

AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko

Andrzej Klasa

2. Posiadane stopnie naukowe

Doktor nauk rolniczych w dyscyplinie agronomii w Akademii Rolniczo-Technicznej (obecnie Uniwersytet Warmińsko-Mazurski) w Olsztynie, 17 maja 1994 r. na podstawie rozprawy pt. „Wpływ regulatorów wzrostu na plonowanie i gospodarkę mineralną bobiku (*Vicia faba* var. *minor* Harz)” promotor prof. dr hab. Grzegorz A. Nowak.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

1994 –obecnie	adiunkt w Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie a od 1999 r. w Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie Katedra Chemii Rolnej i Ochrony Środowiska;
1991 – 1994	asystent naukowo techniczny w Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie – Katedra Chemii Rolnej;
1988 – 1991	kierownik Punktu Konsultacyjnego Akademii Rolniczo-Technicznej w Ostrołęce;
1980 – 1988	asystent i st. asystent w Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie – Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa.

4. Wskazane osiągnięcie w rozumieniu art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm. Dz. U. z 2011 r. nr 204, poz. 1200):

a) tytuł osiągnięcia naukowego

„Badania nad środowiskowo bezpiecznym wykorzystaniem odpadowych substancji organicznych w produkcji szybko-rosnących roślin energetycznych”

b) publikacje (wymienione w kolejności chronologicznej) składające się na osiągnięcie naukowe

1. Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A., Stolarski M. 2002. Productivity and chemical composition of wood tissues of short rotation willow coppice cultivated on arable land. *Rostlinná Výroba*, 48(9): 413-417.
2. Klasa A., Czapla J., Nogalska A. 2006. Komposty z odpadów organicznych jako źródło składników dla roślin warzywnych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 512: 301-314.
3. Klasa A., Gotkiewicz W., Czapla J. 2007. Modifications of physico-chemical soil properties following application of sewage sludge as soil amendment. *Journal of Elementology* 12(4) 287-302.
4. Klasa A., Książniak A., Szałański W. 2008. Ocena wpływu zastosowania grzybów mikoryzowych na plonowanie i skład chemiczny masy nadziemnej wierzby energetycznej. *Pam. Puł.* 148: 25-36.
5. Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A. 2011. Willow biomass production under conditions of low-input agriculture on marginal soils. *Forest Ecology and Management*, 262: 1558-1565.

c) omówienie celu naukowego w/w prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

W przedstawionym wniosku przestawiam osiągnięcie, które udokumentowałem wynikami badań na temat zastosowania organicznych materiałów odpadowych w produkcji roślinnej, a w szczególności nad możliwością zwiększenia taką drogą plonowania biomasy wieloletnich roślin przeznaczonych na cele energetyczne, a także wynikami badań nad systemami produkcji takich roślin.

Uważam, że uzyskałem wyniki doświadczalne, które będą mogły pomóc w podjęciu ważnych decyzji związanych z kierunkiem ostatecznego wykorzystania powszechnie wytwarzanych odpadowych substancji organicznych takich jak osady

ściekowe i komposty produkowane w coraz to liczniejszych instalacjach do przetwarzania odpadów komunalnych, a także posłużyć mogą do wyboru optymalnej metody utrzymywania plantacji roślin energetycznych w naszym kraju tak aby osiągnąć wysoką produktywność biomasy do stosowania w energetyce.

Z jednej strony należy wziąć pod uwagę fakt, że produkcja organicznych materiałów odpadowych będzie w dającej się przewidzieć przyszłości znacznie i ciągle wzrastała, zarówno ze względu na obejmowanie coraz to większego odsetka mieszkańców przez zcentralizowane systemy wodno-kanalizacyjne, jak i wzrost wolumenu produkcji tychże substancji uwarunkowany względami technologicznymi tj. postępowaniem w oczyszczaniu ścieków poprzez włączanie w obieg technologiczny oczyszczalni ścieków tzw. czwartego stopnia oczyszczania, co skutkuje znacznym zwiększeniem ilości osadu ściekowego. Regulacje prawa krajowego i europejskiego mają na celu doprowadzenie do takiego stanu, aby na składowiska odpadów trafiało jak najmniej odpadów organicznych, narzucają bowiem obowiązek jak najgłębszego przetwarzania frakcji organicznej stałych odpadów komunalnych w kierunku otrzymywania stabilnego produktu nie stwarzającego żadnych problemów środowiskowych, a w szczególności nie powodującego wydzielania gazów zwiększających efekt cieplarniany jak i gazów odorotwórczych, a także zabraniają składowania osadów ściekowych na składowiskach odpadów.

Z drugiej strony jednak pod wpływem różnorodnych grup nacisku, a szczególnie społeczności lokalnych powstają coraz to większe ograniczenia prawne w przyrodniczym stosowaniu produktów finalnych przetwarzania stałych odpadów organicznych jak i oczyszczania ścieków komunalnych. Problem ten szczególnie dotyczy dominujących w Polsce oczyszczalni ścieków komunalno-przemysłowych jak i przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych. W krajach skandynawskich, Niemczech czy Szwajcarii czy też w innych krajach gdzie programy sortowania odpadów „u źródła” są prowadzone od wielu lat, ryzyko środowiskowe związane z przyrodniczym zagospodarowaniem omawianych produktów jest niewielkie ponieważ komposty produkowane są jedynie z wysortowanej „u źródła” frakcji organicznej stałych odpadów komunalnych, a standardowym rozwiązaniem

w gospodarce wodno-ściekowej jest oddzielanie strumienia ścieków komunalnych od przemysłowych.

Jednak podstawą coraz to ostrzejszych regulacji prawnych zabraniających wręcz w niektórych krajach rolniczego (czy nawet przyrodniczego) stosowania kompostów odpadowych i ustabilizowanych, w tym przekompostowanych osadów ściekowych jest przekonanie, że taki kierunek ich ostatecznej utylizacji powodować może niekorzystne zmiany zarówno składu chemicznego jak i aktywności biologicznej gleby, a w konsekwencji tego znacznie może wzrosnąć ryzyko przedostawania się różnorodnych niepożądanych substancji zarówno organicznych jak i nieorganicznych do łańcucha pokarmowego prowadzącego do produkcji żywności, a wspomina się niekiedy o niekorzystnym wpływie takich praktyk na aktywność mikrobiologiczną bakterii i grzybów glebowych, które to mikroorganizmy decydują o żyzności gleby.

Należy przyjąć do świadomości fakt, iż skład chemiczny i aktywność biologiczna osadów ściekowych wytwarzanych w XXI wieku w przypadku większości społeczeństw industrialnych absolutnie różni się od składu i aktywności osadów wytwarzanych przed kilkoma dekadami. We współcześnie wytwarzanych osadach ściekowych wykrywa się bowiem powszechnie pozostałości pestycydów, leków (w tym antybiotyków jak podaje się niekiedy nawet w stężeniach potencjalnie mogących spowodować zaburzenia aktywności mikroorganizmów glebowych), trwałych zanieczyszczeń organicznych o udowodnionym działaniu kancerogennym, mutagennym czy zaburzającym działanie systemu hormonalnego. Związki te w większości przypadków nie są w czasie procesu kompostowania poddawane biodegradacji. W wielu krajach między innymi także i w Polsce wskutek oczyszczania przez oczyszczalnie komunalne ścieków pochodzenia przemysłowego jak i dopływu do strumienia ścieków komunalnych, ścieków burzowych – w osadach ściekowych wykrywa się także mierzalne ilości pierwiastków śladowych, których to obecność jest także ryzykowna środowiskowo jeśli osady te miałyby być użyte rolniczo^{1 2}.

¹ Speir T.W., Van Schaik A.P., Percival H.J., Close M.E. Pang L. 2003. Heavy metals in soil plant and groundwater following high-rate sewage sludge application to land. *Water, Air Soil Pollut.* 150: 319-358.

Wskutek istnienia wielu problemów zarówno natury organizacyjnej jak i mentalnej, w Polsce jedynie nieznaczna ilość odpadów organicznych jest wysortowana ze strumienia odpadów komunalnych (eksperymentalne programy podjęto zaledwie w dwóch gminach naszego kraju) i dlatego też zdecydowana większość istniejących, a niestety także i planowanych zakładów przetwarzania odpadów komunalnych produkuje lub produkować będzie komposty ze zmieszanych odpadów przy pomocy różnych technologii ich przetwarzania. Konsekwencją tego faktu jest to, że w wielu przypadkach komposty nie mogą być wykorzystywane w produkcji rolnej, bowiem w strumieniu zmieszanych odpadów komunalnych zawsze są odpady niebezpieczne (światłówki, lampy rtęciowe, wyeksploatowany sprzęt elektryczny, resztki pestycydów etc.) i wskutek tego uzyskiwana z takich odpadów masa kompostowa najczęściej deponowana jest na składowiskach lub niezbyt często jest stosowana do rekultywacji terenów zdegradowanych. Niekiedy odpady organiczne przetwarzane są na paliwo alternatywne o bardzo dyskusyjnej przydatności energetycznej. Można więc stwierdzić, że sens działania zakładów przetwarzania odpadów, które są i będą inwestycjami dość kosztownymi dla społeczności lokalnych i dla całego społeczeństwa jest dosyć wątpliwy bowiem „*de facto*” zamieniają one jeden odpad w inny.

Takie nastawienie do wykorzystania produktów odpadowych powoduje niepożądane z punktu widzenia zrównoważonej gospodarki „otwieranie się” obiegu materii organicznej, która to zamiast zamieniać się w pożądaną trwałą materię organiczną gleb staje się trudnym i kosztownym do ostatecznej utylizacji odpadem generującym oprócz ekonomicznych także i koszty środowiskowe (problemy ze składowaniem, wtórne skażenia czy angażowania zasobów środowiskowych). Myśląc o zrównoważonej środowiskowo gospodarce takie podejście powoduje marnotrawstwo zarówno pożądaney w realiach naszego rolnictwa materii organicznej gleb, która to w warunkach zmian w rolnictwie przejawiających się w oderwaniu produkcji roślinnej od zwierzęcej jest nieustannie tracona, jak i marnotrawstwo zasobów środowiskowych poświęconych na

² Berti W.R., Jacobs L.W. 1998. Distribution of trace elements in soil from repeated sewage sludge applications. J. Environ. Quality. 27: 1280 – 1286.

przeróbkę odpadów organicznych. Odpadowe materiały organiczne mogą przecież z powodzeniem zastępować nawozy mineralne, ponieważ oprócz materii organicznej zawierają także składniki pokarmowe niezbędne dla roślin uprawnych, które to standardowo uzupełnia się poprzez stosowanie nawozów mineralnych produkowanych przy pomocy technologii wymagających zużycia ogromnych ilości zasobów środowiskowych (materii i energii) i powodujących powstawanie wielkich ilości zanieczyszczeń wszystkich elementów środowiska na poziomie lokalnym, regionalnym i globalnym.

W przedstawionym tu osiągnięciu starałem się stwierdzić, czy te sprzeczności uda się w pewien sposób przezwyciężyć i czy dzięki temu osiągnąć można wielorakie korzyści środowiskowe polegające na tym, że z jednej strony produkuje się biomasę, która może być efektywnie wykorzystana do generowania energii użytecznej, a z drugiej wykorzystać do tej produkcji energii tej właśnie niepożądaną bo odpadową materię organiczną w sposób przyjazny środowisku. Produkcja bioenergii w postaci biomasy wydaje się w tym przypadku wyjątkowo atrakcyjna ponieważ ryzyko przedostawania się szkodliwych substancji organicznych i nieorganicznych do łańcucha pokarmowego jest wtedy minimalne.

W badaniach nad zastosowaniem odpadowej materii organicznej (**prace 2 i 3**) udało się wykazać, że zastosowanie ustabilizowanych tlenowo osadów ściekowych jest zabiegiem bezpiecznym środowiskowo a co niezwykle ważne z rolniczego punktu widzenia także efektywnym produkcyjnie, bo ich użycie powoduje podniesienie plonu. Badane przez nas osady ściekowe (**praca 3**) pochodzące z oczyszczalni ścieków z terenu województwa warmińsko-mazurskiego (podzielonego na obszar Wielkich Jezior Mazurskich, Pojezierza Ostródzko-Iławskiego i zlewni rzeki Łyny) oczyszczające ścieki komunalne niekiedy z dodatkiem strumienia ścieków z zakładów przemysłu maszynowego (głównie małych zakładów naprawczych), a także z przemysłu przetwórstwa żywności (zarówno zakładów mięsnych jak i mleczarni czy firm zajmujących się przetwórstwem owocowo-warzywnym) okazały się bezpieczne dla środowiska glebowego. Powodowały one jak wykazano, tak środowiskowo, jak i rolniczo pożądane modyfikacje właściwości chemicznych gleby co przejawiało się przede wszystkim znacznym wzrostem zawartości

węgla organicznego i poprawą jej odczynu. Zastosowane osady ściekowe stanowiły ponadto źródło składników pokarmowych dla roślin testowych. Wyjątkiem negatywnym były osady ściekowe pochodzące z oczyszczalni otrzymującej ścieki z garbarni stosującej sole chromu i osady te jako jedyne z dziewiętnastu przebadanych nie powinny być stosowane przyrodniczo. W kilku przypadkach osadów pochodzących z oczyszczalni otrzymujących oprócz komunalnych także ścieki burzowe i z przemysłu maszynowego istniało ryzyko przekroczenia dozwolonych dla gruntów uprawnych poziomów cynku, ale mogłoby ono wystąpić jedynie pod warunkiem stosowania wysokich dawek takich osadów przez długi czas. Według osiągniętych wyników doświadczalnych dogłębowa aplikacja ustabilizowanych osadów ściekowych pochodzących z niewielkich instalacji oczyszczania ścieków komunalnych i komunalno-przemysłowych nie stanowi większego ryzyka nawet wtedy gdy osady te stosowane są do nawożenia roślin będących pokarmem człowieka.

Badalem także efekty produkcyjne i środowiskowe zastosowania kompostów pochodzących z różnych regionów kraju wyprodukowanych różnorodnymi metodami: tj. technologią tzw. biostabilizacji tlenowej Makrum-Dano ze zmieszanych odpadów komunalnych w trzech miejscowościach – Katowicach, Suwałkach i także z najstarszej polskiej kompostowni przyjmującej warszawskie odpady komunalne w miejscowości Radiowo; jak i komposty wytworzone z użyciem wermikultur dżdżownicy kalifornijskiej (kompost z osadów ściekowych komunalnej oczyszczalni w miejscowości Zambrów i kompost z przetworzonego metodą wermikultury obornika); w badaniach zastosowano także komposty wyprodukowane unikalną polską technologią GWDA w zakładzie Piła – Laszków z osadów ściekowych oczyszczalni miasta Piła z dodatkiem różnorodnych odpadowych materiałów strukturotwórczych. Analizowałem także efekty działania kompostów wytworzonych ze zmieszanych osadów ściekowych i stałych odpadów komunalnych przerabiane technologią fermentacji beztlenowej w Białymstoku i stabilizacji tlenowej osadów z komunalnej oczyszczalni w Toruniu. Przedmiotem badań był również kompost z kompostowni zlokalizowanej w gminie Żywiec, w której to prowadzony jest program „głębokiej” segregacji odpadów „u źródła” z wydzieleniem frakcji organicznej przez mieszkańców, która to frakcja przerabiana jest właśnie na kompost będący następnie

przedmiotem obrotu handlowego (**praca 2**). Ten ostatni kompost jest unikalny w skali kraju, ponieważ jest to produkt mogący być uznany za przyszłościowy i zaprzeczający szeroko rozpowszechnionej zarówno w społeczeństwie jak i w kręgach decyzyjnych tezie, że w naszym kraju programy segregacji odpadów nigdy się nie powiodą.

Z rezultatów badań opublikowanych w omawianej **pracy 2** jednoznacznie wynika, że użycie wszystkich kompostów wytworzonych z różnych odpadów organicznych metodami przemysłowymi skutkowało zwiększeniem puli dostępnych dla roślin składników pokarmowych. Komposty wytworzone z osadów ściekowych i przy pomocy wermikultur, a także kompost z segregowanych odpadów w Żywcu zastosowane w dawkach zgodnych z zasadami dobrej praktyki rolniczej spowodowały poprawę ważnych właściwości gleby w tym także zwiększenie zawartości węgla organicznego. Ilości węgla organicznego wniesione do gleby z kompostami wytworzonymi z niesegregowanych odpadów komunalnych nie spowodowały co prawda znaczącego zwiększenia frakcji węgla glebowego, ulegając dość szybko mineralizacji, ale wszystkie użyte w badaniach komposty wykazały zadowalające działanie nawozowe dostarczając roślinom testowym dostateczne dla wysokiego plonowania ilości przyswajalnego azotu, fosforu, a w przypadku kompostu z Żywca także potasu.

Uprawa rośliny na cele energetyczne na gruntach rolnych w miejsce kultur przeznaczonych na żywność czy paszę to zagadnienie nadal w XXI wieku nader kontrowersyjne nawet w skali globalnej. Wielu prominentnych przedstawicieli UNESCO i FAO twierdzi nawet, że zabieranie terenów rolnych na produkcję biomasy energetycznej jest wysoce nieetyczne w obliczu niezaspokojonych potrzeb żywnościowych dużej części coraz szybciej rosnącej populacji ludzkiej. W krajach członkowskich UE i na szczeblu Unii także nie ma pełnej zgodności co do tego czy uprawa roślin przeznaczanych na cele energetyczne powinna być subsydiowana i w ten sposób popierana³.

W Polsce na przykład obowiązujące regulacje prawne zmierzają do ograniczenia zastosowania biomasy leśnej w energetyce, aż do całkowitego zaniechania dominującego

³ Mirck J., Isebrand J.G., Verwijst T., Lendin S. 2005. Development of short rotation willow coppice system for environmental purposes in Sweden. *Biomass Bioenerg.* 28: 219 – 228.

obecnie w energetyce sieciowej i w ciepłownictwie sposobu energetycznego użytkowania biomasy czyli współspalania jej z węglem, a preferowana do użycia w instalacjach energetycznych i ciepłowniczych ma być tzw. wilgotna biomasa „agro” czyli głównie biomasa ligno-celulozowa pozyskiwana na gruntach rolnych. Dlatego też energetyka zawodowa i ciepłownictwo w naszym kraju coraz bardziej zainteresowane są uzyskaniem niezawodnego i ciągłego zaopatrzenia w taką właśnie biomasę w dość krótkim horyzoncie czasowym. Wydaje się, że takie właśnie nastawienie może stanowić impuls do zwiększenia powierzchni upraw roślin na cele energetyczne.

Naturalnym wyborem rośliny energetycznej produkowanej na gruntach ornych do wykorzystania w polskim sektorze ciepłowniczym i w elektrowniach sieciowych wydaje się być wierzba wiciowa (*Salix viminalis*). Roślina ta będąc składnikiem rodzimej flory jest doskonale przystosowana do warunków klimatu polskiego. Moim zdaniem warto było podjąć badania nad sposobem prowadzenia plantacji wierzby energetycznej, nie tylko ze względu na zróżnicowanie genetyczne pozostających w użytkowaniu form tej rośliny, ale także dlatego, że istnieją także różne metody sadzenia i utrzymywania szybkorosnących plantacji wierzbowych, istnieje więc do rozstrzygnięcia problem agrotechniczny. W badania mające na celu próbę rozstrzygnięcia tego problemu prowadzone w zespole badawczym byłem zaangażowany i wyniki ich opublikowano m.in. w pracach **1 i 5**, a także przedstawiono w sprawozdaniu z projektu BIOPROS.

Pierwszorzędne znaczenie w uzyskiwaniu wysokich plonów biomasy energetycznej wierzby ma długość okresu rotacji, wierzba krzewiasta odrasta bowiem po każdym zbiorze a wybór częstotliwości zbioru jest tu bardzo istotny, bo można zbierać już biomasę w cyklach jednorocznych co jest dość łatwe i tanie bowiem dokonać tego można przy pomocy sprzętu stosowanego do zbioru zielonki. Biomasa uzyskana z takich roślin ma jednak stosunkowo jak wykazaliśmy niską wartość energetyczną wskutek względnie niewielkiej zawartości celulozy i ligniny, a zwiększonej koncentracji hemiceluloz i wody. Z wyników naszych badań opublikowanych w **pracy 1** wynika oczywisty wniosek, że zbiór biomasy wierzbowej w cyklach dwu i trzyletnich jest w przeliczeniu na roczny plon biomasy, ale także i na plon energii bardziej opłacalny niż z pozoru łatwiejszy do

przeprowadzenia zbiorów w cyklu jednorocznym. Należy tu wyraźnie zaznaczyć, że koszty zbioru biomasy w dłuższych cyklach są wyższe lecz całkowicie kompensowane są one przez wyższą wartość plonu.

Szczególnie wysoką wartość energetyczną i zadowalającą przydatność biomasy do przerobu na paliwa drugiej i trzeciej generacji wskutek względnie dużej zawartości celulozy i lignin stwierdzono w biomacie badanych klonów wierzby energetycznej zbieranej w cyklach trzyletnich.

Zbiór biomasy wierzbowej w cyklach trzyletnich wymaga co prawda wprowadzenia specjalistycznych maszyn, ale można to osiągnąć poprzez powstanie specjalistycznych firm usługowych posiadających odpowiedni park maszynowy wzorem krajów skandynawskich (szczególnie Szwecji i Danii). Wykazaliśmy także, że wśród badanych przez nas form wierzby krzewiastej istnieje spore zróżnicowanie co do wysokości uzyskiwanych plonów biomasy energetycznej i co warto szczególnie podkreślić niektóre polskie klony wierzby (szczególnie *Salix viminalis* – klon hodowli UWM nr 1054) w warunkach doświadczenia we wszystkich badanych cyklach zbioru plonowały wyżej niż standardowe odmiany szwedzkie uznawane powszechnie za najlepsze dostępne na rynku europejskim genotypy wierzby do uprawy na cele energetyczne i do takich celów zalecane. Zwrócono uwagę także na ekonomiczny aspekt uprawy wierzby i także okazało się, że opłacalność uprawy wierzby na cele energetyczne jest najwyższa w najdłuższym badanym okresie rotacji tj. trzyletnim.

Prowadzona jest ciągła dyskusja na temat poziomu nakładów na prowadzenie plantacji roślin energetycznych, wysokie nakłady bowiem wyrażane zarówno ilością pracy jak i zasobów środowiskowych (paliw, środków ochrony roślin) na przygotowanie stanowiska, sadzenie, pielęgnację, ochronę stawiają pod znakiem zapytania przyjazność dla środowiska upraw wierzby energetycznej czyniąc je w ten sposób podobnymi pod tym względem do tradycyjnych wysokonakładowych upraw rolnych.

Wyniki badań podjętych przez zespół (**praca nr 5**), którego byłem członkiem wykazały, że istnieje sposób połączenia niskonakładowego prowadzenia plantacji wierzbowych z osiągnięciem zadowalającego plonu biomasy energetycznej. System ten

nazwany Eko-Salix polega na sadzeniu żywokołów (tj. sadzonek o długości 2,4 m) bezpośrednio w darń łąkową (bez orki) i na braku jakichkolwiek zabiegów ochronnych i pielęgnacyjnych oprócz wykoszenia chwastów w roku sadzenia okazał się bardzo efektywny i pozwolił na połączenie dwóch pożądaných środowiskowo i agronomicznie celów – produkcyjnego tj. otrzymania wysokiej jakości biomasy energetycznej i niskokosztowego zagospodarowania marginalnych siedlisk zbyt uwilgotnionych dla tradycyjnego płuznego sposobu utrzymania. Również i w warunkach zastosowania technologii Eko-Salix ujawniło się genetyczne zróżnicowanie badanych klonów a jedna z form wyhodowana w Uniwersytecie (oznaczona jako UWM 043) wyjątkowo dobrze nadawała się do uprawy w tym systemie osiągnęła ona najwyższy plon biomasy energetycznej i bardzo wysoką przeżywalność. Badania prowadzone były na dwóch stanowiskach i wyniki wskazują tu jednoznacznie na lepszą przydatność stanowiska zlokalizowanego na glebach o pochodzeniu organogenicznym, co warto zaznaczyć w zasadzie nieprzydatnych do uprawy płuznej, w porównaniu do stanowiska zlokalizowanego na glebach mineralnych nadającego się także do uprawy innych roślin rolniczych. Uważam, że ten osiągnięty wynik doświadczalny jest istotnym argumentem „za” w dyskusji na temat czy należy uprawiać wieloletnie rośliny energetyczne na gruntach rolnych, bowiem wyniki uzyskane przez nas wskazują, że nie może być mowy o konkurencji dla wierzby na gruntach marginalnych okresowo nadmiernie uwilgotnionych i nieprzydatnych do uprawy płuznej.

Warto tu wyraźnie stwierdzić, iż wierzba sadzona z tradycyjnych zrzesów o długości 20 cm nie miała żadnych możliwości na badanych stanowiskach do utrzymania się bowiem jej wzrost został całkowicie zahamowany przez szybko rosnącą roślinność łąkową.

Sadzenie żywokołów w systemie Eko-Salix okazało się bardziej opłacalne ze względu na osiągnięcie wyższych plonów biomasy jeśli obsada wyniosła 7400 w porównaniu do niższej badanej obsady 5200 roślin ha^{-1} . Rośliny wierzby sadzone w systemie Eko-Salix wykazały się także wysoką przeżywalnością nawet wtedy gdy warunki

pogodowe w roku sadzenia były niekorzystne dla dobrego przyjęcia się plantacji (panowały wtedy susze wiosenne).

Nawożenie wieloletnich roślin energetycznych jest niezmiernie interesującym problemem, który powinien być rozpatrywany zarówno pod względem produkcyjnym (mają tu miejsce typowe rozważania nad wyznaczeniem optymalnej dawki składników nawozowych w relacji do osiągniętego plonu biomasy) jak i środowiskowym (skoro na plantacjach roślin energetycznych ma być produkowane przyjazne dla środowiska biopaliwo to produkcja taka nie powinna odbywać się z zastosowaniem metod z definicji mogących przyczynić się do skażenia ekosystemów, ponieważ inaczej w całym cyklu takiej produkcji bioenergii jej przyjazność dla środowiska byłaby wysoce iluzoryczna). W większości krajów gdzie powszechniej niż w Polsce uprawia się rośliny lignocelulozowe dąży się ze względów środowiskowych do minimalizacji stosowania nawozów mineralnych stosując jako źródło składników pokarmowych odpadowe substancje organiczne^{4, 5, 6}.

Problem wykorzystania osadów ściekowych i kompostów wyprodukowanych z odpadów organicznych jako swoistego zamiennika nawożenia mineralnego był już w niniejszym autoreferacie sygnalizowany, lecz był on przede wszystkim rozpatrywany przeze mnie w ramach realizacji projektu BIOPROS, a także w badaniach, których wyniki opublikowano w **pracy 4**. W pracy tej zajęto się analizą możliwości użycia grzybów ektomikoryzowych w celu poprawy możliwości roślin wierzby do bardziej efektywnego pobierania składników mineralnych z gleby nawożonej niekonwencjonalnymi nawozami organicznymi.

Wszystkie niemal rośliny z rodzaju *Salix* wykazują dość rzadką w przyrodzie właściwość czyli zdolność do tzw. mikoryzy dualnej są one bowiem w stanie nawiązywać symbiozę korzeni zarówno z grzybami endo- jak i ektomikoryzowymi, których to pula w

⁴ Hasselgren K. 1998. Use of municipal waste products in energy forestry: highlights from 15 years of experience. *Biomass Bioener.* 15: 71 – 74

⁵ Dimitriou I., Rosenqvist H. 2011. Sewage sludge and wastewater fertilization of short-rotation coppice for increased bioenergy production – biological and economic potential. *Biomass Bioener.* 35: 835 – 842.

⁶ Kuzovkina Y., Quigley M.F. 2005. Willow beyond wetlands: use of *Salix* L. species for environmental projects. *Water, Air Soil Poll.* 162: 183 – 204.

glebach leśnych i na siedliskach naturalnych jest zwykle wysoka. Warto tu zaznaczyć, że jednak gdy wierzbę wprowadza się na stanowiska na glebach rolnych gdzie od lat gatunki tego rodzaju nie rosły to taka użyteczna obustronnie symbioza nie ma szans na szybkie i efektywne nawiązanie i niezbędna jest sztuczna mikoryzacja .

Z punktu widzenia fizjologii mineralnego odżywiania się szczególnie interesująca jest perspektywa współżycia korzeni wierzb z grzybami ektomikoryzowymi⁷. Strzępki takich grzybów, które są niekiedy nawet stukrotnie cieńsze niż korzenie włośnikowe są w stanie penetrować wielkie objętości gleby zwiększając w ten sposób powierzchnię chłonną systemu korzeniowego, chroniąc w sposób rośliny przez stresem wodnym, a ponadto strzępki zdolne są do udostępniania składników mineralnych, z połączeń organicznych, które to w żaden inny sposób nie są dla korzeni łatwo dostępne otrzymując w zamian od rośliny wyższej asymilaty⁸. Układ grzyby mikoryzowe – korzenie roślin wyższych jest bardzo starym ewolucyjnie i dojrzałym systemem symbiozy, który moim zdaniem można z korzyścią dla stanu środowiska i dla produktywności wykorzystać w produkcji biomasy energetycznej. Osiągnię się wtedy stan rzeczywistego systemu zrównoważonego pod względem środowiskowym, czyli będzie można stosować jedynie nawożenie organiczne, w tym odpadową materię organiczną, ponieważ dzięki symbiozie korzeni wierzb z komórkami *mycelium* grzybów mikoryzowych rośliny będą w stanie efektywnie pobierać składniki mineralne z teoretycznie nieprzyswajalnych połączeń organicznych, a uprawy wierzb energetycznej będzie można zakładać na glebach o okresowych deficytach wodnych (co np. jest charakterystyczne dla gleb zdegradowanych przez działalność górnictw czy przemysłową) gdzie wcześniej wierzba jako roślina o wysokim współczynniku transpiracji nie mogła być brana pod uwagę jako opcja rośliny energetycznej. Co więcej, niezmiernie interesującą z punktu widzenia możliwości poprawy stanu środowiska glebowego perspektywą jest możliwość zwiększenia tempa i ilości

⁷ Van der Heiden E.W. 2001. Differential benefits of arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal infection of *Salix repens*. *Mycorrhiza* 10: 185 -193.

⁸ Fillon M., Brisson J., Guidi W., Labrecque M. 2011. Increasing phosphorus removal in willow and poplar vegetation filters using arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecological Engineering* 37: 199 - 205.

pobieranych metali ciężkich a także zwiększenia możliwości rozkładu zanieczyszczeń organicznych wskutek symbiozy korzeni wierzby z grzybami mikoryzowymi⁹.

W **pracy 4** przedstawiono wyniki doświadczenia nad uprawą dwóch gatunków wierzby energetycznej na podłożach z dodatkiem bardzo wysokich dawek kompostów wyprodukowanych z mieszanych odpadów komunalnych w systemie Macrum-Dano w Suwałkach i w kompoście wytworzonym ze zmieszanych osadów ściekowych i odpadów komunalnych systemem Knerf w Białymstoku. Rośliny uprawiano bez nawożenia mineralnego przy zastosowaniu sztucznej inokulacji grzybami ektomikoryzowymi. Grzyby te wyizolowano z korzeni rośliny *Salix repens* znalezionych na wydmach nadbałtyckich czyli rosnącej w wyjątkowo trudnych warunkach siedliskowych. Można zaryzykować twierdzenie, że roślina ta była zdolna do życia wyłącznie dlatego, że jej korzenie współżyły z grzybami mikoryzowymi, które to po izolacji i rozmnożeniu powinny podjąć efektywną symbiozę z korzeniami innych gatunków wierzby. Szczepionka mikoryzowa zastosowana w doświadczeniu jest unikalna i nowatorska z tego względu, że zawarte są w niej jedynie żywe strzępki grzybów mikoryzowych, a nie jak w przypadku innych tego rodzaju produktów zarodniki grzybów.

Omawiane badania wykazały, że nastąpiło zasiedlenie korzeni zarówno wierzby z obu badanych form wierzby czyli gatunku *Salix viminalis* jak i *S. dasyclados* przez wprowadzone do strefy korzeniowej grzyby ektomikoryzowe, czyli użyta w badaniach szczepionka charakteryzowała się odpowiednią wirulentnością. W wyniku analizy plonu masy nadziemnej wierzby i jego składu chemicznego stwierdzono reakcję gatunkową wierzby na uprawę z wykorzystaniem sztucznej inokulacji grzybami ektomikoryzowymi w warunkach zastosowania wysokich dawek kompostów wytworzonych z odpadów komunalnych. Reakcja ta przejawiała się tym, że wierzba gatunku *S. viminalis* zareagowała wzrostem biomasy łodyg na sztuczną mikoryzację podczas gdy wierzba *S. dasyclados* wykazała zwiększenie jedynie biomasy liści w warunkach symbiozy z grzybami ektomikoryzowymi. Analizowano także zdolność akumulacji niektórych pierwiastków

⁹ Sell J., Kayser A., Schulin R., Brunner I. 2005. Contribution of ectomycorrhizal fungi to cadmium uptake of poplars and willows from heavily polluted soil. *Plant Soil* 277: 245 – 253.

śladowych zakładając możliwość zastosowania sztucznej mikoryzacji jako zabiegu mogącego poprawić potencjalne zdolności fitoremediacyjne wierzby, co jest ideą o wielkiej potencjalnie użyteczności z punktu widzenia środowiskowego i rolniczego jednocześnie ponieważ jej urzeczywistnienie może doprowadzić do osiągnięcia co najmniej dwóch istotnych celów środowiskowych – produkcji odnawialnej biomasy energetycznej z jednoczesną poprawą stanu gleb, sztuczna mikoryzacja wierzby energetycznej jest przykładem połączenia dwóch często trudnych do powiązania efektów: możliwości niskokosztowej poprawy wysokości plonu biomasy i rzeczywistej poprawy jakości różnych elementów środowiska¹⁰. Należy tu dodać, że użycie grzybów mikoryzowych jest jedną z preferowanych przez FAO metod sekwestracji węgla.

W świetle uzyskanych wyników można stwierdzić, że grzyby ektomikoryzowe a szczególnie w układzie współżycia z korzeniami wierzby gatunku *Salix viminalis* spowodowały zwiększenie gromadzenia się badanych metali ciężkich: kadmu, miedzi i ołowiu w biomasy energetycznej (tkanki łodyg) z podłoża kompostowych w porównaniu do roślin kontrolnych – nie poddanych sztucznej mikoryzacji. W przypadku drugiego badanego gatunku wierzby tj. *S. dasyclados* metale ciężkie pobrane przez rośliny mikoryzowane pozostają w tkankach liści czyli nie są wynoszone poza plantację, ale ulegają immobilizacji.

Uważam, że te wyniki mogą mieć ważne zastosowanie praktyczne bowiem jeśli uzna się fakt, że wierzba krzewiasta jako roślina energetyczna będzie uprawiana głównie na gruntach marginalnych (w tym chemicznie zdegradowanych) to istotny środowiskowo będzie oprócz aspektu produkcyjnego (wytwarzania biomasy energetycznej pożądanej przez energetykę i ciepłownictwo) także zdolność fitoremediacyjna tego gatunku, która ulegać może korzystnym modyfikacjom nie powodując problemów środowiskowych w rezultacie sztucznej mikoryzacji.

Reasumując osiągnięcie przedstawione we wniosku uważam, że udało się mi ustalić, że odpady organiczne przerabiane na komposty mogą być z powodzeniem

¹⁰ Rockwood D.L., Naidu C.V., Carter D.R., Rahmani M., Spriggs T.A., Lin C., Alker G.R., Isebrands J.G., Segrest S.A. 2004. Short-rotation woody crops and phytoremediation: opportunities for agroforestry? *Agroforestry Systems*. 61: 51 – 63.

zastosowane w uprawie roślin, a w szczególności wierzby energetycznej, a także, że wierzba energetyczna może być z powodzeniem uprawiana w rotacjach trzyletnich i przy zastosowaniu niskonakładowej metody Eko-Salix. Wyniki badań nad zastosowaniem sztucznej mikoryzacji roślin wierzby energetycznych wskazują nowe kierunki badawcze określenia czy i w jakim stopniu zabieg ten może poprawić zdolności fitoremediacyjne wierzby z utrzymaniem wysokiej produktywności biomasy mającej zastosowanie w energetyce jako biopaliwa.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Mój dorobek składa się z 35 prac oryginalnych opublikowanych w jako współautor w różnych zespołach i z jednego rozdziału w monografii. Według punktacji podanej przez Ministerstwo w 2012 r. dorobek ten ocenić można na 365 punktów, liczbę cytowań wg SCI oszacowałem na 22,5 a indeks $h = 4.0$.

W dorobku tym wyróżnić można kilka wiodących tematów:

- praca na temat zmian frakcji białkowych w starzejących się nasionach grochu, która to zawiera w sobie tematykę mojej pracy magisterskiej realizowanej w Katedrze Fizjologii i Biochemii Roślin ART – jedna praca 20 pkt;
- badania nad genotoksycznymi właściwościami organicznych pochodnych ołowiu i cyny, a także nad takimi właściwościami niektórych trwałych herbicydów, które realizowałem pracując w Katedrze Hodowli Roślin i Nasiennictwa ART prace były w latach 90-tych szeroko cytowane w czasopismach krajowych i zagranicznych. Byłem wtedy wykonawcą grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach badań nad genotoksycznymi właściwościami połączeń organicznych pochodnych cyny i ołowiu, które w pewnym sensie były badaniami pionierskimi na tym polu, a także nad takim działaniem herbicydów opublikowałem we współautorstwie 3 prace. Wyniki badań wskazują na niekorzystny wpływ badanych preparatów na aktywność mitotyczną korzeni zarodkowych i na zależność efektów genotoksycznych od rodzaju podstawnika organicznego – wg punktacji Ministerstwa prace te wyceniłem na 46 pkt.
- wyniki badań nad wpływem regulatorów wzrostu na gospodarkę mineralną roślin motylkowych, szczególnie bobiku, które to były przedmiotem mojej rozprawy

doktorskiej i stanowiły także owoc dwóch grantów KBN na temat egzogennej aplikacji regulatorów wzrostu na rośliny uprawne, w który byłem zaangażowany pracując w zespole Katedry Chemii Rolnej i Ochrony Środowiska. W pracach tych udało się wykazać, że zastosowane na rośliny uprawne fizjologiczne dawki syntetycznych regulatorów wzrostu roślin w tym syntetycznych analogów auksyn, a także inhibitorów transportu auksyn, a w szczególności naturalnie występującego w tkankach roślinnych alkoholu (triacontanolu) znacznie modyfikowały nie tylko architekturę rośliny, biologię kwitnienia i owocowania ale także powodowały modyfikacje tempa pobierania i dystrybucji składników mineralnych, co szczególnie w przypadku roślin motylkowych mogło mieć znaczenie praktyczne, bo przyczyniało się do zwiększenia aktywności akceptorów (rozwijających się pąków kwiatowych, a następnie nasion) w kierunku zwiększonego pobierania składników mineralnych co z kolei skutkowało zwiększeniem aktywności fotosyntetycznej donorów a mogło przyczynić się do poprawy aktywności systemu korzeniowego – 6 prac, 36 pkt;

- ważne miejsce w moim dorobku zajmują publikacje podsumowujące szeroko prowadzone badania nad składem chemicznym i wartością nawozową w powiązaniu z ryzykiem skażenia gleby wskutek zastosowania osadów ściekowych pochodzących z małych i dużych oczyszczalni ścieków z terenu całego naszego kraju a także nad wartością nawozową samych osadów ściekowych. W większości przypadków rolniczego zastosowania badanych osadów ściekowych jednoznacznie wykazano ich wysoką wartość nawozową jak i w sumie korzystny wpływ na właściwości fizykochemiczne typowych gleb użytkowanych rolniczo w regionie Polski północno-wschodniej opublikowałem 11 prac w tym obszarze, które wyceniłem na 78 pkt;
- w badaniach nad systemami uprawy wieloletnich roślin energetycznych oprócz prac podanych w punkcie a) opublikowałem we współautorstwie jeszcze dwie prace w bardzo wysoko notowanych czasopismach naukowych. W pracach tych analizowano agrotechniczne aspekty produkcji wieloletnich roślin energetycznych na przykładzie wyhodowanych w Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim odmian wierzby. Stwierdzono znaczne zróżnicowanie wysokości plonów wynikające z właściwości

- samych odmian jak i ze sposobu ich użytkowania – różnej gęstości sadzenia i częstotliwości zbioru. Stwierdzono, że coroczny zbiór biomasy wierzby badanych klonów nie jest uzasadniony z punktu widzenia produktywności choć jest prosty do przeprowadzenia technicznie i znacznie bardziej opłacane patrząc z aspektu rolniczego jest wykonywanie zbioru w cyklach trzyletnich. W jednej pracy zajęto się analizą jakości biomasy wierzby jako stałego paliwa, okazało się, że pelety wyprodukowane z biomasy wierzbowej ustępowały jedynie co jakości peletom wytworzonym z drewna opałowego najwyższej jakości, zawartość zaś składników powodujących problemy środowiskowe podczas spalania nie stwarzała powodów do obaw, i pelety z biomasy wierzbowej były bardziej bezpieczne w stosowaniu niż pelety wykonane z odpadowej biomasy „agro” – we współautorstwie opublikowałem 3 prace wycenione na 62 pkt;
- w moim dorobku znajduje się także prac mających charakter analitycznych obejmujących wyniki badań standardowo podejmowanych w Katedrze Chemii Rolnej, a dotyczących wpływu różnych nawozów na skład chemiczny i wartość odżywczą lub paszową różnych roślin uprawnych w tym warzyw. W jednej publikacji omówiono rolę programów rolno-środowiskowych w ograniczeniu zanieczyszczenia wód biogenami przez rolnictwo. Badania te prowadziłem w różnych zespołach i byłem odpowiedzialny za metodykę prac i przebieg analiz chemicznych – opublikowałem 7 takich prac, które wyceniłem na 49 pkt.

