to the information and state of knowledge from a historical perspective and represent rich experience in the progressive implementation of technical and organisational solutions. I note that the research part of the paper is quantitatively extensive and provides information from Polish and foreign journals. Its scope is appropriate, and despite the critical comments, it provides sufficient justification for researching and solving an interdisciplinary research problem.

I consider the solution of the problem of the relationship between the temperature of the heat transfer medium of the greenhouse heating system, the spatial distribution of the air temperature in the interior of the greenhouse and the air movement in the cross-section of the greenhouse as a suitable goal for a doctoral dissertation. It is a pity that the author did not extend his dissertation to include issues concerning the effect of the multi-circuit heating system on the heat consumption in the greenhouse. Heat consumption in greenhouses is a vast topic; therefore, I understand the PhD student's approach. This issue can also be addressed independently and deserves further attention.

The formulation of hypotheses is based on the objective of the dissertation. The hypotheses point to the possibility of controlling the air movement in the greenhouse based on the distribution of air temperatures in its cross-section. These are influenced by the temperature of the medium in the individual heating systems.



tf.czu.cz

Chapter 4 describes the research subject in great detail. However, there are no justifications for dividing it into 13 numbered subchapters.

Chapter 5 elaborates on the research methodology. It is divided into two subchapters, the first of which addresses the measurement techniques. It describes the measurement grid in the production and research facility, the sensors used to measure temperature and air movement velocity and the data archiving system. The second subchapter outlines the combinations of operating settings for the individual heating circuits for research and production sites.

Chapter 6 briefly presents the calculation methods employed. I believe this chapter should be expanded to incorporate some of the information presented in subsequent chapters. These include preprocessing the raw measurement data and selecting time intervals for comparative analyses between research and production facilities.

In Chapter 7, the author presents the results of measurements in the research and production greenhouses. The individual subchapters present detailed results of statistical analyses aimed at determining the impact of the temperature setting of the heating medium of the individual heating systems on the air temperature distribution in the cross-section of the greenhouse and on the air movement velocity in the interior of the facility. The PhD student presents the results of statistical analyses for individual measurement points and models their changes based on the information collected during the measurements. For this purpose, he uses regression models. The author presents the analysis at individual points of the network and focuses on the spatial variability of both temperature and air movement velocity. He demonstrated a good knowledge of the *Statistica* program, in which he performed individual analyses.

The analyses are performed and presented correctly. Despite the large volume of measured data, the work remains accessible to readers. I believe that the PhD student could have further emphasized the research's utilitarian significance and indicated the possibilities of using the developed algorithms in controlling the greenhouse's individual systems. The findings indicate that appropriate operational settings of individual heating systems can maintain the required air temperature in the greenhouse and initiate appropriate airflow in specific greenhouse zones. This knowledge will, for example, make it possible to achieve a



tf.ozu.cz

higher concentration of CO<sub>2</sub> in the zone where plants can better use it for their needs. Such a measure will positively affect crop production and increase its profitability. Better use of CO<sub>2</sub> by plants will also reduce CO<sub>2</sub> leakage from the greenhouse through ventilation. Therefore, this measure is sensible both economically and ecologically.

The discussion (Chapter 8) compares the findings of the author's research with those published by other authors. The results confirm that the air parameters achieved in the greenhouse meet the agrotechnical requirements for cultivating plants and allow the desired air movement velocity to be achieved in the different plant growing zones. As a result, the efficiency of their nutrition can be increased. The tables in this chapter conveniently summarise the results obtained. They synthetically illustrate the influence of the settings of the different heating systems on the air movement in research and actual facilities. However, they should be presented in Chapter 7 and the author should refer only to them in Chapter 8.

#### 4. Questions

I suggest that the author answer the following questions in his defence:

1. How has the specific heat consumption of greenhouses in Poland developed over the last 30 years? How has their construction and cultivation technology changed?
2. The maximum achieved air movement velocity of 0.45 m·s<sup>-1</sup> is mentioned in the dissertation on page 30. The literature recommends a velocity of up to 0,5÷0,7 m·s<sup>-1</sup> for tomato cultivation. By what measures and under what conditions could this speed be achieved?

#### 5. Conclusion

I declare that the doctoral dissertation of Ing. Krzysztof Grodny entitled „The Influence of a Multi-Circuit Heating System on the Conditions of the Internal Microclimate and Heat Consumption in a Greenhouse“ („Wpływ wieloobwodowego systemu grzewczego na warunki mikroklimatu wewnętrznego oraz zużycie ciepła w szklarni“) is an original solution to the scientific problem and falls within the field of technical sciences in the discipline of mechanical engineering. It confirms the author's expert knowledge in the discipline of mechanical engineering and the ability to conduct scientific research independently.




tf.czu.cz

The doctoral dissertation meets the requirements for doctoral dissertations in the Republic of Poland under the Act of March 14, 2003, on Academic Degrees and Academic Titles and Degrees and Titles in the Field of Art and the Regulation of the Minister of Science and Higher Education of September 26, 2016, on the Detailed Procedure for the Conduct of Activities in Doctoral and Postdoctoral papers and in the Procedure for the Award of a Scientific Degree.

Considering the above, I recommend that the Discipline Council of Mechanical Engineering proceed to further proceedings in the doctoral dissertation and admit the dissertation to public defence. After a successful defence, I propose that Mr. Ing. Krzysztof Grodny be awarded the academic degree of "Doctor".

Prague, 24 August 2024



Asc. Prof. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

