

Dr hab. inż. Agnieszka Montusiewicz, prof. uczelni  
Wydział Inżynierii Środowiska  
Politechnika Lubelska  
Ul. Nadbystrzycka 40B  
20-618 Lublin

Lublin, dnia 9.11.2022 r.

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Dumitru Peni**  
**pt.: „Wydajność biomasy i biogazu z bylin wieloletnich jako przyjazne**  
**dla środowiska źródło energii”**

**1. Podstawy formalne sporządzenia recenzji**

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Dumitru Peni przygotowana została na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej rolnictwo i ogrodnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Pani prof. dr hab. inż. Agnieszki Pszczółkowskiej (pismo WRiL-dz.6350.3.2021 z dnia 3.10.2022 r.), na podstawie przedłożonego przez Kandydata zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Główne kryterium oceny stanowiły wymogi określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity Dz.U. 2022, poz. 574 ze zm.).

**2. Tytuł, forma i tematyka rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora**

Rozprawa doktorska mgr inż. Dumitru Peni pt. „Wydajność biomasy i biogazu z bylin wieloletnich jako przyjazne dla środowiska źródło energii” (tytuł oryginalny „Biomass and biogas productivity from perennial herbaceous crops as an environmentally friendly source of energy”) stanowi zbiór czterech powiązanych tematycznie artykułów naukowych, opublikowanych w języku angielskim w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Publikacje współautorskie Kandydata i jego Promotorów (każda z nich trójautorska) ukazały się w roku 2022 w czasopismach: *Industrial Crops and Products* (IF=6.449, 200 pkt. MEiN) – 1 praca, *Energies* (IF=3.252, 140 pkt. MEiN) – 2 prace, oraz *Energy* (IF=8.857, 200 pkt. MEiN) – 1 praca. Kandydat był pierwszym autorem trzech spośród czterech prac ocenianego cyklu, z potwierdzonym indywidualnym wkładem na poziomie 60%, oraz drugim autorem ostatniej z prac cyklu, z potwierdzonym indywidualnym wkładem 40%.

W mojej ocenie, wymienione przez Kandydata formy aktywności związane z powstaniem cyklu publikacji stanowiących pracę doktorską oraz zadeklarowany wkład autorski, pozwalają na weryfikację ogólnej wiedzy teoretycznej z zakresu dyscypliny naukowej rolnictwo i ogrodnictwo oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Poszukiwanie rozwiązań technologicznych zgodnych z zasadami gospodarki o obiegu cyrkulacyjnym jest obecnie jednym z istotnych kierunków badawczych w dziedzinie nauk

rolniczych i inżynieryjno-technicznych. Efektywne wytwarzanie energii z biomasy i odpadów rolniczych w procesach ich beztlenowego rozkładu pozwala na ograniczenie negatywnego oddziaływania na środowisko, obniża zużycie paliw kopalnych, zwiększa udział zielonej energii w jej ogólnym bilansie, zmniejsza koszty produkcji energii, a wykorzystanie pofermentów jako nawozów organicznych lub środków poprawiających jakość gleby umożliwia odzyskiwanie wartościowych składników w nich zawartych.

Rośliny energetyczne wykorzystywane jako źródło zielonej energii to przede wszystkim gatunki jednoroczne (np. kukurydza). Ich monokulturowa uprawa nie spełnia wymogów zrównoważonego rolnictwa, gdyż prowadzi do jałowienia, degradacji i erozji gleb, wymaga zastosowania ciężkiego sprzętu powodującego wzrost stopnia zagęszczenia gleby oraz zwiększa ryzyko chorób roślin i inwazji szkodników. Zastąpienie roślin jednorocznych bylinami wieloletnimi jest korzystne i nie wymaga częstych działań rekultywacyjnych, a właściwy dobór gatunków może zwiększać bioróżnorodność i obniżyć koszty związane ze stosowaniem pestycydów i herbicydów.

Tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Dumitru Peni wpisuje się w priorytetowy nurt badań nad biomasą jako źródłem energii odnawialnej i dotyczy dwóch wybranych wieloletnich roślin zielnych *Silphium perfoliatum* L. i *Helianthus salicifolius* A. Dietr. Tytuł rozprawy został sformułowany trafnie. Wybór jako przedmiotu badań roślin wieloletnich, wytwarzających dużą biomasę pędów, wzrastających na glebach słaboprzepuszczalnych i zanieczyszczonych, a dodatkowo charakteryzujących się odpornością na przemarzanie, suszę i szkodniki, uważam za istotny walor pracy. Wysoko oceniam także kompleksowe podejście do badań i ich obszerny zakres. Należy podkreślić, że tematyka podjęta w pracy ma charakter interdyscyplinarny i łączy ogólną wiedzę z zakresu dwóch dyscyplin - rolnictwo i ogrodnictwo oraz inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. W mojej ocenie problematyka pracy jest aktualna, oryginalna i istotna z punktu widzenia dyscypliny naukowej rolnictwo i ogrodnictwo.

### 3. Cel i zakres pracy

Celem wskazanym przez Kandydata była ocena plonowania, jakości biomasy oraz potencjału biogazowego dwóch wieloletnich bylin – różnika przerośniętego (*Silphium perfoliatum* L.) i słonecznika wierzbolistnego (*Helianthus salicifolius* A. Dietr) w zależności od rodzaju nawożenia i zastosowanych dawek azotu, a także analiza ekonomiczna ich wykorzystania jako surowców energetycznych.

Zakres badań obejmował:

- ocenę rozwoju roślin i ich plonowania w oparciu o wyniki trzyletniego eksperymentu terenowego,
- ocenę termofizycznych i chemicznych właściwości biomasy zielonej uzyskanej w wariantach uprawy z różnymi formami nawożenia (mineralną i organiczną) i przy różnym poziomie nawożenia (0, 85 i 170 kg N ha<sup>-1</sup>),
- ocenę wpływu rodzaju wsadu, tj. biomasy surowej i jej kiszonek, na efektywność fermentacji metanowej,

- ocenę wpływu formy nawożenia i poziomu nawożenia na jakość biomasy, efektywność produkcji biogazu i stężenie metanu w biogazie,
- ocenę efektywności fermentacji metanowej w zależności od gatunku bylin wieloletnich, formy i poziomu nawożenia, oraz okresu uprawy,
- określenie wydajności produkcji biomasy ( $\text{Mg sm ha}^{-1}$ ), wydajności produkcji biogazu i metanu ( $\text{m}^3 \text{Mg}^{-1} \text{sm}$ ) oraz wydajności energetycznej biomasy ( $\text{kWh ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) w zależności od gatunku bylin wieloletnich, formy i poziomu nawożenia, oraz roku zbiorów (2019, 2020, 2021),
- analiza ekonomiczna wykorzystania wybranych bylin wieloletnich jako surowców energetycznych.

Uważam, że cel badań został sformułowany trafnie i precyzyjnie, a przyjęty zakres badań umożliwił realizację wskazanego przez Kandydata celu.

#### 4. Ocena struktury rozprawy doktorskiej

Recenzowana praca doktorska stanowi zbiór czterech powiązanych tematycznie artykułów naukowych w języku angielskim, prezentujących wyniki badań terenowych i laboratoryjnych, poprzedzony przewodnikiem zawierającym podstawowe informacje o pracy. Struktura jest typowa dla rozpraw naukowych o charakterze eksperymentalnym, obejmujących cykl publikacji. Dysertację rozpoczyna spis treści oraz streszczenie w języku angielskim i polskim, następnie przedstawiono spis artykułów stanowiących zbiór poddany ocenie i przewodnik do nich obejmujący wstęp, cel pracy, zwięzły opis materiałów i metod użytych w pracy, najważniejsze wyniki i ich skróconą dyskusję, wnioski, podziękowania oraz spis publikacji, do których odwołano się w przewodniku. Zasadnicza część rozprawy to kopie publikacji objętych oceną oraz dane uzupełniające w formie 19 tabel z wynikami badań. Rozprawę zamykają oświadczenia o wkładzie autorskim w powstanie poszczególnych publikacji.

Pierwszy artykuł cyklu pt. „Jakość biomasy zielonej wieloletnich roślin zielnych w zależności od ich gatunku, rodzaju i poziomu nawożenia” (tytuł oryginalny „Green biomass quality of perennial herbaceous crops depending on the species, type and level of fertilization”) opublikowano w czasopiśmie *Industrial Crops and Products*. Praca liczy 12 stron, odwołuje się do 53 pozycji źródłowych i przedstawia wyniki trzyletnich badań terenowych oraz badań laboratoryjnych nad wpływem formy nawożenia (organiczna, mineralna) i poziomu nawożenia (0, 85 i  $170 \text{ kg ha}^{-1} \text{N}$ ) na rozwój roślin oraz skład i właściwości biomasy wieloletnich bylin *Silphium perfoliatum* L. i *Helianthus salicifolius* A. Dietr. Praca stanowi realizację pierwszego i drugiego punktu zakresu badań.

Drugi artykuł naukowy pt. „*Helianthus salicifolius* jako nowe źródło biomasy do produkcji biogazu” (tytuł oryginalny „*Helianthus salicifolius* as a new biomass source for biogas production”), opublikowano w czasopiśmie *Energies*. Praca liczy 15 stron, odwołuje się do 62 pozycji źródłowych i prezentuje wyniki badań dotyczące byliny wieloletniej *Helianthus salicifolius* jako rośliny energetycznej. W pracy oceniono wpływ rodzaju wsadu (biomasy surowej i jej kiszonki), formy nawożenia oraz poziomu nawożenia na charakterystykę

jakościową biomasy, wydajność produkcji biogazu i metanu oraz właściwości pofermentu. Praca stanowi realizację trzeciego, czwartego i piątego punktu zakresu badań.

Trzeci artykuł naukowy pt. „Wpływ metody nawożenia na skład biomasy *Silphium perfoliatum* i efektywność fermentacji metanowej” (tytuł oryginalny „Influence of the fertilization method on the *Silphium perfoliatum* biomass composition and methane fermentation efficiency”) opublikowano w czasopiśmie *Energies*. Praca liczy 13 stron, odwołuje się do 51 pozycji źródłowych i prezentuje wyniki badań dotyczące byliny wieloletniej *Silphium perfoliatum* jako rośliny energetycznej. W pracy oceniono wpływ rodzaju wsadu (biomasy surowej i jej kiszonki), formy nawożenia oraz poziomu nawożenia na charakterystykę jakościową biomasy, wydajność produkcji biogazu i metanu oraz właściwości pofermentu. Praca stanowi realizację trzeciego, czwartego i piątego punktu zakresu badań.

Zamykający oceniany cykl artykułów pt. „Potencjał biogazowy biomasy różnika przerośniętego i słonecznika wierzbolistnego” (tytuł oryginalny „Biogas potential of cup plant and willow-leaf sunflower biomass”) opublikowano w czasopiśmie *Energy*. Praca liczy 15 stron, odwołuje się do 51 pozycji źródłowych i dotyczy określenia wydajności produkcji biomasy ( $\text{Mg sm ha}^{-1}$ ), wydajności produkcji biogazu i metanu ( $\text{m}^3 \text{Mg}^{-1} \text{sm}$ ) oraz wydajności energetycznej biomasy ( $\text{kWh ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) w zależności od gatunku bylin wieloletnich, formy i poziomu nawożenia oraz roku zbiorów (2019, 2020, 2021), zawiera także analizę ekonomiczną przydatności *Helianthus salicifolius* oraz *Silphium perfoliatum* jako roślin energetycznych. Praca stanowi realizację szóstego i siódmego punktu zakresu badań.

W mojej ocenie zaprezentowany cykl artykułów naukowych jest zbiorem uporządkowanym logicznie, tworzącym tematycznie spójną całość i opartym na bogatym, aktualnym piśmiennictwie z zakresu literatury przedmiotu. Każdy z artykułów ma układ typowy dla prac badawczych, tj. opisuje stan wiedzy, wskazuje na lukę badawczą oraz elementy nowości pracy, charakteryzuje materiał badań i metody badawcze (sposób organizacji badań, metody analityczne, metody obliczeniowe i metody statystyczne), prezentuje wyniki badań, dyskusję wyników oraz wnioski. Wszystkie podrozdziały prac przedstawiono w sposób klarowny.

## 5. Ocena merytoryczna

Przedmiotem badań, będących podstawą do przygotowania rozprawy doktorskiej mgr inż. Dumitru Peni, była ocena dwóch gatunków bylin wieloletnich jako potencjalnego źródła zielonej energii. Przydatność *Helianthus salicifolius* oraz *Silphium perfoliatum* jako roślin energetycznych oceniano w oparciu o ich plonowanie, jakość biomasy oraz potencjał biogazowy i energetyczny, w zależności od formy nawożenia (organiczna, mineralna) i zastosowanych dawek azotu (0, 85 i  $170 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

Opis stanu wiedzy dotyczącej tematyki rozprawy, przedstawiony w cyklu artykułów poddanych ocenie, jest aktualny i wskazuje na wysoki poziom ogólnej wiedzy teoretycznej Kandydata.

Wieloaspektowy opis metodyki badań również oceniam wysoko. Badania prowadzono w okresie 3 lat (2019, 2020, 2021). Oba gatunki roślin (*H. salicifolius* oraz *S. perfoliatum*)

wzrastały w tych samych warunkach klimatycznych i glebowych na stanowisku do badań terenowych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, w kwaterach o powierzchni 20 m<sup>2</sup>, przy czym *S. perfoliatum* zasadzono z gęstością 20 000 sadzonek ha<sup>-1</sup>, a *H. salicifolius* z gęstością 10 000 sadzonek ha<sup>-1</sup>. Nawożenie organiczne realizowano wykorzystując poferment z biogazowni rolniczej, nawożenie mineralne – poprzez dodatek azotanu amonowego, potrójnego superfosfatu i soli potasowej. Plon biomasy i jej typowe parametry jakościowe (między innymi zawartość wilgoci, materii organicznej i frakcji włókna) oznaczano w materiale, który stanowiły całe rośliny ścinane co roku we wrześniu, na stanowisku do badań terenowych. Oznaczenia parametrów jakościowych wykonywano z wykorzystaniem standardowych metod referencyjnych.

Kiszonkę przygotowano z biomasy pociętej na fragmenty o długości 1-2 cm w plastikowych całkowicie napełnionych silosach o objętości 1000 mL, w temperaturze 10-20°C przez 7 miesięcy (*S. perfoliatum*) oraz 10 miesięcy (*H. salicifolius*). Oznaczenia parametrów jakościowych kiszonek wykonywano z wykorzystaniem standardowych metod referencyjnych.

Wydajność produkcji biogazu/metanu ustalano w oparciu o eksperymenty fermentacji metanowej prowadzone z użyciem systemu AMPTS II (BPC Instruments AB, Lund, Szwecja) z automatyczną akwizycją danych. Reaktory respirometryczne o objętości 500 mL pracowały w układzie porcjowym jako mezofilowe, w temperaturze 37°C. Proces fermentacji prowadzono przez 25 dni przy początkowym obciążeniu ładunkiem organiki na poziomie 4,5-5 g s.m.o. dm<sup>-3</sup>. Parametry jakościowe wsadu i pofermentu oznaczano z wykorzystaniem standardowych metod referencyjnych. Skład biogazu analizowano z wykorzystaniem chromatografii gazowej.

Wskaźnik rocznej wydajności produkcji biogazu/metanu z 1 ha upraw (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) wyznaczano mnożąc wydajność produkcji biomasy (Mg sm ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) przez wydajność produkcji biogazu/metanu (m<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup> sm), a wydajność energetyczną biomasy (kWh ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) – mnożąc wskaźnik rocznej produkcji metanu z 1 ha (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) przez wartość opałową metanu (9,17 kWh m<sup>-3</sup>).

Analizę statystyczną wyników prowadzono przy użyciu programu Statistica 13, wykorzystując test Shapiro-Wilk'a, wieloczynnikową analizę wariancji ANOVA, test Tukey'a (p<0.05), analizę korelacyjną Pearsona i regresję nieliniową, zastosowano także aglomeracyjną hierarchiczną analizę skupień.

Dobór metod badawczych, analitycznych, obliczeniowych i statystycznych oceniam jako właściwy i wystarczający do realizacji celów pracy. Na szczególne podkreślenie zasługuje szeroki zakres analizy statystycznej.

Wyniki badań przedstawione w logicznym porządku w kolejnych artykułach ocenianego cyklu są mocną stroną dysertacji. Forma ich prezentacji jest bardzo czytelna, opis wyników jasny i uporządkowany, potwierdzony analizą statystyczną na wysokim poziomie. Za bardzo wartościowe uznaję tabelaryczne i graficzne formy prezentacji, wprowadzone symbole znacznie ułatwiają odbiór treści.

Dyskusja wyników przedstawiona przez Kandydata jest logiczna i poparta argumentami bazującymi na wynikach prezentowanych w literaturze przedmiotu.

Wnioski zawarte w kolejnych artykułach ocenianego cyklu są poparte wynikami badań i dotyczą najważniejszych osiągnięć pracy. Istotny wniosek o charakterze aplikacyjnym wskazuje na przewagę *Silphium perfoliatum* jako potencjalnego źródła zielonej energii. Kandydat wykazał, że średni trzyletni plon suchej masy tego gatunku był istotnie wyższy w porównaniu z *Helianthus salicifolius*, wyższe były również wydajność biogazu, metanu i wydajność energetyczna. Istotnym osiągnięciem pracy jest także ustalenie, że najwyższy plon *Silphium perfoliatum* uzyskano przy nawożeniu mineralnym i dawce azotu na poziomie 170 kg N ha<sup>-1</sup>.

Podsumowując ocenę merytoryczną pracy stwierdzam, że dysertacja zawiera obszerny materiał eksperymentalny, uporządkowany i zaprezentowany w sposób jasny i klarowny. Przedstawiony do oceny zbiór czterech artykułów naukowych potwierdza w pełni realizację celu oraz zakresu pracy wskazanych przez Kandydata. Rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata z zakresu dyscypliny naukowej rolnictwo i ogrodnictwo oraz potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a jej przedmiotem jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego wykorzystania wybranych wieloletnich roślin zielnych jako biomasy stanowiącej źródło energii odnawialnej. Należy podkreślić duży nakład pracy i czasu związany z przeprowadzeniem badań, a także ich aplikacyjny charakter.

## **6. Uwagi dodatkowe**

Poziom merytoryczny zbioru artykułów stanowiących pracę doktorską jest wysoki, prace zostały przygotowane bardzo starannie i udokumentowane aktualną, bogatą bibliografią. Na szczególne podkreślenie zasługuje bardzo czytelna graficzna i tabelaryczna prezentacja wyników. Wysoki walor naukowy prac potwierdza ich opublikowanie w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, poprzedzone wymagającą procedurą recenzji wielu ekspertów.

Proszę Kandydata o wyjaśnienie kwestii, czy fakt, że rośliny zbierane były w różnych sezonach wegetacyjnych (w 3, 4 i 5 dla *Silphium perfoliatum*, oraz w 7, 8 i 9 dla *Helianthus salicifolius*) mógł mieć wpływ na wyniki badań.

Za słabiej przygotowany uważam przewodnik do cyklu publikacji, treści zawarte na str. 10-28 zostały zaprezentowane z mniejszą dbałością niż staranność właściwa publikacjom stanowiącym przedmiot oceny.

## **7. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego wykorzystania wybranych wieloletnich roślin zielnych *Silphium perfoliatum* L. i *Helianthus salicifolius* A. Dietr jako biomasy stanowiącej źródło energii odnawialnej.

Na szczególne podkreślenie zasługuje:

- wybór problematyki, zgodnej z koncepcją zrównoważonego rozwoju i paradygmatem zeroemisyjnej gospodarki o obiegu zamkniętym, która wpisuje się w priorytetowy nurt badań dotyczących biomasy jako źródła energii odnawialnej,
- kompleksowość badań, która umożliwiła dokonanie oceny plonowania wybranych bylin wieloletnich, jakości biomasy oraz potencjału biogazowego biomasy surowej i jej kiszzonek, w zależności od rodzaju nawożenia i zastosowanych dawek azotu,
- analiza ekonomiczna wykorzystania wieloletnich bylin *Silphium perfoliatum* L. i *Helianthus salicifolius* A. Diatr jako surowców energetycznych stanowiących źródło zielonej energii,
- interdyscyplinarny charakter badań,
- znaczący potencjał aplikacyjny wyników.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Dumitru Peni spełnia kryteria określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity Dz.U. 2022, poz. 574 ze zm.) dla kandydatów ubiegających się o nadanie stopnia naukowego doktora. Rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata z zakresu dyscypliny naukowej rolnictwo i ogrodnictwo oraz potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a jej przedmiotem jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego wykorzystania wybranych wieloletnich roślin zielnych jako biomasy stanowiącej źródło energii odnawialnej.

Wnioskuje zatem do Rady Dyscypliny Naukowej rolnictwo i ogrodnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie **o dopuszczenie mgr inż. Dumitru Peni do dalszych etapów postępowania kwalifikacyjnego o nadanie stopnia naukowego doktora nauk rolniczych w dyscyplinie naukowej rolnictwo i ogrodnictwo.**

Agnieszka Montusiewicz

Agnieszka Montusiewicz, Ph.D.Sc.D.  
Associate Professor  
Environmental Engineering Faculty  
Lublin University of Technology  
Nadbystrzycka Street 40B  
20-618 Lublin, Poland

Lublin, 9<sup>th</sup> November, 2022

**Review of the doctoral dissertation  
by Dumitru Peni, M.Sc.  
entitled “Biomass and biogas productivity from perennial herbaceous crops as an  
environmentally friendly source of energy”**

**1. Formal basis for preparing a review**

The review of the doctoral dissertation of M.Sc. Dumitru Peni was prepared at the request of the Chairperson of the Scientific Discipline Council “agriculture and horticulture” of University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Professor Agnieszka Pszczółkowska, Ph.D.Sc.D. (document WRiL-dz.6350.3.2021 of 3<sup>rd</sup> November, 2022), on the basis of the set of published and thematically related scientific articles submitted by the candidate. The main criteria of evaluation were the requirements specified in the article 187 of the Law on Higher Education and Science of 20<sup>th</sup> July, 2018 (consolidated text in Journal of Laws 2022, item 574 with amendments).

**2. The title, form and subject of the doctoral dissertation for applying for the award of the doctoral degree**

The doctoral dissertation by Dumitru Peni, M.Sc. entitled “Biomass and biogas productivity from perennial herbaceous crops as an environmentally friendly source of energy” is a collection of four thematically related scientific articles, published in esteemed international journals. The co-author's publications of the candidate and his Supervisors (each of them three-author) have appeared in 2022 in journals, such as *Industrial Crops and Products* (IF=6.449, 200 points of Ministry of Education and Science (MEN)) – 1 publication, *Energies* (IF=3.252, 140 points of MEN) – 2 publications, and *Energy* (IF=8.857, 200 points of MEN) – 1 publication. The candidate was the first author of three of the four works in the evaluated cycle, with a confirmed individual contribution of 60%, and the second author of the last work in the series, with a confirmed individual contribution of 40%.

In my opinion, the forms of activity mentioned by the candidate related to the creation of a series of publications constituting a doctoral dissertation and the declared author's contribution allow for the verification of general theoretical knowledge in the field of the scientific discipline of agriculture and horticulture and the ability to independently conduct scientific work.



The search for technological solutions in line with the principles of a circular economy is currently one of the important research directions in the field of agricultural and engineering science. Efficient generation of energy from biomass and agricultural waste in the processes of their anaerobic decomposition allows reducing the negative impact on the environment, reduces the consumption of fossil fuels, increases the share of green energy in its overall balance, reduces the costs of energy production, while the use of digestate as organic fertilizers or soil conditioners enables the recovery of valuable ingredients contained in it.

Energy crops used as a source of green energy are primarily annual species (e.g. maize). Their monoculture cultivation does not meet the requirements of sustainable agriculture, as it leads to barrenness, degradation and erosion of soils, requires the use of heavy equipment causing increased soil compaction, as well as increases the risk of plant diseases and pest infestations. Replacing annual plants with perennial herbaceous crops is beneficial and does not require frequent restoration, and the proper selection of species can increase biodiversity as well as reduce the costs associated with the use of pesticides and herbicides.

The topic of the doctoral dissertation by Dumitru Peni, M.Sc. is part of the priority trends of research on biomass as a source of renewable energy and concerns two selected perennial herbaceous plants *Silphium perfoliatum* L. and *Helianthus salicifolius* A. Dietr. The title of the dissertation was formulated accurately. I consider that selection of perennial herbaceous plants that produce a large biomass of shoots, growing on poorly permeable and polluted soils, and additionally resistant to frost, drought and pests, as the subject of research is significant value of the work. I also highly appreciate the comprehensive approach to the research and its extensive scope. It should be emphasized that the subject matter of the work is interdisciplinary and combines general knowledge of two disciplines, i.e. agriculture and horticulture, as well as environmental engineering, mining and energy. In my opinion, the issue of the work is relevant, original and important from the point of view of the scientific discipline of agriculture and horticulture.

### **3. Purpose and scope of the work**

The aim indicated by the candidate was to evaluate the yield, biomass quality and biogas potential of two perennial herbaceous crops (PHC), including cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) and willow-leaf sunflower (*Helianthus salicifolius* A. Dietr), depending on the type of fertilization and applied nitrogen doses, as well as economic analysis of their use as energy raw materials.

The scope of the research included:

- evaluation of plant development and PHC yield based on the results of a three-year field experiment,
- evaluation of thermophysical and chemical properties of green biomass of PHC obtained in cultivation variants with different forms of fertilization (mineral and organic) and with different levels of fertilization (0, 85 and 170 kg N ha<sup>-1</sup>),

- evaluation of the impact of the feedstock type, i.e. raw biomass and silage, on the anaerobic digestion efficiency,
- assessment of the fertilization type and the level of fertilization on the biomass quality, the efficiency of biogas production and the concentration of methane in biogas,
- evaluation of the effectiveness of anaerobic digestion depending on the PHC species, the form and level of fertilization, and the cultivation period,
- determination of dry matter yield ( $\text{Mg D.M. ha}^{-1}$ ), biogas and methane potential yield ( $\text{m}^3 \text{Mg}^{-1} \text{D.M.}$ ) and energy potential yield ( $\text{kWh ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ ) depending on the PHC species, form and level of fertilization, and the harvest year (2019, 2020, 2021),
- economic analysis of the use of selected perennials as energy resources.

I believe that the purpose of the research was formulated accurately and precisely, and the adopted scope of the research made it possible to achieve the goal indicated by the candidate.

#### 4. Assessment of the dissertation structure

The reviewed doctoral dissertation is a collection of four thematically related scientific articles presenting the results of field and laboratory research, preceded by a guide containing basic information about the thesis. The structure is typical for scientific dissertations of an experimental nature, covering a series of publications. The dissertation begins with a table of contents and a summary in English and Polish, followed by a list of articles constituting the collection subject to assessment and a guide to them, including the introduction, purpose of the work, a brief description of the materials and methods used in the work, the most important results and their short discussion, conclusions, acknowledgments and list of publications referenced in the guide. The main part of the dissertation consists of copies of the publications covered by the assessment and supplementary data in the form of 19 tables with research results. The dissertation ends with declarations on the author's contribution to the creation of individual publications.

The first article of the series entitled “Green biomass quality of perennial herbaceous crops depending on the species, type and level of fertilization” was published in the journal *Industrial Crops and Products*. The work is 12 pages long, refers to 53 source items and presents the results of three-year field studies and laboratory studies on the effect of the form of fertilization (organic, mineral) and the level of fertilization (0, 85 and 170  $\text{kg ha}^{-1} \text{N}$ ) on plant development as well as the composition and properties of the biomass of perennial herbaceous crops such as *Silphium perfoliatum* L. and *Helianthus salicifolius* A. Dietr. The work is the implementation of the first and second point of the research scope.

The second research article entitled “*Helianthus salicifolius* as a new biomass source for biogas production” was published in the journal *Energies*. The work is 15 pages long, refers to 62 source items and presents the results of research on *Helianthus salicifolius* as an energy plant. The study assessed the influence of the feedstock type (raw biomass and silage) as well as the form and the level of fertilization on the qualitative characteristics of biomass, the efficiency of biogas and methane production, and the properties of digestate. The work is the implementation of the third, fourth and fifth point of the research area.

The third research article entitled "Influence of the fertilization method on the *Silphium perfoliatum* biomass composition and methane fermentation efficiency" was published in the journal *Energies*. The work consists of 13 pages, refers to 51 source items and presents the results of research on *Silphium perfoliatum* as an energy plant. The study assessed the influence of the feedstock type (raw biomass and silage) as well as the form and the level of fertilization on the qualitative characteristics of biomass, the efficiency of biogas and methane production, and the properties of digestate. The work is the implementation of the third, fourth and fifth point of the research area.

The final article of the series entitled "Biogas potential of cup plant and willow-leaf sunflower biomass" was published in the journal *Energy*. The work is 15 pages long, refers to 51 source entries and concerns the determination of dry matter yield (Mg D.M. ha<sup>-1</sup>), biogas and methane potential yield (m<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup> D.M.) and energy potential yield (kWh ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) depending on the PHC species, form and level of fertilization, as well as the harvest year (2019, 2020, 2021), it also includes economic analysis of the use of *Helianthus salicifolius* and *Silphium perfoliatum* as energy crops. The work is the implementation of the sixth and seventh point of the research area.

In my opinion, the submitted series of scientific articles is a logically arranged set, creating a thematically coherent whole and based on a rich, up-to-date literature in the field. Each has a layout typical for research works, i.e. describes the state of knowledge, indicates the research gap and elements of the novelty of the work, characterizes the material and methods (including experimental set-up and procedure as well as analytical, computational and statistical methods), as well as presents the results, discussion and conclusions. All subchapters of the works are presented in a clear manner.

## 5. Substantive assessment

The subject of the research for the preparation of a doctoral dissertation by Dumitru Peni, M.Sc., was the evaluation of two species of perennial herbonaceous plants as a potential source of green energy. The usefulness of *Helianthus salicifolius* and *Silphium perfoliatum* as energy crops was assessed on the basis of dry matter yield, biomass quality as well as biogas and energy potential yields, depending on the form of fertilization (organic, mineral) and applied nitrogen doses (0, 85 and 170 kg N ha<sup>-1</sup>).

The description of the state of knowledge, presented in the series of articles subject to assessment, is up-to-date and indicates a high level of general theoretical knowledge of the candidate.

I also highly appreciate the multi-faceted description of the research methodology. The studies were conducted over a period of 3 years (2019, 2020, 2021). Both plant species (*Helianthus salicifolius* and *Silphium perfoliatum*) grew in the same climatic and soil conditions on land owned by the Research Station of the University of Warmia and Mazury in Olsztyn, on plots of 20 m<sup>2</sup>, and *S. perfoliatum* was planted with a density of 20,000 seedlings ha<sup>-1</sup>, while *H. salicifolius* with a density of 10,000 seedlings ha<sup>-1</sup>. Organic fertilization was carried out with the use of digestate from an agricultural biogas plant, whereas mineral fertilization with the

addition of ammonium nitrate, triple superphosphate and potassium salt. The yield of biomass and its typical quality parameters (including the moisture content, volatile matter content and fiber fraction) were determined in the material consisting of whole plants harvested each year in September, on the field test stand. The determinations of quality parameters were performed using standard reference methods.

The silage was prepared from biomass cut into pieces 1-2 cm long in fully filled plastic silos with a volume of 1000 mL, at a temperature of 10-20°C for 7 months (*S. perfoliatum*) and 10 months (*H. salicifolius*). Determination of the silage quality parameters was performed with the use of standard reference methods.

The biogas/methane yields were determined based on anaerobic digestion experiments conducted using the AMPTS II system (BPC Instruments AB, Lund, Sweden) with automatic data acquisition. The 500 mL respirometric reactors were operated in the batch mode under mesophilic conditions at 37°C. The anaerobic digestion was carried out for 25 days with the initial organic loading rate of 4.5-5 g VS L<sup>-3</sup>. The quality parameters of the feedstock and digestate were determined using standard reference methods. The composition of the biogas was analyzed using gas chromatography.

The annual biogas/methane potential yield from 1 ha of crops (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) was determined by multiplying the dry matter yield (Mg D.M. ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) by the biogas/methane production efficiency from dry biomass (m<sup>3</sup> Mg<sup>-1</sup> D.M.), whereas the potential energy yield (kWh ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) by multiplying the annual methane potential yield from 1 ha (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) by the methane calorific value (9.17 kWh m<sup>-3</sup>).

The statistical analysis of the results was carried out with the Statistica 13 Software, using the Shapiro-Wilk test, multivariate analysis variance ANOVA, Tukey's test (p <0.05), Pearson's correlation analysis and non-linear regression; moreover, agglomerative hierarchical clustering analysis was performed.

In my opinion, the selection of experimental, analytical, computational and statistical methods is appropriate and sufficient to achieve the objectives of the work. The wide scope of statistical analysis deserves special emphasis.

The results presented in a logical order in subsequent articles of the evaluated cycle are the advantage of the dissertation. Their form contributes to good reception, the description is clear and structured, confirmed by a high-level statistical analysis. I consider the tabular and graphic forms of presentation to be very valuable, the introduced symbols make the reception of the content much easier.

The discussion presented by the candidate is logical and supported by arguments based on the results reported in the literature.

The conclusions contained in subsequent articles of the evaluated cycle are supported by the obtained results and concern the most important achievements of the work. An essential conclusion regarding application of the results indicates the advantage of *Silphium perfoliatum* as a potential source of green energy. The candidate showed that the average three-year dry matter yield of this species was significantly higher compared to *Helianthus salicifolius*, and that biogas, methane and energy yields were also higher. An important

achievement of the work is also the finding that the highest yield of *Silphium perfoliatum* was obtained with mineral fertilization and a nitrogen dose of 170 kg N ha<sup>-1</sup>.

Summing up the substantive assessment of the work, I state that the dissertation contains extensive experimental material, structured and presented in a clear and lucid way. The collection of four scientific articles presented for evaluation confirms the full implementation of the goal and scope of work indicated by the candidate. The dissertation presents the candidate's general theoretical knowledge in the field of the scientific discipline of agriculture and horticulture, and confirms the ability to independently conduct scientific work, while its subject is the original solution of the scientific problem concerning the use of selected perennial herbaceous plants as biomass constituting a source of renewable energy. The large amount of work and time related to the research, as well as their application character should be emphasized.

## **6. Additional comments**

The substantive level of the collection of articles constituting the doctoral dissertation is high, the works were prepared very carefully and documented with the relevant, rich bibliography. A very clear graphic and tabular presentation of the results deserves special emphasis. The high scientific value of work is confirmed by their publishing in reputable international journals, preceded by a demanding review procedure involving many experts.

I am asking the candidate to clarify whether the fact that plants were collected in various vegetation seasons (3, 4 and 5 for *Silphium perfoliatum*, and 7, 8 and 9 for *Helianthus salicifolius*) could have influenced the results of the research.

In my opinion a guide to a series of publications was prepared in a less comprehensive manner, the content on pp. 10-28 was presented with lesser attention than the diligence characteristic to the publications constituting the subject of assessment.

## **7. Final remarks and conclusion**

The doctoral dissertation assessed is an original solution to the scientific problem regarding the use of selected perennial herbaceous plants *Silphium perfoliatum* L. and *Helianthus salicifolius* A. Dietr as a biomass being a potential source of renewable energy.

Particularly emphasized are the following:

- selection of issues in line with the concept of sustainable development and the paradigm of a zero-emission circular economy, which is part of the priority trends of research on biomass as a source of renewable energy,
- comprehensive research, which enabled the evaluation of the dry mass yield of selected PHC species, biomass quality as well as biogas yields of raw biomass and silage, depending on the type of fertilization and the nitrogen doses,
- economic analysis of the use of *Silphium perfoliatum* L. and *Helianthus salicifolius* A. Dietr as energy crops constituting a source of green energy,
- the interdisciplinary nature of research,
- significant application potential of the results.

I confirm that the doctoral dissertation by Dumitru Peni, M.Sc., meets the criteria specified in the article 187 of the Law on Higher Education and Science of 20<sup>th</sup> July, 2018 (consolidated text in Journal of Laws 2022, item 574 with amendments) for the candidates applying for the award of a doctoral degree. The dissertation presents the candidate's general theoretical knowledge in the field of the scientific discipline of agriculture and horticulture and confirms the ability to independently conduct scientific work, while its subject is the original solution of the scientific problem concerning the use of selected perennial herbaceous plants as biomass constituting a source of renewable energy.

Therefore, I am applying to the Scientific Discipline Council "agriculture and horticulture" of University of Warmia and Mazury in Olsztyn **for admission of Dumitru Peni, M. Sc. to further stages of the qualification procedure for the award of a doctoral degree in agricultural sciences in the scientific discipline of agriculture and horticulture.**



Agnieszka Montusiewicz