

prof. dr hab. Mariusz Matyka
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

Puławy, 02.11.2022 r.

Recenzja pracy doktorskiej

mgr inż. Dumitru Peni

pt.: „Wydajność biomasy i biogazu z bylin wieloletnich jako przyjazne

dla środowiska źródło energii”

wykonanej w

Katedrze Genetyki, Hodowli Roślin i Inżynierii Biosurowców

na Wydziale Rolnictwa i Leśnictwa

oraz

Katedrze Inżynierii Środowiska

na Wydziale Geoinżynierii

Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie

pod kierunkiem

prof. dr hab. inż. Mariusza J. Stolarskiego

prof. dr hab. inż. Marcina Dębowskiego

Kluczowymi elementami warunkującymi stabilny rozwój współczesnych społeczeństw jest dostęp do żywności i energii. Czynniki te stanowią podstawową siłę sprawczą zapewniającą utrzymanie poziomu życia i rozwój cywilizacyjny oraz gospodarczy. Stały wzrost liczbowy populacji ludzkiej oraz rosnąca konsumpcja energii i żywności skutkuje ciągłym wzrostem popytu w tym zakresie. Obecnie zaspokajany jest on głównie poprzez wykorzystanie zasobów nieodnawialnych, a w szczególności paliw kopalnych. Konsekwencją tego jest sukcesywne i ciągłe wyczerpywanie ich zasobów połączone z negatywnym oddziaływaniem na środowisko przyrodnicze i klimat. Bieżąca sytuacja wskazuje również na to, że ze względu na nierównomierny rozkład zasobów paliw kopalnych w świecie mają one charakter strategiczny i są istotnym narzędziem geopolityki. Narastające w ostatnich latach wokół paliw kopalnych problemy natury ekonomicznej, społecznej, środowiskowej i politycznej skłoniły władze wielu krajów do poszukiwania alternatywnych źródeł energii opartych głównie na zasobach odnawialnych. Zakłada się, że szeroko pojęta biomasa stanie się nowoczesnym i czystym nośnikiem energii. Produkcja biomasy i jej wykorzystanie ma także na celu ograniczenie emisji do atmosfery gazów cieplarnianych oraz powinna służyć rozwojowi społecznemu i ekonomicznemu. W tym

kontekście ważną rolę może odegrać rolnictwo, które oprócz produkcji żywności i pasz powinno również dostarczać szeroko pojętych dóbr środowiskowych oraz stać się źródłem paliw i energii ze źródeł odnawialnych. Produkcja energii odnawialnej, m.in. ze względu na logistykę zaopatrzenia w surowce, odbywa się na ogół w źródłach rozproszonych. Jest to dodatkowym atutem rozwoju tego modelu pozyskiwania energii w kontekście rynkowych i strategicznych uwarunkowań globalnych.

Zdecydowaną część energii odnawialnej pozyskuje się poprzez wykorzystanie biomasy w procesie spalania, przetwarzania na bioetanol i biodiesel oraz rozkładu beztlenowego w procesie fermentacji metanowej. Produkcja biogazu rolniczego w Polsce w początku drugiej dekady XXI w. rozwijała się bardzo dynamicznie, jednak ze względu na załamanie systemu subwencjonowania wynikające ze znacznego spadku cen „zielonych certyfikatów” sektor ten napotkał na problemy natury ekonomicznej. Po wprowadzeniu w ostatnich latach odpowiednich regulacji prawnych sytuacja w sektorze biogazu ustabilizowała się, ale w dalszym ciągu brak jest widocznej tendencji rozwojowej. Dlatego bardzo ważne jest poszukiwanie tanich i efektywnych substratów pochodzenia roślinnego, które zapewnią opłacalność produkcji biogazu rolniczego. Ponadto surowce te nie powinny konkurować o zasoby czynników produkcji, głównie ziemi, z uprawami na cele żywnościowe i paszowe.

W świetle powyższych faktów podjęte przez mgr inż. Dumitru Peni badania dotyczące wydajności biomasy i biogazu z bylin wieloletnich jak przyjaznego dla środowiska źródła energii należy uznać za interesujące i wysoce aktualne. Problemy poruszane w ocenianej rozprawie są bardzo istotne, zarówno ze względów poznawczych jak i użytkowych.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska została przygotowana w formie spójnego tematycznie zbioru czterech artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych, zgodnie z art. 13 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami). Pierwsza część rozprawy obejmuje 31 stron, w tym 5 tabel i 15 rysunków, które stanowią syntezę wyników badań opublikowanych w załączonych w drugiej części pracach naukowych. Zasadniczą treść opracowania przedstawiono w dziewięciu rozdziałach, uszeregowanych w następujący sposób: 1. Lista publikacji stanowiących pracę doktorską, 2. Wstęp, 3. Cel pracy, 4. Materiał i metody, 5. Wyniki i dyskusja, 6. Podsumowanie 7. Literatura, 8. Kopie opublikowanych prac naukowych.

Osiągnięciem naukowym mgr inż. Dumitru Peni, które jest podstawą do ubiegania się o stopień doktora są następujące prace naukowe:

1. **Peni D., Stolarski M.J., Dębowski M.** Green biomass quality of perennial herbaceous crops depending on the species, type and level of fertilization. *Industrial Crops and Products* 2022, 184, 115026. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115026>. (IF=6.449; 200 pkt. MEiN).

2. **Peni D.**, Dębowski M., Stolarski M.J. *Helianthus salicifolius* as a New Biomass Source for Biogas Production. *Energies* 2022, 15, 2921. <https://doi.org/10.3390/en15082921>. (IF=3.252; 140 pkt. MEiN).
3. **Peni D.**, Dębowski M., Stolarski M.J. Influence of the Fertilization Method on the *Silphium perfoliatum* Biomass Composition and Methane Fermentation Efficiency. *Energies* 2022, 15, 927. <https://doi.org/10.3390/en15030927>. (IF=3.252; 140 pkt. MEiN).
4. Stolarski M.J., **Peni D.**, Dębowski M. Biogas potential of cup plant and willow-leaf sunflower biomass. *Energy* 2022, 255, 124559; <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124559>. (IF=8.857; 200 pkt. MEiN).

Powyższe publikacje są niewątpliwie spójne tematycznie i stanowią efekt przemyślanego, logicznego i spójnego procesu badawczego. Doktorant w trzech spośród nich jest pierwszym autorem, a jego wkład w przygotowanie każdej publikacji wynosi 60%. W przypadku czwartej publikacji Doktorant jest drugim autorem, a jego wkład w przygotowanie wynosi 40%. Wszystkie przedłożone do oceny publikacje zostały opublikowane w 2022 r. w wysoko punktowanych czasopismach z listy Journal Citation Reports (JCR). O wysokim poziomie opublikowanych prac świadczy łączny IF=21,81 oraz liczba punktów MEiN wynosząca 680.

Podkreślić należy, że cele pracy zostały postawione w sposób klarowny i syntetyczny w związku z tym nie budzą wątpliwości. Układ pracy jest logiczny i spełnia wymagania stawiane dysertacjom doktorskim. Publikacje składające się na osiągnięcie napisane są językiem zrozumiałym oraz umożliwiającym sprawne śledzenie przeprowadzonych badań i analizę przedstawionych wyników.

Pewne wątpliwości budzi tytuł pracy, który sugeruje że materiał może odnosić się również do aspektów środowiskowych produkcji biomasy ocenianych gatunków. Faktycznie taka ocena nie została wykonana, co więcej w podsumowaniu publikacji nr 4 z powyższej listy Autorzy wskazują na potrzeby kontynuacji badań pod kątem oceny zewnętrznych efektów środowiskowych. W związku z tym wydaje się że bardziej adekwatne byłoby następujące brzmienie tematu: „„Wydajność biomasy i biogazu z wybranych bylin wieloletnich”.

Podstawę do opracowania rozprawy doktorskiej stanowiły trzyletnie (2019-2021) wyniki badań polowych nad uprawą słonecznika wierzbolistnego *Helianthus salicifolius* i roznika przerośniętego *Silphium perfoliatum* przeprowadzone w Zakładzie Doświadczalnym UWM w Łężanach sp. z o.o. (53°59' N, 21°09' E) Badane rośliny zbierano w cyklu jednorocznym z przeznaczeniem do produkcji biogazu z biomasy zielonej lub po jej zakiszeniu. W kolejnym kroku pozyskaną z pola biomasę poddano szczegółowym analizom laboratoryjnym. Celem badań była ocena plonowania, jakości biomasy oraz potencjału biogazowego i analiza ekonomiczna ocenianych gatunków. Oprócz gatunku czynnikami

doświadczenia były również rodzaj stosowanego nawozu (organiczny i mineralny) oraz dawka azotu (85 i 170 kg ha⁻¹ N). Należy podkreślić, że przeprowadzone badania cechowały się szerokim zakresem merytorycznym co determinowało ich znaczną pracochłonność.

Przeprowadzone w trakcie przygotowania rozprawy badania cechowały się wielowątkowością celów, które zostały zdefiniowane jako:

- Ocena rozwoju roślin *Silphium perfoliatum* i *Helianthus salicifolius* w trzyletnim doświadczeniu polowym.
- Ocena właściwości termofizycznych i chemicznych biomasy zielonej gatunków *Silphium perfoliatum* i *Helianthus salicifolius* w zależności od rodzaju nawozu i dawki N
- Oszacowanie efektywności fermentacji beztlenowej w zależności od formy biomasy tj świeża masa i kiszonka.
- Weryfikacja wpływu rodzaju nawożenia i dawki N na skład biomasy i wydajność produkcji biogazu oraz zawartość metanu.
- Ocena efektywności fermentacji beztlenowej w zależności od gatunku, rodzaju i poziomu nawożenia oraz roku uprawy.
- Określenie plonu suchej masy, biogazu i potencjału metanowego w zależności od gatunku, rodzaju i poziomu nawożenia oraz roku zbioru.
- Analiza ekonomiczna produkcji biomasy i potencjalnego produkcji energii z ha.

Dobór i zakres metod badawczych oraz przyjętych kryteriów oceny należy uznać za wystarczający i umożliwiający realizację założonych celów badania.

Opis wyników zawarty w ocenianych publikacjach naukowych wskazuje na dobre rozeznanie Doktoranta w zakresie tematyki objętej badaniami. Autor w wyniku przeprowadzonych prac wykazał, że, rozwój roślin różnił się istotnie w zależności od gatunku i rodzaju nawożenia. Ponadto gatunek, rodzaj nawożenia i poziom nawożenia azotem istotnie wpływały na większość cech termofizycznych i chemicznych świeżej masy badanych roślin. Biomasa *Silphium perfoliatum* zawierała więcej wilgoci, popiołu, chloru, celulozy i ligniny, natomiast biomasa *Helianthus salicifolius* charakteryzowała się wyższą wartością ciepła spalania oraz wyższą zawartością węgla związanego, węgla, wodoru, siarki i hemicelulozy.

Ponadto mgr inż. Dumitru Peni udowodnił, że zastosowanie nawożenia organicznego i mineralnego spowodowało obniżenie wilgotności, zawartości popiołu i ligniny. Nawożenie skutkowało także zwiększeniem wartości ciepła spalania oraz zawartości chloru, hemicelulozy i celulozy. Natomiast zastosowanie dawki azotu 170 kg·ha⁻¹ nieznacznie zwiększyło zawartość wilgoci, ciepła spalania, części lotnych, węgla, wodoru, siarki, azotu ogólnego, chloru, hemicelulozy i celulozy. W związku z tym

gatunek, rodzaj nawożenia i poziom nawożenia azotem istotnie wpływały na większość cech termofizycznych i chemicznych świeżej masy badanych roślin.

Ważny z praktycznego punktu widzenia jest wniosek wskazujący na to, że *Silphium perfoliatum* w porównaniu do *Helianthus salicifolius* charakteryzuje się o ponad 50% wyższą wydajnością w zakresie produkcji biogazu, metanu oraz potencjalnej produkcji energii z jednostki powierzchni. Stwierdzono także, że rodzaj nawozu i dawka azotu nie ma wpływu na wydajność biogazu i metanu. Dodatkowo analiza ekonomiczna potwierdziła, że *Silphium perfoliatum* jest gatunkiem bardziej perspektywicznym, gdyż potencjalny dochód z produkcji energii elektrycznej z biomasy tego gatunku w biogazowni był wyższy (482%) w porównaniu do *Helianthus salicifolius*.

Dyskusja wyników badań ma charakter wielowątkowy i powstała w oparciu o obszerne piśmiennictwo zagraniczne i krajowe. Autor umiejętnie skonfrontował wynik badań własnych z danymi i opiniami innych autorów. Zawarte w podsumowaniu wnioski w większości zostały sformułowane w sposób syntetyczny i poprawny.

Podsumowując należy stwierdzić, że Doktorant przygotowując ocenianą dysertację wykazał się odpowiednim poziomem ogólnej wiedzy teoretycznej z dyscypliny rolnictwo i ogrodnictwo. Legitymuje się również umiejętnością samodzielnej pracy naukowej. Nie ulega wątpliwości, że przygotowana przez mgr inż. Dumitru Peni rozprawa stanowi oryginalne i cenne rozwiązanie postawionego problemu.

Niemniej jednak lektura przedmiotowej rozprawy skłania do przedstawienia kilku uwag o charakterze krytycznym oraz polemicznym, które w niczym nie umniejszają wartości merytorycznej pracy.

Uwagi:

- ✓ W pierwszej części rozprawy stanowiącej syntezę na stronie 10 przedstawiono informację, że początkowa obsada słonecznika wierzbolistnego wynosiła 20 tys. \cdot ha⁻¹ a różnika przerośniętego 10 tys. \cdot ha⁻¹. Natomiast w pracach opublikowanych w *Industrial Crops and Products* i *Energy* informację dotyczące obsady są odmienne. Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki w zakresie znacznie większej wydajności różnika przerośniętego należy przypuszczać, że informacje w pierwszej części dysertacji są błędne. Ponadto wskazać należy, że tak zróżnicowana obsada mogła mieć decydujący wpływ na uzyskane wyniki, nawet większy niż badane czynniki.
- ✓ Uzupełnienia wymaga informacja w ilu powtórzeniach pobierano roślin z pola i prowadzono fermentację metanową dla każdego pojedynczego obiektu badawczego.

- ✓ Na uzyskane wyniki w niewielkim stopniu mogło mieć wpływ to, że czas kiszenia i temperatura przechowywania kiszonki dla słonecznika wierzbolistego i różnika przerośniętego były odmienne, odpowiednio 10 i 7 miesięcy oraz 10-20°C i 10-15°C.
- ✓ W metodyce brak jest informacji czy skład inokulum wykorzystywanego w procesie fermentacji metanowej był badany corocznie, czy tylko w pierwszym roku badań. Ponadto tylko w jednej z prac (Energy) zawarta jest informacja dotycząca kompozycji substratów z których pozyskiwane było inokulum. Czy w pozostałych eksperymentach ten skład był tożsamy?
- ✓ Doprecyzowania wymaga informacja, zawarta w metodyce pracy opublikowanej w Energy tj. dlaczego inokulum przez 10 dni było przechowywane bez dodatku materii organicznej? Mogło to spowodować znaczne zubożenie flory bakteryjnej prowadzącej proces fermentacji metanowej.
- ✓ Niezrozumiałe jest dlaczego proces fermentacji metanowej prowadzony był w zdefiniowanym zakresie czasowym 25 dni. Fermentacja jest procesem dynamicznym i zróżnicowanym w zależności od rodzaju substratu, dlatego lepszym rozwiązaniem byłoby przyjęcie założenia, że proces jest kończony gdy produkcja metanu wynosi np. < 5 ml/dzień.
- ✓ Wyjaśnienia wymaga dlaczego nie badano wydajności biogazu i metanu z substratów pozyskanych w ostatnim (2021) roku badań?
- ✓ W metodyce brak jest odniesienia literaturowego do przyjętego założenia, że efektywność produkcji energii elektrycznej w biogazowni wynosi 38%.
- ✓ Wraz z wykorzystaniem do nawożenia organicznego pofermentu na pole dostarczano znaczne ilości wody (17 i 34 dm³ ha⁻¹). Czy zdaniem Doktoranta mogło to mieć wpływ na zwiększenie plonowania badanych bylin w obiekcie z nawożeniem organicznym?
- ✓ Jak Doktorant wyjaśni duże różnice w wydajności energii z jednostki powierzchni w zależności od rodzaju nawozu przedstawione m.in. na rys. 2 w pracy pt. „Biogas potential of cup plant and willow-leaf sunflower biomass”.
- ✓ Sugeruję, aby w oparciu o zebrane dane w przyszłości przygotować opracowanie dotyczące bilansu składników pokarmowych dla poszczególnych obiektów doświadczalnych. Jest to zagadnienie bardzo ważne ze środowiskowego punktu widzenia.
- ✓ Przedstawiona na str. 7 dysertacji różnica w wilgotności biomasy wynoszącą 14,8% jest odmienna od wynikającej z danych zawartych w tabeli S4 załącznika, z których wynika, że różnica ta wynosi 11,2%.

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Dumitru Peni pt.: „*Wydajność biomasy i biogazu z bylin wieloletnich jako przyjazne dla środowiska źródło energii*”. spełnia wymagania stawiane tego typu pracom w art. 187 ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2022 poz. 574) i kwalifikuję Kandydata do ubiegania się o stopień doktora w dziedzinie nauk rolniczych w zakresie dyscypliny naukowej *rolnictwo i ogrodnictwo*. **W związku z powyższym zwracam się do Rady Naukowej dyscypliny rolnictwo i ogrodnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie o dopuszczenie mgr inż. Dumitru Peni do dalszych etapów postępowania doktorskiego.**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Dumitru Peni', is located in the lower right quadrant of the page.

prof. D.Sc., PhD., M.Eng. Mariusz Matyka
Institute of Soil Science and Plant Cultivation
State Research Institute in Puławy

Puławy, 02.11.2022 r.

Review of PH.D dissertation

MSc. Eng. Dumitru Peni

**titled.: „Biomass and biogas productivity from perennial herbaceous crops
as an environmentally friendly source of energy”**

prepared in

Department of Genetics, Plant Breeding and Bioresource Engineering

Faculty of Agriculture and Forestry

and

Department of Environmental Engineering

Faculty of Geoengineering

University of Warmia-Mazury in Olsztyn

under the supervision of

prof. D.Sc., PhD., M.Eng. Mariusza J. Stolarskiego

prof. D.Sc., PhD., M.Eng. Marcina Dębowskiego

The key elements for the stable development of modern societies are access to food and energy. These factors constitute the main driving force ensuring the maintenance of the standard of living as well as the civilization and economic development. The continuous growth of the human population and the increasing consumption of energy and food result in an increase in demand in this area. Currently, it is satisfied mainly by the use of non-renewable resources, in particular fossil fuels. The consequence of this is the successive and continuous depletion of their resources combined with a negative impact on the natural environment and climate. The current situation also indicates that due to the uneven distribution of fossil fuel resources in the world, they are of a strategic nature and are an important geopolitical tool. The growing economic, social, environmental and political problems surrounding fossil fuels in recent years have prompted the governments of many countries to seek alternative energy sources based mainly on renewable resources. It is assumed that the broadly understood biomass will become a modern and clean energy carrier. The production of biomass and its use also aims to reduce the emission of greenhouse gases into the atmosphere and should serve social and economic development. In this context, agriculture can play an important role, which, apart from the production of food and feed, should also provide broadly understood environmental goods

and become a source of fuels and energy from renewable sources. The production of renewable energy, among others due to the logistics of supplying raw materials, is generally carried out from dispersed and diverse sources. This is an additional advantage of the development of this model of obtaining energy in the context of market and strategic global conditions.

The vast majority of renewable energy is obtained through the use of biomass in the combustion process, conversion into bioethanol and biodiesel, and anaerobic decomposition in the methane fermentation process. The production of agricultural biogas in Poland in the beginning of the second decade of the 21st century developed very dynamically, but due to the collapse of the subsidy system resulting from a significant drop in the prices of "green certificates", this sector encountered economic problems. After the introduction of appropriate legal regulations in recent years, the situation in the biogas sector has stabilized, but there is still no visible development trend. Therefore, it is very important to search for cheap and effective substrates of plant origin that will ensure the profitability of agricultural biogas production. Moreover, these raw materials should not compete for the resources of production factors, mainly land, with crops for food and feed purposes.

In the light of these facts, taken by MSc. Eng. Dumitru Peni research into the biomass and biogas productivity from perennial herbaceous crops as an environmentally friendly source of energy is interesting and highly relevant. The problems raised in the dissertation are very important, both for cognitive and utilitarian reasons.

The doctoral dissertation submitted for review was prepared in the form of a thematically coherent set of four articles published in scientific journals, in accordance with Art. 13 sec. 2 of the Act of March 14, 2003 on academic degrees and academic title as well as on degrees and title in the field of art (Journal of Laws No. 65, item 595, as amended). The first part of the dissertation covers 31 pages, including 5 tables and 15 figures, which are a synthesis of the results of the research published in the scientific papers attached in the second part. The main content of the study is presented in nine chapters, arranged as follows: 1. List of publications making up the doctoral dissertation, 2. Introduction, 3 Purpose of the dissertation, 4. Material and methods, 5. Results and discussion, 6. Summary 7. Literature, 8. Copies of published scientific papers.

The scientific achievement of MSc. Eng. Dumitru Peni, which is the basis for applying for a PhD degree, is the following research papers:

1. **Peni D.**, Stolarski M.J., Dębowski M. Green biomass quality of perennial her-baceous crops depending on the species, type and level of fertilization. *Industrial Crops and Products* 2022, 184, 115026. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115026>. (IF=6.449; 200 pkt. MEiN).

2. **Peni D.**, Dębowski M., Stolarski M.J. *Helianthus salicifolius* as a New Biomass Source for Biogas Production. *Energies* 2022, 15, 2921. <https://doi.org/10.3390/en15082921>. (IF=3.252; 140 pkt. MEiN).
3. **Peni D.**, Dębowski M., Stolarski M.J. Influence of the Fertilization Method on the *Silphium perfoliatum* Biomass Composition and Methane Fermentation Efficiency. *Energies* 2022, 15, 927. <https://doi.org/10.3390/en15030927>. (IF=3.252; 140 pkt. MEiN).
4. Stolarski M.J., **Peni D.**, Dębowski M. Biogas potential of cup plant and willow-leaf sunflower biomass. *Energy* 2022, 255, 124559; <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124559>. (IF=8.857; 200 pkt. MEiN).

The above publications are thematically consistent and are the result of a well-thought-out, logical and coherent research process. A PhD Student in three of them is the first author, and his contribution to the preparation of each publication is 60%. In the case of the fourth publication, the PhD Student is the second author and his contribution to the preparation is 40%. All publications submitted for evaluation were published in 2022 in highly ranked journals from the Journal Citation Reports (JCR) list. The high level of published articles is confirmed by the total IF = 21.81 and the number of MEiN points amounting to 680.

It should be emphasized that the aims of the dissertation were presented in a clear and synthetic manner therefore, they do not raise any doubts. The layout of the thesis is logical and meets the requirements for doctoral dissertations. The publications that make up the dissertation are written in a language that is understandable and allows for efficient tracking of the research and analysis of the presented results.

The title of the paper raises some doubts, which suggests that the material may also refer to the environmental aspects of biomass production of the assessed species. In fact, such an assessment was not performed, what is more, in the summary of publication No. 4 from the above list, the Authors point to the need to continue the research in terms of the assessment of external environmental effects. Therefore, it seems that the following wording of the topic would be better: "Biomass and biogas productivity from selected perennial herbaceous crops".

The basis for the preparation of the doctoral dissertation was the three-year (2019-2021) results of field research on the cultivation of the willow-leaf sunflower *Helianthus salicifolius* and the cup plant *Silphium perfoliatum* carried out at the UWM Experimental Station in Łęczany sp.z o.o (53°59' N, 21°09' E). The tested plants were harvested in an annual cycle for the purpose of producing biogas from green biomass or after ensiling. In the next step, the biomass obtained from the field was subjected to detailed laboratory analyses. The aim of the research was to evaluate the yield, biomass quality and

biogas potential as well as economic analysis of the assessed species. Apart from the species, the experimental factors were also the type of fertilizer used (organic and mineral) and the dose of nitrogen (85 and 170 kg ha⁻¹ N). It should be emphasized that the research carried out had a wide substantive scope, which resulted in a large amount of work.

The research carried out during the preparation of the dissertation was characterized by a multitude of objectives, which were defined as:

- Evaluation of plants development of *Silphium perfoliatum* and *Helianthus salicifolius* for three years field experiment.
- Evaluation of thermophysical and chemical properties of green biomass of *Silphium perfoliatum* and *Helianthus salicifolius* species treated with two different fertilizers applied in three different doses.
- Estimation the effect of feedstock type such as raw biomass and silage on anaerobic digestion.
- Verification of the influence of fertilization type and N dose on the biomass composition and efficiency of biogas production and methane content.
- Evaluation of the effectiveness of anaerobic digestion of *Silphium perfoliatum* and *Helianthus salicifolius* depending on PHC species, type and level of fertilization and cultivation years.
- Determination of dry matter yield, biogas, and methane potential yield depending on PHC species, type and level of fertilization and the harvest year.
- Economic analysis of biomass production and energy potential yield.

The selection and scope of research methods and the adopted evaluation criteria should be considered sufficient and enabling the achievement of the assumed research objectives.

The description of the results contained in the assessed scientific publications shows that the PhD Student has a good understanding of the subject matter covered by the research. As a result of the work carried out, the Author showed that plant development varied significantly depending on the species and the type of fertilization, depending on the harvest year varied the number of plants and their height. Moreover, the species, fertilization type and N fertilization level significantly influenced most of the thermophysical and chemical features of PHC green biomass. The *Silphium perfoliatum* biomass contained more moisture, ash, chlorine, cellulose and lignin, whereas the *Helianthus salicifolius* biomass was characterized by higher contents of higher heating value, fixed carbon, carbon, hydrogen, sulphur and hemicellulose.

In addition, MSc. Dumitru Peni proved that the application of organic and mineral fertilization resulted in a decrease in moisture, ash and lignin contents. However, this treatment slightly increased the higher heating value and significantly increased the chlorine, hemicellulose and cellulose content. However the application of the nitrogen dose of 170 kg ha⁻¹ slightly increased the moisture, higher heating value, volatile matter, carbon, hydrogen, sulphur, total nitrogen, chlorine, hemicellulose and cellulose contents. Therefore, the species, fertilization type and N fertilization level significantly influenced most of the thermophysical and chemical features of PHC green biomass.

From a practical point of view, it is important to conclude that more biogas and methane can be obtained from *Silphium perfoliatum* than *Helianthus salicifolius*. *Silphium perfoliatum* proved to be a more prospective PHC species as a biomass source for biogas plants. It was found that the fertilization type, and N doses have no significant influence on the biomethane and biogas production. The economic analysis also confirmed that *Silphium perfoliatum* was a more prospective species, as the potential income from electric energy generation from the species biomass in a biogas plant it was higher (482%) compared to the mean level for *Helianthus salicifolius*.

The discussion of the research results is multi-threaded and based on extensive foreign and domestic literature. The author skilfully confronted the results of his own research with the data and opinions of other authors. Most of the conclusions contained in the summary have been formulated synthetically and correctly.

To sum up, it should be stated that the PhD Student, while preparing the assessed dissertation, showed an appropriate level of general theoretical knowledge in the discipline of agriculture and horticulture. He also has the ability to work independently in research. There is no doubt that prepared by MSc. Eng. Dumitru Peni dissertation is an original and valuable solution to the problem posed.

Nevertheless, reading the dissertation prompts me to present a few critical and polemical remarks which do not undermine the merits of the dissertation.

Comments:

- ✓ In the first part of the dissertation, which is a synthesis, on page 10 there is information that the initial density of willow-leaf sunflower was 20 thous.·ha⁻¹ and the cup plant was 10 thous.·ha⁻¹. However, in articles published in *Industrial Crops and Products* and *Energy*, the information regarding the density is different. Taking into account the obtained results in terms of much greater efficiency of the cup plant, it should be assumed that the information in the first part of the dissertation is incorrect. In addition, it should be noted that such a diverse density could have a decisive influence on the obtained results, even greater than the examined factors.

- ✓ The information on how many replications the plants were taken from the field and the methane fermentation was carried out for each individual research object should be supplemented.
- ✓ The results obtained could be slightly influenced by the fact that the silage time and silage storage temperature for the willow-leaf sunflower and the cup plant were different, respectively 10 and 7 months and 10-20 ° C and 10-15 ° C.
- ✓ There is no information in the methodology whether the composition of the inoculum used in the methane fermentation process was tested annually or only in the first year of the study. Moreover, only one of the publications (Energy) contains information on the composition of the substrates from which the inoculum was obtained. Was this composition the same in the other experiments?
- ✓ The information contained in the methodology of the article published in Energy requires clarification, i.e. why was the inoculum stored for 10 days without the addition of organic matter? This could result in a significant depletion of the bacterial flora involved in the methane fermentation process.
- ✓ It is not understandable why the methane fermentation process was carried out in the defined time range of the 25th day. Fermentation is a dynamic process and varies depending on the type of substrate, so it would be better to assume that the process is terminated when methane production is e.g. < 5 ml/day.
- ✓ It should be explained why the efficiency of biogas and methane from substrates obtained in the last (2021) year of the research was not tested?
- ✓ In the methodology, there is no literature reference to the assumption that the efficiency of electricity production in a biogas plant is 38%.
- ✓ Together with the use of digestate for fertilization, significant amounts of water (17 and 34 dm³ ha⁻¹) were delivered to the field. In the opinion of the PhD Student, could this have had an impact on increasing the yield of the studied plants in the experimental object with organic fertilization?
- ✓ How the PhD student will explain the large differences in energy efficiency per unit area depending on the type of fertilizer presented, inter alia, in Fig. 2 in the article entitled. „Biogas potential of cup plant and willow-leaf sunflower biomass“.

- ✓ I suggest that, based on the collected data, in the future, prepare a study on the balance of nutrients for individual experimental objects. This is a very important issue from an environmental point of view.
- ✓ The difference in biomass moisture, presented on page 7 of the dissertation, amounting to 14,8%, is different from that resulting from the data contained in table S4 of the appendix, which shows that the difference is 11,2%.

In conclusion, I consider that evaluated Ph.D. dissertation MSc. Eng. Dumitru Peni entitled: „*Biomass and biogas productivity from perennial herbaceous crops as an environmentally friendly source of energy*” fulfils the requirements of the Art. 187 paragraph 1 of the Act of July 20, 2018. Law on higher education and science (Journal of Laws of 2022, item 574) and qualify the Candidate to apply for a doctoral degree in the field of agricultural sciences in the scientific discipline of *agriculture and horticulture*. **In connection with the above, I am asking the Scientific Council of the discipline of agriculture and horticulture of the University of Warmia and Mazury in Olsztyn for admission to M.Sc. Eng. Dumitru Peni to the next stages of the procedure for obtaining a doctoral degree.**

