

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Pągowskiego pt.:

„Plonowanie *Miscanthus × giganteus* uprawianego w warunkach nawadniania, nawożenia azotem i osadem ściekowym oraz zawartość węgla organicznego i metali w glebie i biomase”

1. Wprowadzenie

Niniejsza ocena została opracowana w odpowiedzi na pismo Dyrektora Instytutu Nauk Ogrodniczych Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie prof. dr hab. Wojciecha Wakulińskiego z dnia 17 lipca 2020 roku wraz z informacją, że Rada Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo SGGW na posiedzeniu w dniu 1 lipca 2020r. powołała mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Pągowskiego. Przedłożona rozprawa doktorska została wykonana w Katedrze Agronomii Instytutu Rolnictwa Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Zdzisława Wyszyńskiego.

2. Ocena problematyki badawczej

W ostatnich latach obserwowany jest gwałtowny wzrost potrzeb energetycznych. Światowe zużycie energii w końcu ubiegłego stulecia w stosunku do 1960 roku zwiększyło się niemal czterokrotnie. Wraz z wyczerpywaniem się złóż kopalin ich EROEI (współczynnik zwrotu energii wobec energii inwestowanej) również zwiększa się, co wpływa na wzrost cen energii i paliw. Polska, podobnie jak wszystkie kraje członkowskie UE, musi ograniczać emisje gazów cieplarnianych. Zadanie to można zrealizować m.in. zastępując paliwa kopalne energią odnawialną, przy czym największym potencjalnym źródłem energii w Polsce jest biomasa. Szacuje się, że na cele uprawy roślin energetycznych należy przeznaczyć ok. 10% areалу krajowych gruntów ornych czyli 1,5 – 2,0 mln ha UR. Jednym z jej źródeł jest uprawa wieloletnich traw w cyklu rocznym np. *Miscanthus* sp., *Spartina* sp., czy *Phalaris* sp., które lokowane powinny być na glebach wyłączonych z produkcji żywności. Zmniejszają one emisję węgla, zarówno przez zastępowanie paliw kopalnych, jak i unieruchamianie węgla organicznego w glebie.

Jednocześnie uzyskanie wysokich, stabilnych plonów roślin lignocelulozowych jest możliwe przy zapewnieniu roślinom optymalnych warunków do wzrostu (w tym dostarczeniu dostatecznej ilości wody oraz składników pokarmowych). Ponieważ nawożenie mineralne jest koszt- i energochłonną operacją agrotechniczną, bada się możliwość zastąpienia go za pomocą produktów odpadowych (np. osadów ściekowych).

Rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Pągowskiego pt. „Plonowanie *Miscanthus × giganteus* uprawianego w warunkach nawadniania, nawożenia azotem i osadem ściekowym oraz zawartość węgla organicznego i metali w glebie i biomase” dotyczy określenia optymalnych dawek nawożenia azotowego w postaci mineralnej (tj. saletry amonowej) oraz komunalnego osadu ściekowego, jak też uzupełniającego potrzeby rośliny nawadniania na plony i jakość miskanta olbrzymiego jako surowca do produkcji biopaliw. Badania przeprowadzono na istniejącej od 2003 roku plantacji i dotyczyły one trzech ostatnich przed

likwidacją lat trwania plantacji – tj. od ósmego do dziesiątego roku wegetacji roślin i jak pisze Doktorant były kontynuacją badań z lat wcześniejszych (piąty do siódmego roku wegetacji miskanta), których wyniki zaprezentowano w pracy doktorskiej Pani Izabeli Toborowicz-Borda. W prezentowanej rozprawie doktorskiej przedstawiono także dokładną charakterystykę biomasy miskanta pod względem zawartości makroelementów oraz metali ciężkich, jak też, co niezwykle cenne, dokonano obliczeń sekwestracji węgla organicznego w biomase części nad- i podziemnych roślin oraz w glebie.

Zatem podjęta problematyka badań przez mgr inż. Krzysztofa Pągowskiego jest jednym z najważniejszych zadań stojących obecnie przed nauką, w zakresie uprawy nowych roślin energetycznych, wśród których poczytne miejsce zajmuje miskant, w obszarze jakości biomasy i jej przydatności do produkcji biopaliw, oraz wyliczenia akumulacji węgla organicznego podczas jego produkcji.

3. Formalna analiza rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska została przygotowana w oparciu o oryginalne wyniki uzyskane w ramach doświadczenia polowego przeprowadzonego w latach 2010–2012. Recenzowana praca obejmuje łącznie 192 strony tekstu (w tym 70 zestawień tabelarycznych i 4 rysunki) i składa się z 7 głównych rozdziałów: 1. Wstęp i cel pracy, 2. Przegląd literatury, 3. Materiał i metody badań, 4. Wyniki badań, 5. Dyskusja, 6. Wnioski, 7., 8. Spis literatury. Większość rozdziałów jest podzielona na podrozdziały, uporządkowane za pomocą wielorzędowej numeracji cyfrowej. Całość poprzedza streszczenie w języku polskim i angielskim, co jest zgodne z art. 13 pkt 6 ustawy (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.). Treść pracy ściśle związana jest z jej tytułem a układ pracy i proporcje poszczególnych rozdziałów są typowe dla rolniczych prac eksperymentalnych.

W rozdziale piśmiennictwo zestawiono 132 pozycje literatury (w tym 56 tj. 46,7% pozycji obcojęzycznych). Jednakże w spisie brak cytowanej na stronie 43 pozycji [Smith, 2004], jak też pracy Łabędzkiego z 2006 cytowanej na stronie 23, a także pozycji Dzieżyca z 1989r. – strona 54, zaś w tekście pracy nie znalazłam odwołań do zawartych w spisie pozycji: Gawdzik 2012, Jørgensen i wsp. 1997 oraz Wysokiński i Kalembasa z 2006r. Praca Dohlemana i współpracowników z 2012r. cytowana jest błędnie (por. str. 16 i 21, 174), podobnie jak praca Lisowskiego i Parwisiaka z 2010r. (por. str. 23 i 171) oraz Christensena i współpracowników z 2016 r. – strona 180. Poza tym w tekście całej pracy Doktorant nie odwołuje się do przypadków cytowanych pozycji pozostawiając je w mianowniku (np. strona 180: W badaniach Kalembasa i Malinowska ... stwierdzono) albo: strona 171: W doświadczeniach Danalatos i inni (2007)... nie wykazano.

Z formalnego punktu widzenia rozprawa spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim.

4. Merytoryczna analiza pracy

Metodyka wykonanych prac jest prawidłowa, choć wymaga uszczegółowienia, wyniki badań są dokładnie analizowane i dyskutowane, zarówno na tle bieżącej literatury krajowej, jak i zagranicznej, stąd wartość zaprezentowanej dysertacji w mojej ocenie jest wysoka. Podstawą pozytywnej oceny jest także poziom naukowy i potrzeba badań dotyczących zaleceń agrotechnicznych oraz określenia zakresu sekwestracji węgla podczas uprawy miskanta olbrzymiego. Badania tego typu mają ogromne znaczenie, zwłaszcza w ostatnim czasie, gdy na świecie w różnej skali i na różnych poziomach podejmowane są wysiłki zmierzające do rozwiązania problemów energetycznych przed jakimi staje ludzkość.

W tym kontekście podjęte przez mgr inż. Krzysztofa Pągowskiego badania nad miskantem olbrzymim, stosunkowo mało poznanym gatunkiem o wysokim potencjale plonowania mają ogromne znaczenie, tak z naukowego, jak i poznawczego punktu widzenia.

Miskant olbrzymi, inaczej trawa słoniowa lub chińska trawa trzcinowata to szybko rosnąca, wieloletnia roślina energetyczna, pochodząca z ciepłych obszarów południowo-

wschodniej Azji. Jest mieszańcem międzygatunkowym *M. sacchariflorus* i *M. sinensis* o bardzo wydajnym typie fotosyntezy C₄, bardzo oszczędnie gospodarującym wodą. Według symulacji przeprowadzonych dla obszaru Europy Wschodniej możliwe do uzyskania plony miskanta olbrzymiego w zależności od typu gleby wahają się w zakresie od ok. 12,9 t ha⁻¹ do 21,8 t ha⁻¹ suchej masy. W krajach Europy Południowej (Włochy, Grecja, Hiszpania) uzyskiwano plony sięgające 30–40 t ha⁻¹ s.m. W Polsce uprawa tego gatunku zapoczątkowana została w latach 90-tych ubiegłego wieku, a badania skupiają się głównie wokół zagadnień związanych np. z czynnikami agrotechnicznymi warunkującymi plonowanie roślin, dynamiką gromadzenia składników mineralnych w częściach nadziemnych, czy metodami zbioru biomasy, lecz najczęściej dotyczą one krótkiego okresu trwania doświadczeń (zwykle 3-6 lat). Niewiele jest opracowań prowadzonych w dłuższej perspektywie czasowej. Wnikliwe badania i obserwacje prowadzone przez mgr inż. Krzysztofa Pągowskiego na dziesięcioletniej plantacji te luki z powodzeniem uzupełniają. Należy podkreślić, że tak długo trwające badania nad tą rośliną prowadzone są rzadko, a nieliczne dane literaturowe z innych krajów nie mogą być podstawą do automatycznego przeniesienia bez ich sprawdzenia w naszym kraju, w odmiennych warunkach klimatyczno-glebowych. Dlatego też cel pracy, polegający na przeprowadzeniu oceny plonowania i gromadzenia w wytworzonej biomacie, ważnych z punktu widzenia energetyki makroelementów oraz metali ciężkich, jak też porównaniem efektów produkcyjnych stosowania uzupełniającego nawadniania plantacji oraz zróżnicowanego nawożenia azotem (w tym przy użyciu osadów ściekowych) uznaję za oryginalny oraz w pełni uzasadniony i mający zarówno aspekt poznawczy, jak i praktyczny. Ogólna koncepcja i konstrukcja pracy jest poprawna a doświadczenia pozwoliły na dokonanie ciekawych obserwacji i sformułowanie wniosków wartościowych nie tylko pod względem poznawczym, ale też aplikacyjnym.

Jak wspomniano wcześniej, układ pracy jest typowy dla dysertacji doktorskich. Praca rozpoczyna się od polsko- i angielskojęzycznego, dwustronicowego jej streszczenia, przy czym w wersji polskojęzycznej należy poprawić błąd w wersie 5, 7, 11, 48 i 60 oraz niefortunne sformułowanie: „potrzeby opadowe gatunku”.

W interesującym rozdziale Wstęp i cel pracy Autor wprowadza czytelnika w zagadnienia światowej energetyki i zmian klimatu i na tym tle zarysowuje znaczenie miskanta olbrzymiego jako jednej z ważnych roślin energetycznych. Rozdział kończą rozważania związane z celem pracy, które moim zdaniem należałoby przenieść do dalszej części opracowania, gdyż na tym etapie nie jest znana metodyka pracy.

Przegląd literatury jest rozbudowany i dla przejrzystości został podzielony na 6 podrozdziałów. Jego zawartość jest przedstawiona w sposób interesujący i jest ściśle związana z tematem pracy. Zadaniem przeglądu piśmiennictwa jest dowiedzenie erudycji Autora, zdolności do wybiórczości i krytycznego myślenia w obszarze zagadnień będących treścią dociekań. Należy podkreślić, iż Doktorant z tego zadania wywiązał się dobrze; bardzo słusznie, że ta część pracy nie została nadmiernie rozbudowana, przez co rozprawa doktorska – w sensie objętości poszczególnych rozdziałów – zachowuje właściwe proporcje.

Rozdział „Materiał i metody badań” podzielono na 4 podrozdziały, gdzie Autor po kolei charakteryzuje warunki prowadzenia doświadczenia, zwracając szczególną uwagę na meteorologiczne oraz podaje w sposób przejrzysty schemat i czynniki eksperymentalne a także wylicza wykonywane badania i pomiary, kończąc informacjami na temat obliczeń statystycznych. Autor podaje, że 3-letnie doświadczenie polowe prowadzono na istniejącej od 2003 roku plantacji (dotyczyło ono ósmego do dziesiątego roku uprawy miskanta) w układzie dwuczynnikowym, gdzie pierwszym czynnikiem było nawożenie, stosowane na dwóch poziomach (bez i z nawadnianiem), zaś czynnikiem drugiego rzędu było nawożenie azotem w formie mineralnej – NH₄NO₃ (3 poziomy: 60, 120 i 180 kg/ha) oraz komunalnego osadu ściekowego (2 poziomy, gdzie osad aplikowano corocznie w dawkach 20,2 t s.m./ha oraz 30,4 t s.m./ha tj. w ilościach odpowiadających dawce 120 i 180 kg N/ha) na tle obiektu kontrolnego (bez nawożenia azotem). Generalnie, metody badań polowych i laboratoryjnych

wykonywanych przez Autora są prawidłowe dla założonych celów. Jednakże choć opis metodyki prowadzonego eksperymentu zajmuje aż 17 stron maszynopisu, Autor nie ustrzegł się pewnych niedociągnięć. W części metodycznej pracy brakuje szczegółowych danych dotyczących nawadniania – jakiej metody nawadniania użyto? czy wyliczone dawki, stosowano 1-go i 16-stego dnia miesiąca w całości, jednorazowo? Brakuje także informacji na temat sposobu wyliczenia akumulacji węgla organicznego w glebie i roślinach miskanta, chociażby powołania się na literaturę na której się opierano. Wydaje mi się również, że podawany przez Doktoranta obwód pędów mierzony w połowie wysokości źdźbła to w istocie średnica źdźbła. Błędna jest także numeracja rysunków - Rys. 2 to pierwszy rysunek w pracy.

W obszernym rozdziale „Wyniki badań” (105 stron) Autor bardzo umiejętnie sprawozdaje uzyskane rezultaty. Wyniki są kompletne i prawidłowo interpretowane (z uwagami zamieszczonymi w dalszej części oceny) i przedstawione w 62 tabelach. W rozdziale tym opisane zostały bardzo liczne wyniki, których przedmiotem było określenie wpływu formy i dawki nawozów azotowych oraz uzupełniającego nawadniania na plon biomasy, jej parametry jakościowe oraz zawartość makroelementów (N, P, K, Ca i Mg) oraz metali ciężkich (Zn, Cu, Ni, Cr, Cd i Pb) w tkankach miskanta. Autor udowodnił, że stosowanie nawadniania w uprawie miskanta może przynieść istotne zwwyżki plonowania (od poniżej 1 tony suchej biomasy nadziemnej z ha w posuszonym roku 2012 po zastosowaniu osadu ściekowego do ok. 5 t s.m./ha w 9.-tym roku uprawy po aplikacji niskich dawek nawozów mineralnych). Podobną tendencję zanotowano w przypadku kłaczy i korzeni miskanta. Czynnikiem ten powodował generalnie polepszenie jakości biomasy w postaci zmniejszenia zawartości makroelementów i metali ciężkich w surowcu.

Natomiast, aplikacja saletry amonowej w dawce 60 kg N/ha powodowała średnio 21% zwwyżkę zebranych plonów biomasy nadziemnej w obiektach nienawadnianych (wynikającą głównie ze zwiększonej liczby i wysokości pędów) a dalsze zwiększanie stosowanej dawki nawożenia azotowego było nieefektywne i wiązało się z obniżeniem zebranych wiosną plonów biomasy miskanta. W przypadku stosowania osadów ściekowych notowano istotną, 18% w przypadku dawki odpowiadającej 120 kg N/ha i niemal 23% po aplikacji o 1/3 większej dawki osadu/ha zwwyżkę uzyskanych plonów biomasy nadziemnej na obiektach nienawadnianych. Zastosowanie uzupełniającego nawadniania wiązało się jednak z wyraźnym zmniejszeniem obserwowanych efektów. Zwiększające się dawki nawożenia mineralnego, a szczególnie wysokie dawki osadów ściekowych w obiektach nawadnianych, powodowały zwiększenie masy korzeni i kłaczy miskanta. Ponadto, w biomacie notuje się wówczas zwiększenie zawartości pierwiastków powodujących korozję pieców do jej spalania. Nawożenie komunalnym osadem ściekowym nie spowodowało nadmiernego gromadzenia metali ciężkich w wyprodukowanej biomacie, choć zawartości Zn, Cu, Cr oraz Cd i Ni a także N, P i Mg oraz odczyn w badanych warstwach profilu glebowego były zwiększone. Jeśli chodzi o glebę spod wieloletniej uprawy miskanta, Doktorant stwierdził, że nawadnianie spowodowało zwiększenie zawartości azotu ogólnego spowodowane większą masą części podziemnych roślin, potencjalnie ulegających mineralizacji. Natomiast nawożenie zwiększającymi się dawkami nawozów azotowych wpłynęło na zmniejszenie pH gleby oraz zawartości P i K, podczas gdy aplikacja osadu ściekowego wiązała się z jego zwiększeniem (co wynikało z wysokiego odczynu i wysokiej zawartości Ca w osadzie) oraz zwiększonym gromadzeniem azotu ogólnego, P i Mg oraz metali ciężkich.

Co ważne, Doktorant wskazał korzenie miskanta jako organy gromadzące największe ilości metali ciężkich, nieco ich mniej zawierały kłacza i liście, najmniej tych składników akumulowały zaś stanowiące przeciętnie ponad 67% biomasy nadziemnej – pędy.

Kompleksowość badań i przedstawionych wyników jest niewątpliwym atutem przedłożonej pracy. Uważam, że opis wyników jest poprawny i logiczny, a tym samym zrozumiały i właściwie argumentowany, choć mam do niego pewne uwagi o naturze dyskusyjnej. Podczas opracowania statystycznego wyników stosowano metodę

wieloczynnikowej (trójczynnikowej) analizy wariancji ANOVA, zaś istotność stwierdzonych różnic określano na podstawie testu t-Tuckey'a z 5% ryzykiem błędu. Jednak z tabelach obrazujących rezultaty doświadczenia brak części wyników obliczeń statystycznych. Doktorant skupił się na efektach głównych, pominął zupełnie interakcje pomiędzy zastosowanymi czynnikami. Nie ma też informacji w ilu powtórzeniach przeprowadzono analizy. Kolejna moja dyskusyjna uwaga dotyczy określenia „pierwiastki śladowe”, które używa Doktorant opisując skład chemiczny biomasy miskanta. Wydaje mi się, że użycie w pracy określenia pierwiastki śladowe w odniesieniu do miedzi, cynku, niklu, kadmu, ołowiu i chromu jest niefortunne. Pod względem formalnym oczywiście można je uznać za pierwiastki śladowe, jednakże jeśli ich oznaczanie nie następuje w naturalnych komponentach środowiska (wodzie, glebie czy roślinach w tym – wskaźnikowych) lecz dotyczy sytuacji, gdzie do środowiska wprowadzono produkty odpadowe wytworzone przez człowieka jak komunalne osady ściekowe, to zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. z 2015r poz. 257) powinny być zastosowane dla ich określenia słowa: metale ciężkie. Jeśli chodzi o tytuł pracy doktorskiej, gdzie Autor użył określenia „metale” również mam pewne zastrzeżenia, bo faktycznie można je podzielić na lekkie (o gęstości mniejszej niż umownie przyjęta: $4,5 \text{ g/cm}^3$ – tu zaliczyć można K, Mg i Ca) i ciężkie (o większej niż wcześniej podana gęstości – oznaczane przez Kandydata Zn, Cu, Ni, Cd, Cr i Pb) ale badane w pracy: azot, fosfor i węgiel to niemetale. Proszę o wyjaśnienie pojęcia „twardej biomasy” ze strony 61.

Spalanie lub współspalanie biomasy roślinnej wiąże się z wieloma zagrożeniami związanymi z obecnością w materiałach roślinnych znacznych ilości takich niebezpiecznych dla instalacji ciepłowniczej pierwiastków jak chlor, siarka i metale alkaliczne (sód, potas, magnez). Zawartość metali ciężkich w biomase energetycznej jest istotna natomiast w aspekcie ochrony środowiska, trwałości kotłów oraz możliwości utylizacji popiołów między innymi w rolnictwie. W pracy Doktorant nie odnosi się do wartości referencyjnych zawartych np. w Polskich Normach, skupiając się przede wszystkim na poznaniu zakresu zmian ich zawartości pod wpływem czynników doświadczenia. Sugeruję również, aby podczas przygotowywania pracy do druku wyliczyć wynos poszczególnych pierwiastków wraz z plonem, tak aby poznać efekt fitoremediacyjny uprawy miskanta po zastosowaniu osadu ściekowego.

W pracy, dokonano także wyliczenia sekwestracji węgla organicznego w tkankach części nad- i podziemnych miskanta, oraz w glebie po dziesięcioletniej jego uprawie w monokulturze. W tym obszarze Doktorant przeprowadził kalkulacje w zależności od części rośliny (pędy, liście, kłocza z głębokości 0-25 cm, korzenie z głębokości 0-100 cm oraz resztki roślinne z głębokości 0-25 cm), jak też w glebie z trzech głębokości – 0-25 cm, 25-50 cm oraz 50-100 cm przy uwzględnieniu czynników doświadczalnych (tj. nawadniania i poziomu oraz formy nawożenia azotowego). Najkorzystniejszy pod względem sekwestracji wariant uprawy miskanta z zastosowaniem nawadniania oraz najwyższych dawek nawożenia azotem (szczególnie w formie osadu ściekowego) przyczynił się do największej sekwestracji węgla – średnio $20,3 \text{ t C}_{\text{org}}/\text{ha}$ – w tym $12,54 \text{ t C}_{\text{org}}/\text{ha}$ w biomase części podziemnych roślin. Z kolei wariant z zastosowaniem saletry amonowej w dawce najniższej, niezależnie od nawadniania, cechował się średnio o 14,5% niższą od opisanej wyżej akumulacją C_{org} . Dlatego też należy poszukiwać rozwiązań zmniejszających oddziaływanie nawożenia na środowisko np. poprzez wykorzystanie w procesie produkcji nawozów źródeł energii o niższej emisyjności. Wydaje się, że do tego celu nadawać się mogą produkty odpadowe w postaci komunalnych osadów ściekowych, choć stosowanie tych ostatnich może być problematyczne jeśli ich skład jest niezgodny z ustawowymi wymaganiami. Jeśli chodzi o zawartość węgla organicznego w glebie po 10-letniej uprawie miskanta na cele energetyczne, to generalnie największą jego ilość gromadziła warstwa orna (0-25 cm) a im głębiej tym notowano mniej zsekwestrowanego C_{org} . Poza tym, istotnie więcej zakumulowanego węgla organicznego w przekroju glebowym 0-100 cm obserwowano w obiektach nawadnianych

oraz nawożonych osadem ściekowym. W najkorzystniejszych wariantach z zastosowaniem dwóch badanych dawek osadu i dodatkowo nawadnianych notowano w glebie ponad 34 t biosekwestrowanego C_{org} na powierzchni 1 ha. Tę część pracy oceniam niezwykle wysoko; jest to jedno z najbardziej szczegółowych wyliczeń zakumulowanej ilości węgla organicznego w uprawie miskanta olbrzymiego zawartych w literaturze światowej.

W kolejnym rozdziale Autor dokonał rzetelnej dyskusji naukowej otrzymanych wyników badań. Udowodnił tym samym znaczne umiejętności analityczne i interpretacyjne w stosunku do otrzymanych rezultatów badań własnych. Czytelność tego rozdziału podniosła tabela mająca charakter syntezy i podsumowania.

Autor przedstawił 13 wniosków, które są w pełni uzasadnione, choć niektóre z nich mogłyby być bardziej uogólnione, bez przytaczania dokładnych wartości cech (np. wniosek 4). Stanowią one merytoryczne i syntetyczne podsumowanie udowadniające osiągnięcie zamierzonych celów badawczych. Za najważniejsze uważam wykazanie, że:

- w polskich warunkach możliwe jest wyprodukowanie dobrej jakości biomasy miskanta dla celów energetycznych, przy czym jej plon determinowany był zarówno poprzez uzupełniające nawadnianie plantacji, jak i za pomocą stosowania odpowiedniego poziomu oraz formy nawożenia azotowego,

- uzupełniające potrzeby wodne rośliny nawadnianie, szczególnie w latach posusznych, przyczynić się może do istotnego zwiększenia plonów zarówno części nad-, jak i podziemnej roślin oraz polepszyć parametry jakościowe biomasy (w tym obniżyć w niej zawartość niekorzystnych z punktu widzenia energetyki pierwiastków),

- nawożenie azotowe w formie mineralnej ma uzasadnienie tylko wtedy, gdy aplikowane jest w najniższych ze stosowanych w doświadczeniu dawkach,

- istnieje możliwość zastąpienia nawożenia mineralnego przy pomocy spełniającego wymagania komunalnego osadu ściekowego, a jego stosowanie wiąże się ze zwiększoną sekwestracją węgla organicznego, lecz niekiedy również ze zwiększoną zawartością makroelementów i metali ciężkich w częściach nadziemnych roślin oraz glebie,

- największą ilość makroelementów oraz metali ciężkich gromadzą niepozyskiwane dla celów energetycznych organy podziemne roślin (korzenie i kłącza), zaś w przypadku części nadziemnych istotnie mniejszą ich zawartość notowano w pędach, które stanowią przeciętnie 67% corocznie wyprodukowanej biomasy, jak też określenie zakresu zmienności tych zawartości pod wpływem czynników eksperymentalnych,

- uprawa miskanta olbrzymiego powoduje akumulację dużych ilości węgla organicznego po 10 latach trwania plantacji (w zależności od wariantu eksperymentu od 13,7 do 20,6 t C_{org}/ha w liściach, pędach oraz organach podziemnych roślin oraz w glebie: od 26,5 do 34 t C_{org}/ha).

Po analizie tekstu rozprawy doktorskiej stwierdzam, iż Autor zaprezentował wysoki poziom wiedzy, umiejętność trafnego rozumowania oraz opracowania i prezentacji wyników badań. Jest to bardzo wartościowe studium naukowe wnoszące nowe informacje do poznania wpływu wybranych czynników agrotechnicznych na plonowanie i jakość oraz zdolność do akumulacji węgla organicznego miskanta olbrzymiego. Należy także podkreślić umiejętność i swobodę korzystania z literatury naukowej i estetykę pracy. Zaznaczam w tym miejscu, że moje uwagi pojawiające się w tekście recenzji mają charakter dyskusyjny, nie obniżają wartości naukowej i merytorycznej pracy, którą oceniam bardzo wysoko.

5. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę rangę uzyskanych wyników, poziom naukowy rozprawy doktorskiej, jak również dojrzałość naukową Doktoranta, stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Pągowskiego spełnia kryteria określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. nr 65, poz. 595 z późn. zm.), a także w

Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. 2018 poz. 261).

Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi dotyczącymi szczegółowego trybu przeprowadzenia czynności w przewodach doktorskich, składam formalny wniosek do Rady Naukowej Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie o jej przyjęcie i dopuszczenie mgr inż. Krzysztofa Pągowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Lublin, 31.08.2020 r.

Prof. dr hab. Barbara Kołodziej

