

Autoreferat

dr Elżbieta Wójcik-Gront

Katedra Doświadczalnictwa i Bioinformatyki

Wydział Rolnictwa i Biologii

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Warszawa, 2019

1 Imię i Nazwisko

Elżbieta Wójcik-Gront

2 Posiadane dyplomy

2007 doktor nauk fizycznych, dyscyplina fizyka, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, tytuł rozprawy: „Badanie zmieszania izospinowego w jądrach gorących poprzez wzbudzenie Gigantycznego Rezonansu Dipolowego”

promotor: prof. dr hab. Marta Kicińska-Habior

2001 magister fizyki, specjalność Fizyka Jądra Atomowego, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, tytuł pracy: „Badanie Gigantycznego Rezonansu Dipolowego w jądrach o liczbie masowej A około 32”

promotor: prof. dr hab. Marta Kicińska-Habior

3 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

2011 – obecnie adiunkt, Katedra Doświadczalnictwa i Bioinformatyki, Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

2013 naukowiec wizytujący, Battelle Center for Mathematical Medicine, Columbus, Stany Zjednoczone

2010 – 2011 naukowiec specjalista, Central European University, Budapeszt, Węgry

- 4 [Wskazanie osiągnięcia wynikającego z 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 \(Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311\)](#)

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Modelowanie emisji gazów cieplarnianych pochodzących z rolnictwa w Polsce

4.2 Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

- 1) **E. Wójcik-Gront**, M. Ollik. 2018. Spatial analysis of agricultural greenhouse gas emission at municipality (LAU-2) level across Poland, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Horticulture and Landscape Architecture 39: 71-81.
[MNiSW₂₀₁₆ = 7 pkt.; mój wkład polegał na opracowaniu projektu, wykonaniu obliczeń oraz napisaniu pracy; mój udział procentowy szacuję na 70%, autor korespondencyjny]

- 2) **E. Wójcik-Gront**. 2015. Territorial analysis of agricultural greenhouse gas emission in Poland, Applied Ecology and Environmental Research 13: 417-425 .
[IF₂₀₁₅ = 0,500 pkt.; MNiSW₂₀₁₅ = 15 pkt.]

- 3) **E. Wójcik-Gront, D. Gront.** 2014. Assessing uncertainty in the Polish agricultural greenhouse gas emission inventory using Monte Carlo simulation, *Outlook on Agriculture* 43: 61-65.
[IF₂₀₁₄ = 0,478 pkt.; MNiSW₂₀₁₄ = 20 pkt.; mój wkład polegał na opracowaniu projektu, zebraniu danych, wykonaniu obliczeń oraz napisaniu pracy; mój udział procentowy szacuję na 97%, autor korespondencyjny]

- 4) **E. Wójcik-Gront, M. Bloch-Michalik.** 2016. Assessment of greenhouse gas emission from life cycle of basic cereals production in Poland, *Zemdirbyste-Agriculture* 103: 259–266 .
[IF₂₀₁₆ = 0,644 pkt.; MNiSW₂₀₁₆ = 20 pkt.; mój wkład polegał na opracowaniu projektu, zebraniu danych, wykonaniu obliczeń oraz napisaniu pracy, mój udział procentowy szacuję na 95%, autor korespondencyjny]

- 5) **E. Wójcik-Gront.** 2018. Variables influencing yield-scaled Global Warming Potential and yield of winter wheat production. *Field Crops Research* 227: 19-29.
[IF₂₀₁₆ = 3,127 pkt.; MNiSW₂₀₁₆ = 40 pkt.]

Łączny IF ww. publikacji zgodnie z rokiem wydania lub dla prac opublikowanych w 2018 roku zgodny z IF₂₀₁₆ wynosi **4,749**. Łączna liczba punktów wg. listy czasopism punktowanych MNiSW zgodnych z rokiem wydania lub dla prac opublikowanych w 2018 roku zgodny z listą z roku 2016 wynosiła **102** punkty.

4.3 Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników

1. Wprowadzenie

Lato roku 2018 było kolejnym z rekordową suszą i anomalnymi zjawiskami (pożary w Szwecji, huragan Florence na wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych, huragan Leslie w Portugalii). Znacząca większość środowiska naukowego uważa, że jest to efekt zmian klimatu wynikający ze zmiany składu atmosfery tj. zwiększania udziału gazów cieplarnianych głównie przez masowy wzrost zużycia paliw kopalnych przez człowieka. Zanim człowiek zaczął spalać ropę naftową, węgiel i gaz, atmosfera zawierała około 280 ppm CO₂ - teraz jest to około 360 ppm i wartość ta rośnie (IPCC, 2013). Stężenie CH₄ jest teraz ponad dwukrotnie wyższe niż w epoce przedprzemysłowej. Dziewięć z 10 najgorętszych lat odnotowano od 1993 roku. Średnia globalna temperatura powierzchni wzrosła o 0,3-0,6°C od końca XIX wieku (IPCC, 2013). Trend ten może doprowadzić do wzrostu temperatury między 3-5°C do roku 2100 (IPCC, 2013). Jednym z sektorów gospodarki zaliczanych do źródeł emisji gazów cieplarnianych jest rolnictwo. Rolnictwo przyczynia się do emisji gazów cieplarnianych, a z drugiej strony zmiana klimatu wpływa na wegetację roślin, częstość występowania upałów, suszy, powodzi i mrozu, intensywność burz, a co za tym idzie na lokalizację miejsc do optymalnej produkcji rolniczej.

Ograniczanie emisji gazów cieplarnianych stanowi wyzwanie dla całego świata. W 2016 roku Komisja Europejska przedstawiła dokument w sprawie rocznych wiążących ograniczeń emisji gazów cieplarnianych przez państwa członkowskie w latach 2021-2030. Filarem tej polityki jest redukcja emisji gazów cieplarnianych z sektorów nieobjętych unijnym systemem handlu uprawnieniami do emisji EU ETS (tzw. non-ETS), czyli między innymi z rolnictwa. Oparta na regulacjach UE polityka ekologiczna Polski do roku 2030 zakłada redukcję emisji gazów cieplarnianych o 14% w stosunku do wielkości emisji z sektorów non-ETS w 2005 roku. Jednym z głównych źródeł emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa jest stosowanie nawozów

azotowych. Dodatkowo, nadmiar azotu, niewykorzystany przez rośliny, jest wymywany z gleby i przedostaje się do wód. Z tego powodu polityka ekologiczna Polski zakłada wprowadzenie na obszarze całego kraju programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu. Efektami zmiany klimatu w Polsce mogą być przedłużające się fale upałów, okresowe, bardzo intensywne opady deszczu, przymrozki, silne wiatry oraz incydentalne trąby powietrzne (jak np. nawałnica, która przeszła przez znaczną część województwa pomorskiego w sierpniu 2017 r.), a także wyładowania atmosferyczne. Wszystkie te zjawiska mogą wpływać negatywnie na rolnictwo w Polsce zmieniając warunki produkcji rolniczej. Zmiany klimatyczne mogą się przyczynić do niedoborów wody oraz wydłużenia się okresu wegetacyjnego roślin rolniczych. To może narazić rośliny na bardziej nasilone ataki szkodników, a co za tym idzie może nastąpić spadek produkcji rolniczej i obniżenie poziomu bezpieczeństwa żywnościowego kraju.

Ilość gazów cieplarnianych emitowanych z rolnictwa może być oszacowana przy użyciu metodologii opracowanej przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC, 2006). Emisja obliczona tą metodą zawiera także oszacowanie niepewności wyznaczonych wartości. W pracach **nr 1** i **2**, wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, podjęłam temat oszacowania emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa w gminach i województwach w Polsce na przestrzeni kilkunastu lat, żeby wyznaczyć strukturę przestrzenną tej emisji i określić główne jej źródła. Z uwagi na to, że niepewność wyznaczenia emisji z rolnictwa jest najwyższa wśród wszystkich sektorów gospodarki, praca **nr 3** jest poświęcona porównaniu modeli służących do jej opisu. Emisja z rolnictwa wyznaczona według metodologii IPCC nie zawiera emisji powstałej podczas produkcji nawozów, środków ochrony roślin, maszyn rolniczych oraz zużycia paliwa do prac rolnych. Wobec tego, w pracy **nr 4** oszacowałam całkowitą emisję gazów cieplarnianych od wysiania do żniw podczas produkcji zbóż na jednostkę ich masy. W pracy **nr 5** wyznaczyłam zmienne mające

największy wpływ na wielkość emisji skalowanej plonem oraz efektywną produkcję pszenicy ozimej. Cykl tych prac składa się na modelowanie emisji gazów cieplarnianych pochodzących z rolnictwa w Polsce. Z jednej strony prezentuję oszacowanie emisji z całego sektora ze wskazaniem na główne jej źródła i rozmieszczenie w skali województw i gmin w Polsce. Z drugiej zaś strony modeluję całkowitą emisję podczas produkcji jednostki masy zbóż, ze wskazaniem na jej główne składniki i obszary, gdzie istnieje potencjał do jej redukcji.

2. Inwentaryzacja emisji gazów cieplarnianych

Polska, wspólnie z wieloma krajami na świecie, bierze udział w działaniach mających na celu ograniczenie zmian klimatu wywołanych przez antropogeniczną emisję gazów cieplarnianych. Jednym z sektorów gospodarki zaliczanych do źródeł emisji gazów cieplarnianych jest rolnictwo. Według metodologii opracowanej przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC) emisja gazów cieplarnianych z rolnictwa to około 10% całkowitej emisji z gospodarki Polski (KOBiZE, 2018). Według tej metodologii do źródeł gazów cieplarnianych emitowanych z rolnictwa należą: fermentacja jelitowa u zwierząt gospodarskich, emisja z odchodów zwierzęcych, emisja z użytków rolnych (głównie z gleb ornych) oraz emisja ze spalania resztek poźniwnych. Emisja z rolnictwa jest głównym źródłem gazów CH₄ i N₂O. CH₄ jest emitowany głównie podczas produkcji zwierzęcej w procesie fermentacji jelitowej u zwierząt gospodarskich. N₂O pochodzi głównie z produkcji roślinnej ze stosowania nawozów azotowych. Najmniejszy udział wśród gazów cieplarnianych emitowanych z sektora rolniczego ma CO₂, który jest efektem stosowania wapna na użytki rolne. Dla celów porównawczych, dla każdego z gazów cieplarnianych określono potencjał tworzenia efektu cieplarnianego GWP (Global Warming Potential), zwany także wskaźnikiem ocieplenia. Wartość GWP wyrażona w ekwiwalentach CO₂ (CO₂-eq.) informuje ile razy większy jest potencjał tworzenia efektu cieplarnianego cząsteczki gazu w stosunku do cząsteczki dwutlenku węgla. Potencjał ten zależy od efektywności pochłaniania promieniowania

elektromagnetycznego, długości pochłanianej fali i długości życia w atmosferze cząsteczki gazu cieplarnianego. GWP liczony dla okresu 100 lat przebywania gazu w atmosferze dla CH₄ wynosi 34 CO₂-eq., a dla N₂O 289 CO₂-eq. (IPCC, 2013).

Całkowita emisja gazów cieplarnianych ze wszystkich sektorów w Polsce w roku 2016 wyniosła 395 823,53 kt eq. CO₂ (KOBiZE, 2018). Metodologia liczenia emisji gazów cieplarnianych polega na pomnożeniu aktywności przez jej wskaźnik dla każdego źródła emisji (IPCC, 2006). W przypadku rolnictwa aktywnością jest na przykład liczba krów mlecznych, a wskaźnik emisji gazów cieplarnianych może być ilością CH₄ emitowaną przez krowę mleczną w wyniku procesu fermentacji jelitowej. W wielu przypadkach wskaźniki emisji są opracowywane stosownie do warunków kraju. Jeśli jednak nie jest to możliwe wykorzystuje się uogólnione wartości zaczerpnięte z opracowania IPCC. Kolejnym źródłem emisji z rolnictwa są odchody zwierząt gospodarskich. Emisje CH₄ związane z tym źródłem są związane głównie z liczbą sztuk bydła i trzody chlewnej. Wskaźniki emisji dla CH₄ i N₂O pochodzących z odchodów zwierząt gospodarskich liczone są dla systemów gospodarowania odchodami zwierząt występującymi w kraju i zależą od ilości wydalanych lotnych substancji, wskaźnika maksymalnej emisji CH₄ lub zawartości azotu w odchodach zwierząt oraz współczynnika konwersji gazu dla systemów przechowywania odchodów zwierząt charakterystycznych dla klimatu kraju (IPCC, 2006). Znaczna część krajowej emisji N₂O jest związana z uprawą gleby. Emisja ta pochodzi głównie z nieorganicznych nawozów azotowych stosowanych na glebę oraz wykorzystania nawozów organicznych. N₂O emitowany do atmosfery pochodzi z mikrobiologicznych procesów przemian związków azotu zachodzących w glebach (IPCC, 2006). Wielkość jego emisji z gruntów rolnych zależy od współdziałania stanu natlenienia gleby, jej temperatury, dostępności węgla organicznego oraz struktury gleby, a także zastosowanej agrotechniki i warunków klimatycznych (Bouwman, 1996).

W pracach nr 1 oraz 2 położyłam nacisk na zbadanie jak emisja z rolnictwa kształtuje się dla rejonów na obszarze całej Polski. Do badań w pracy nr 1 użyłam danych z Narodowego Spisu Rolnego zebranych w 2010 roku przez Główny Urząd Statystyczny. W pracy tej policzyłam ilość gazów cieplarnianych emitowanych z rolnictwa dla każdej z 2173 gmin Polski (LAU-2). Następnie po raz pierwszy dla całej Polski powstały mapy całkowitej emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa, a także mapy emisji z podziałem na poszczególne typy gazów cieplarnianych. Przeprowadzone badania wykazały, że ilość emitowanych gazów cieplarnianych z rolnictwa zależy głównie od powierzchni użytków rolnych w gminie, które są głównym źródłem emisji N_2O oraz od liczby zwierząt gospodarskich, w szczególności bydła emitującego CH_4 w procesie fermentacji jelitowej. Obszary o najniższej emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa położone są głównie na obszarach o niesprzyjającym rolnictwu ukształtowaniu terenu lub klimacie. Są to obszary w południowo-wschodnich rejonach Polski (Keenleyside et al., 2014), na przykład, na terenach górzystych w Karpatach i Górach Świętokrzyskich (Kondracki, 2000) oraz w miejscach o złej jakości gleby, na przykład, w okolicach dużych miast jak Warszawa, Radom, Częstochowa, Katowice (Marcinek et al., 2011). Na Pomorzu i w okolicach Puszczy Rzepińskiej również odnotowano mniejszą emisję gazów cieplarnianych ze względu na wysoki udział lasów i rolnictwa ekstensywnego. W rejonie podlaskim obserwuje się wysoką wartość emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa. Jest to związane z intensywną produkcją zwierzęcą na mleko i mięso (Castel et al., 2010, Petrick and Tyran, 2003). Drugim rejonem z wysoką emisją gazów cieplarnianych z rolnictwa jest Wielkopolska. Ze względu na dobrej jakości gleby nastąpił tam intensywny rozwój produkcji roślinnej (Litwińczuk i Grodzik, 2014). Najwyższą emisję zaobserwowano w gminie Wierzchowo w województwie zachodniopomorskim. Dane pokazują, że jest to spowodowane emisją CH_4 z bardzo dużej hodowli trzody chlewnej. Jak wspomniano, emisja N_2O z rolnictwa pochodzi głównie ze stosowania nawozów azotowych podczas uprawy gleby (Decock et al., 2015). Rejony zachodnie Polski charakteryzują się wysoką emisją N_2O . W

szczegółności gmina Głubczyce w województwie opolskim, gdzie odnotowuje się bardzo wysoki udział użytków rolnych w powierzchni gminy. Emisja dwutlenku węgla z rolnictwa również jest wyższa w zachodnich rejonach Polski. Jest to związane z wyższą intensywnością rolnictwa na tych obszarach i co za tym idzie wyższym zużyciem środków produkcji rolniczej, w tym wapna. Badania nad emisją gazów cieplarnianych z rolnictwa w gminach pozwolą na zidentyfikowanie głównych jej źródeł. W chwili, gdy zrealizowane zostaną pomysły, aby rolnictwo zostało włączone do europejskiego systemu handlu emisjami EU ETS, może to być podstawą do opracowania sposobów na redukcję emisji gazów cieplarnianych z tego sektora. W pracy **nr 2** policzyłam według metodologii IPCC emisję gazów cieplarnianych z rolnictwa dla województw. Obliczenia przeprowadziłam dla różnych punktów czasowych w latach 2000-2012, aby wychwycić zmiany w ilości emitowanych gazów. Dodatkowo emisję dla każdego województwa obliczyłam wraz z niepewnością wynikającą z niedokładności towarzyszącej danym wejściowym. Najwyższa emisja gazów cieplarnianych pochodzi z województw mazowieckiego i wielkopolskiego ze względu na ich wysoką intensywność rolniczą. Po przeliczeniu, emisja w tych województwach wynosi powyżej 550 CO₂ eq. na 100 km² i jest 10 razy wyższa niż w województwach o wyższej gęstości zaludnienia i bardziej zurbanizowanych jak lubuskie, opolskie i śląskie. Charakter emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa policzonej dla województw nie zmieniał się pomiędzy rokiem 2000 a 2012. We wszystkich województwach niepewność wyznaczenia całkowitej emisji z rolnictwa była na poziomie 40% i pochodziła głównie z niepewności wyznaczenia wskaźników emisji dla N₂O.

3. Niepewność oszacowania emisji z sektora.

Każda z wielkości użytych do obliczenia emisji z rolnictwa jest obarczona niepewnością pomiaru. Niepewność związana jest z niedokładnymi wartościami danych otrzymywanych ze źródeł zewnętrznych, niepełną znajomością procesu powstawania gazów cieplarnianych wynikającą ze złożoności zjawiska lub

nieznanym wpływem otoczenia. Sprawozdawane wartości emisji gazów cieplarnianych powinny zawierać oszacowanie niepewności wyników (IPCC, 2000). Każdy kraj może wybrać jedną z dwóch metod oszacowania niepewności. Pierwsza z nich zakłada, że zmienne wejściowe są niezależne i każda zmienna pochodzi z rozkładu normalnego. Wtedy, przy wyznaczaniu niepewności korzysta się z metody propagacji błędu (IPCC, 2000). Można też użyć metody Monte Carlo (MC), która nie wymaga tych założeń. Ponieważ jedynie Austria, Belgia, Dania, Finlandia, Holandia, Niemcy, Norwegia i Wielka Brytania zdecydowały się na użycie tej metody (Fauser et al, 2011; Winiwarter and Muik, 2010; Ramírez et al, 2008; Monni et al, 2004; Romano et al, 2004; Rypdal, 2002; Winiwarter and Rypdal, 2001), w pracy nr 3 policzyłam niepewności oszacowania emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa za pomocą metody symulacyjnej MC. Wybrałam rolnictwo, gdyż z powodu skomplikowanego sposobu oszacowania emisji N₂O z użytków rolnych, ma ono największy wkład do niepewności oszacowania całkowitej emisji gazów cieplarnianych w kraju (Bouwman, 1996, Smil, 1999). Wartość niepewności, oszacowana na podstawie 95-procentowego przedziału ufności dla średniej wartości aktywności i wskaźnika emisji dla każdego źródła emisji, odzwierciedla problemy z dostępnością danych i ich jakością. W uproszczonej metodzie, opartej na propagacji błędu, zaniedbuje się korelacje między wartościami, a funkcje gęstości prawdopodobieństwa ciągłych zmiennych losowych, którymi tu jest aktywność oraz wskaźnik emisji, to krzywe Gaussa (prawdopodobieństwo niedoszacowania i przeszacowania jest takie samo). Uproszczona metoda jest łatwiejsza w użyciu, ale może prowadzić do nierealistycznych wartości, na przykład ujemnego wskaźnika emisji, gdy niepewność przekracza 100% wartości. Właśnie dlatego metoda oparta na MC może być lepszym wyborem. W metodzie MC można wprowadzić odpowiednio dobraną funkcję gęstości prawdopodobieństwa, zapobiegając wartościom ujemnym w sytuacjach, gdy niepewność jest bardzo duża. Metoda ta ułatwia także uwzględnianie korelacji, gdy na przykład dane wejściowe pochodzą z tego samego źródła. W pracy nr 3 wykorzystałam symulację MC do uzyskania emisji rolniczych

gazów cieplarnianych w Polsce w 2011 r. Metody MC wykorzystują powtarzające się losowe pobieranie wielkości charakteryzujących proces, przy czym losowanie dokonywane jest zgodnie z prawdopodobieństwem założonego dla tego procesu rozkładu. W pierwszym etapie symulacji przyjąłam odpowiednie funkcje gęstości prawdopodobieństwa dla aktywności i wskaźników emisji dla każdego źródła emisji gazów cieplarnianych. Modelowanie MC przeprowadziłam na trzy sposoby. Po pierwsze założyłam, że wszystkie aktywności i wskaźniki emisji opisywane są za pomocą log-normalnej funkcji gęstości prawdopodobieństwa. Argumentami funkcji są jedynie wartości dodatnie. W przypadku małych niepewności odchylenie standardowe rozkładu log-normalnego jest małe i funkcja staje się symetryczna, podobnie jak ma to miejsce w przypadku rozkładu normalnego. Po drugie, we wszystkich przypadkach, w których niepewność aktywności lub wskaźnika emisji nie przekracza 50% użyłam funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu normalnego, a w pozostałych rozkładu log-normalnego. W ostatnim przypadku, korzystając z log-normalnego rozkładu dla wszystkich aktywności i wskaźników emisji, przyjąłam, że dane wejściowe mogą być skorelowane, a korelacja równa się 1, gdy pochodzą z tego samego źródła, na przykład gdy statystyki krajowe dotyczące bydła w Polsce zostały wykorzystane do oszacowania emisji różnych gazów cieplarnianych. Celem zastosowania trzech wariantów modelowania MC było przewidzenie wrażliwości oceny niepewności emisji z rolnictwa w zależności od wyboru funkcji gęstości prawdopodobieństwa i uwzględnienia korelacji. Wyniki symulacji MC porównałam z oszacowaniem niepewności w oparciu o regułę propagacji błędów z polskiego raportu inwentaryzacji emisji w celu oceny wartości dodanej metody MC. Uzyskana średnia wielkość emisji CH₄ jest bardzo podobna we wszystkich metodach szacowania emisji i wynosi 576,8 Gg CH₄. Porównanie w pracy nr 3 metod propagacji błędów i symulacji MC z założeniami połączenia dwóch funkcji gęstości prawdopodobieństwa pokazało, że w obu metodach niepewność wyznaczenia ilości CH₄ z rolnictwa jest symetryczna i zbliżona pod względem wartości (27,5%). W tym przypadku można powiedzieć, że uproszczone podejście do

szacowania niepewności daje ten sam efekt, co podejście zaawansowane. Na podstawie wyników pracy nr 3, średnia wartość emisji N₂O jest bardzo podobna we wszystkich podejściach i wynosi 73,5 Gg N₂O, a warianty oparte na MC oceny niepewności dają wartości niesymetryczne (-50,0% do +99,9%). Wynika to z dużej niepewności wskaźników emisji N₂O, co implikuje użycie logarytmicznej funkcji gęstości prawdopodobieństwa. W pracy nr 3 pokazuję także, że uwzględnienie korelacji nie zmienia wyników. Może to jednak wynikać z braku wielu skorelowanych wartości dla jednego roku i jednego sektora. Symulacje MC powodują, że proces szacowania niepewności w inwentaryzacji GHG jest bardziej elastyczny. W przypadku niepewności danych wejściowych mniejszej niż 50% symulacja MC daje podobne wyniki, co metoda propagacji błędów. Wobec tego, uzasadnione jest zastosowanie uproszczonego podejścia do obliczania niepewności w sektorze. Jednak ze względu na możliwe zmiany w sposobie wyznaczania emisji gazów cieplarnianych, symulacje MC mogą być bardziej wiarygodne. W szczególności, kiedy na podstawie otrzymanych wyników niejednokrotnie podejmowane są decyzje w polityce dotyczącej zmian klimatu.

4. Ocena Cyklu Życia (LCA – Life Cycle Assessment)

Jak wspomniano wcześniej, według metodologii opracowanej przez IPCC, do źródeł gazów cieplarnianych emitowanych z rolnictwa należą fermentacja jelitowa, emisja z odpadów zwierzęcych, emisja z gleb, emisja ze spalania szczątków poźniwnych. Jednak emisja pochodząca ze zużycia paliw kopalnych wykorzystanych do produkcji nawozów i środków ochrony roślin, maszyn rolniczych, transportu środków rolniczych, zabiegów agrotechnicznych jest liczona do innych sektorów (Carlsson-Kanyama i González, 2009; Snyder i in., 2009; Charles i in., 2006). Dlatego w pracy nr 4 wyznaczyłam potencjał tworzenia efektu cieplarnianego dla jednostki plonu ze zbóż. Emisję gazów cieplarnianych w produkcji roślinnej obliczyłam jako sumę emisji z przygotowania nasion, produkcji i stosowania nawozów mineralnych i nieorganicznych pestycydów, a także zużycie paliwa w operacjach polowych. To są

źródła emisji dla kilku gazów: CO₂, N₂O i CH₄, których ilość jest wyrażona jako ekwiwalent CO₂ (CO₂-eq.). Całkowitą emisję z jednego hektara uprawy obliczyłam jako sumę iloczynów ilości składnika zastosowanego na glebę (np. ilość nawozu N) lub ilości zużytej energii (np. ilość paliwa wykorzystana podczas zabiegu agrotechnicznego) oraz wskaźnika emisji (EF) wyznaczonego na podstawie danych literaturowych (Berry i in. 2006; Hughes i in. 2011; Khoshnevisan i in. 2013). Wyznaczoną emisję podzieliłam przez plon rośliny rolniczej otrzymany z jednego hektara. W ten sposób otrzymałam emisję skalowaną plonem. Do badania użyłam danych z Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU) (Bujak i in., 2013). Dane zawierały dawki nawozów i środków ochrony roślin oraz wyniki plonów w intensywnym systemie upraw dla pszenicy ozimej i jarej, jęczmienia ozimego i jarego, pszenżyta ozimego i jarego, żyta ozimego i owsa jarego. Pod uwagę wzięłam 89 lokalizacji i 6 sezonów wegetacyjnych (2010-2015). Dzięki temu pozyskałam reprezentatywne dane do analizy z różnorodnych warunków środowiskowych. Większość upraw w COBORU prowadzona jest na dwóch poziomach agrotechniki (a₁ i a₂). Pierwszy poziom intensywności a₁ można opisać jako umiarkowany, a drugi a₂ jako wysoki. Na poziomie a₁ stosowano nawożenie mineralne, zaprawę nasion, herbicydy i insektycydy. Na poziomie a₂, zastosowano dodatkowe nawożenie azotem (ok. 40 kg ha⁻¹), nawożenie dolistne, zastosowano fungicydy i regulator wzrostu. Dane o zużyciu paliwa podczas zabiegów agrotechnicznych zostały pozyskane z wielostopniowego modelu na podstawie zużycia paliwa w tradycyjnym gospodarstwie przy użyciu konwencjonalnych maszyn rolniczych na podstawie Gaworskiego i Korpysz (2009) na uprawę roli, talerzowanie, bronowanie, nawożenie, orkę, przygotowanie gleby do siewu, siew, chemiczną ochronę roślin, zbiór i transport plonu. Na podstawie dostępnych danych w pracy nr 4 wyznaczyłam średnie wartości emisji skalowanej plonem dla zbóż dla obydwu poziomów agrotechniki wraz z ich niepewnością. W wyniku obliczeń otrzymałam, że emisja skalowana plonem ma wartość od 0,25 kg CO₂-eq./kg plonu dla żyta ozimego do 0,33 kg CO₂-eq./kg plonu dla pszenicy jarej. Wyniki te są

porównywalne z opracowaniami ze świata (Biswas i in., 2008; Yan i in., 2015). Okazało się, że dla zbóż dominujący wkład do emisji skalowanej plonem miała emisja pochodząca z użytego azotu dla obu intensywności agrotechnicznych (od 58,43% do 70,52%). Następną w kolejności znaczenia była emisja z użytego paliwa (od 8,30% do 12,70%), a później emisja z pozostałych nawozów. Wpływ środków ochrony roślin na emisję nie był bardzo wysoki mimo wysokich wartości wskaźników emisji, ponieważ stosowane dawki są 10-krotnie niższe niż dla azotu. Z przeprowadzonej w pracy **nr 4** analizy wynika, że emisja skalowana plonem była wyższa na poziomie agrotechniki a2. Wiązało się to z większymi dawkami azotu na tym poziomie, których nie rekompensował wyższy plon. Nasuwa się stąd wniosek, że może dochodzić do nieefektywnego wykorzystania azotu. Roślinna produkcja rolnicza, aby osiągnąć wysoki i dobrej jakości plon, wymaga intensywnego używania środków ochrony roślin i nawozów, a w szczególności nawozów azotowych. Mimo, że nawozy azotowe są kluczowe w agronomii, to ich nadużywanie może niekorzystnie wpływać na środowisko. W literaturze dostępne są opracowania dowodzące, że nawozy azotowe stosowane w nadmiarze w stosunku do potrzeb rośliny zmniejszają efektywność pobierania azotu przez roślinę i prowadzą do gromadzenia się reaktywnego azotu w glebie prowadzącego do zwiększenia emisji gazu cieplarnianego N_2O (Liu et al., 2015). Każda cząsteczka N_2O ma prawie 300 razy silniejszy wpływ na tworzenie efektu cieplarnianego niż cząsteczka CO_2 (IPCC, 2013). Ze względu na wagę badań i działań mających na celu zwiększenie efektywności wykorzystania nawozów azotowych w rolnictwie, wątek ten podjęłam następnie w pracy **nr 5** dotyczącej pszenicy ozimej, jako jednej z głównych roślin rolniczych na świecie. Wpływ czynników środowiskowych, pogodowych i agrotechnicznych na zmienność plonu i emisji skalowanej plonem analizowałam przy użyciu metod drzew regresyjnych CART (Classification And Regression Trees) i RF (Random Forest). Najważniejszym wnioskiem pracy **nr 5** jest, że nawozy azotowe stosowane w nadmiarze nie są motorem poprawy wydajności produkcji pszenicy ozimej. Zależność wielkości plonu od dawki azotu jest niemonotoniczna

(Hawkesford, 2014; Zhou i Butterbach-Bahl, 2014). Próby zwiększania plonu jedynie przez zwiększenie dawek azotu mogą prowadzić do nieefektywnego wykorzystania pierwiastka przez roślinę i strat do gleby, które powodują zanieczyszczenie powietrza i zanieczyszczenie wód zagrażające ludzkiemu zdrowiu (Basso i Ritchie, 2005). Wyniki te potwierdzają wcześniejsze badania wskazujące na to, że zwiększenie dawki nawozu azotowego powoduje większą emisję N_2O , a tym samym wyższy GWP z jednostki powierzchni upraw (Galloway i in., 2003, Tonitto i in., 2006; Gruver i Galloway, 2008; Bouwman i in., 2013; Chen i in., 2014; Wang i Dalal, 2015). W pracy **nr 5** ustaliłam także, że mimo dużej niepewności wyznaczenia wartości emisji gazów cieplarnianych skalowanej plonem nadal środowisko, czyli warunki pogodowe i jakość gleby, było zmienną mającą największy wpływ na wariancję wyznaczonej wielkości. To samo zaobserwowano w pracy Rozbicki i in. (2015), gdzie do analizy zmienności plonu pszenicy wykorzystano liniowe modele mieszane. Produkcja pszenicy ozimej jest wrażliwa na sezonowe i rokroczne warunki pogodowe w wielu regionach świata (Tapley i in., 2013, Derejko i in., 2016). Efekty środowiskowe odpowiadają za około 80% lub więcej całkowitej zmienności w plonie ziarna pszenicy (Mohammadi i in., 2010; Tapley i in., 2013; Slafer i in., 2014; Derejko i in., 2016). Zróżnicowanie plonu zależy, między innymi, od dostępności wody podczas intensywnego wzrostu pszenicy (w Polsce są to miesiące maj i czerwiec). W pracy **nr 5**, zmienna wyrażająca dostępność wody dla rośliny – klimatyczny bilans wodny (KBW) dla okresu maj-czerwiec była ważną zmienną w wyjaśnieniu zmienności plonu. Klasa gleby była również bardzo ważną zmienną w wyjaśnieniu zmienności plonu. Im wydajność agronomiczna gleby była lepsza, tym wyższy obserwowano plon. Zaskakującym wynikiem pracy **nr 5** jest, że czynnikiem ograniczającym plon jest nadmiar wody w końcowej fazie wzrostu pszenicy ozimej, w czerwcu i lipcu. Ponieważ Polska charakteryzuje się dużą zmiennością warunków pogodowych podczas wegetacji roślin, czasami w trakcie żniw pojawiają się niekorzystne warunki pogodowe. Ciągłe opady i brak słońca podczas żniw mogą powodować niższy plon. Ciekawym odkryciem pracy **nr 5** jest to, że fungicydy i

regulatory wzrostu są bardzo ważnymi zmiennymi w wyjaśnieniu zmienności plonu pszenicy ozimej. Stwierdzenie to jest zgodne z obserwacją, że kiedy występują duże ilości opadów w połączeniu z niskim nasłonecznieniem, rośliny pszenicy ozimej są szczególnie narażone na ataki grzybów. Zastosowanie fungicydu może uchronić roślinę przed chorobami, którym sprzyjają wilgotne warunki. Innymi niepożądanymi efektami nadmiaru wody dostępnej dla roślin, które prowadzą do zmniejszenia plonowania, są namnażanie się szkodników, wymywanie składników pokarmowych z gleby, zahamowanie pobierania tlenu przez korzenie i utrudnione żniwa oraz wyleganie zbóż (Zampieri i in., 2017). Skuteczną metodą przeciwdziałania temu zjawisku jest zastosowanie podczas uprawy regulatorów wzrostu. Dlatego w pracy nr 5 jedną z obserwacji jest dodatnia korelacja plonu z ilością użytych regulatorów wzrostu. Wiadomo także, że gleba dotknięta nadmiarem wody sprzyja utracie azotu, zmniejszając jego dostępność dla roślin (Huang i in., 1995). Związek między opadami, nawożeniem i produkcją roślinną nie jest liniowy. Dlatego niezwykle ważne jest dalsze badanie tych zależności, aby umożliwić efektywną produkcję żywności.

5. Podsumowanie

Celem prezentowanych prac było ukierunkowanie uwagi czytelnika na emisję gazów cieplarnianych z rolnictwa. W pracach nr 1 i 2 dotyczących całego obszaru Polski wskazałam główne źródła emisji z rolnictwa w poszczególnych gminach i województwach. Określenie tych źródeł jest konieczne w celu redukcji emisji gazów cieplarnianych, aby przedsięwziąć odpowiednie kroki dostosowane do specyfikacji rolniczej gminy i utrzymać tę emisję na możliwie niskim poziomie. W pracy nr 3 skupiłam się na problemie niepewności oszacowania emisji z rolnictwa. Głównym źródłem niepewności emisji jest emisja N_2O z gleb. Bez właściwego rozpoznania jej wielkości nie można mówić o prawidłowym oszacowaniu emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa i tym samym z całej gospodarki kraju.

Emisja z rolnictwa to nie tylko emisja liczona według metodologii opracowanej przez IPCC, ale także emisja pochodząca ze zużycia paliw kopalnych wykorzystanych do produkcji nawozów i środków ochrony roślin, maszyn rolniczych, transportu środków rolniczych, zabiegów agrotechnicznych. Ważne jest określenie całkowitej emisji powstałej podczas produkcji gotowego produktu. W celu zapewnienia bytu rosnącej populacji ludzi przy malejącej powierzchni gleb nadających się pod uprawy powinniśmy skupić się na produkcji żywności z możliwie najmniejszym tzw. śladem ekologicznym, czyli możliwie najniższą emisją skalowaną plonem. W pracach nr 4 i 5 wskazuję na główne składowe emisji gazów cieplarnianych w produkcji zbóż. W szczególności w pracy nr 5 pokazuję, że istnieje potencjał do redukcji emisji skalowanej plonem bez zmniejszania wydajności produkcji. Najważniejszym wnioskiem z prezentowanych prac było, że emisja z rolnictwa zależy w głównej mierze od ilości stosowanych nawozów azotowych. Z drugiej strony nadmiar zastosowanego nawozu nie przyczynia się do zwiększenia plonu i może mieć negatywny wpływ na środowisko.

W pewnym stopniu zmienność plonu w produkcji pszenicy ozimej w warunkach klimatycznych i glebowych Polski można zneutralizować przez odpowiednią intensywność agronomiczną i odpowiedni dobór jej odmian. Zatem emisja gazów cieplarnianych skalowana plonem może być utrzymana na najniższym możliwym poziomie. Na początku mojej dalszej pracy naukowej będę starała się określić optymalne dawki nawozów oraz środków ochrony roślin w celu uzyskanie wysokiego plonu przy jednoczesnej redukcji emisji gazów cieplarnianych. Podjęłam już pierwsze kroki w tym kierunku. W roku 2018 zostałam laureatem 5 edycji grantu MINIATURA. Projekt ten ma mi pomóc poznać program symulacyjny DSSAT, aby zbadać wpływ kombinacji pogody podczas wegetacji, jakości gleby i intensywności agrotechniki na plon roślin rolniczych. Wyniki symulacji będą wstępem do zaplanowania doświadczeń polowych, w których oceniana będzie optymalna agrotechnika dla różnych warunków środowiskowych upraw.

6. Literatura

- Basso B., Ritchie J.T. (2005) Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 108, 329–341.
- Berry P.M., Kindred D.R., Paveley N. D. (2006) Quantifying the effects of fungicides and disease resistance on greenhouse gas emissions associated with wheat production. *Plant Pathology* 57, 1000-1008.
- Biswas W.K., Barton L., Carter D. (2008) Global warming potential of wheat production in Western Australia: a life cycle assessment. *Water and Environment Journal* 22, 206–216.
- Bouwman A.F. (1996) Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46(1), 53-70.
- Bouwman A.F., Beusen A.H.W., Griffioen J., Van Groenigen J.W., Hefting M.M., Oenema O., Van Puijenbroek P.J.T.M., Seitzinger S., Slomp C.P., Stehfest E. (2013) Global trends and uncertainties in terrestrial denitrification and N₂O emissions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 368.
- Bujak H., Tratwal G., Weber R., Kaczmarek J., Gacek E. (2013) An analysis of spatial similarity in the variability of yields of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Western Poland. *Zemdirbyste-Agriculture* 100(3), 311–316.
- Carlsson-Kanyama A., González A.D. (2009) Potential contributions of food consumption patterns to climate. *American Journal of Clinical Nutrition* 89(5), 1704S-1709S.
- Castel J.M., Mądry W., Gozdowski D., Roszkowska- Mądra B., Dąbrowski M., Lupa W., Mena Y. (2010) Family dairy farms in the Podlasie province, Poland: farm typology according to farming system. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8, 946–961.

- Charles R., Jolliet O., Gaillard G., Pellet D. (2006) Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. *Agriculture Ecosystems and Environment* 113(1-4), 216-225.
- Chen X., Cui Z., Fan M., Vitousek P., Zhao M., Ma W., Wang Z., Zhang W., Yan X., Yang J. (2014) Producing more grain with lower environmental costs. *Nature* 514, 486–489.
- Decock C., Lee J., Nepalova M., Pereira E.I.P., Tendall D.M., Six J. (2015) Mitigating N₂O emissions from soil: from patching leaks to transformative action *Soil* 1(2), 687.
- Derejko A., Studnicki M., Mądry W., Gacek E. (2016) A Comparison of Winter Wheat Cultivar Rankings in Groups of Polish Locations. *Cereal Research Communications*. 44(4), 628–638.
- Fausser P., Sørensen P. B., Nielsen M., Winther M., Plejdrup M. S., Hoffmann L., Gyldenkerne S., Mikkelsen M. H., Albrektsen R., Lyck E., Thomsen M., Hjelgaard K., Nielsen O.-K. (2011) Monte Carlo (Tier 2) uncertainty analysis of Danish Greenhouse gas emission inventory. *Greenhouse Gas Measurement and Management*, Vol 1, No 3/4, pp 145-161.
- Galloway J.N., Aber J.D., Erisman J.W., Seitzinger S.P., Howarth R.W., Cowling E.B., Cosby J. (2003) The nitrogen cascade. *Bioscience* 53, 341–356.
- Gaworski M., Korpysz K. (2009) Agricultural engineering. *Mechanizacja rolnictwa*, vol. 2. Warszawa, Poland
- Gruver N., Galloway J.N. (2008) An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature* 451(7176), 293–296.
- Hawkesford M. J. (2014) Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science*. 59, 276-283.
- Huang B., Johnson J.W., NeSmith D.S., Bridges D.C. (1995) Nutrient accumulation and distribution of wheat genotypes in response to waterlogging and nutrient supply. *Plant and Soil* 173(1), 47-54.

- Hughes D. J., West J. S., Atkins S. D., Gladders P., Jeger M. J., Fitt B. DL. (2011) Effects of disease control by fungicides on greenhouse gas emissions by UK arable crop production. *Pest Management Science* 67(9), 1082–1092.
- IPCC, 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC, 2006. De Klein C., Novoa R. S. A., Ogle S., Smith K. A., Rochette P., Wirth T. C., McConkey B. G., Mosier A., Rypdal K. 2006. N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use.
- IPCC, 2013. Myhre G., Shindell D., Bréon F.M., Collins W., Fuglestedt J., Huang J., Koch D., Lamarque J.-F., Lee D., Mendoza B., Nakajima T., Robock A., Stephens G., Takemura T., Zhang H. (2013) Anthropogenic and natural radiative forcing. In: *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K., Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Keenleyside C., Beafoy G., Tucker G., Jones G. (2014) High Nature Value farming throughout EU-27 and its financial support under the CAP. Report Prepared for DG Environment, Contract No ENV B.1/ETU/2012/0035, Institute for European Environmental Policy, London.
- Khoshnevisan B., Rafiee S., Omid M., Yousefi M., Movahedi M. (2013) Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy* 52, 333-338.
- KOBiZE, 2018. Database of National Administration of Emission Trading Scheme containing information on emissions of GHG and other pollutants. National Research Institute of Environmental Protection.
- Kondracki J. (2000) *Regional geography of Poland*. PWN, Warszawa, 441.

- Litwińczuk Z., Grodzik H. (2014) Stan hodowli i chowu bydła w Polsce oraz czynniki warunkujące rozwój tego sektora. *Przegląd Hodowlany* 6, 1–5.
- Liu Y.N., Li Y.C., Peng Z.P., Wang Y.Q., Guo L.P., Lin E.D., Xue H.A.N. (2015) Effects of different nitrogen fertilizer management practices on wheat yields and N₂O emissions from wheat fields in North China. *Journal of Integrative Agriculture* 14(6), 1184–1191.
- Marcinek J., Komisarek J., Bednarek R., Mocek A., Skiba S., Wiatrowska K. (2011). Systematyka gleb Polski, *Soil Science Annual* 62 (3).
- Mohammadi R., Roustaii M., Haghparast R., Roohi E., Solimani K., Ahmadi M., Abedi R., Amri A. (2010) Genotype × environment interactions for grain yield in rainfed winter multi-environment trials in Iran. *Agronomy Journal* 102, 1500–1510.
- Monni S., Syri S., Savolainen I. (2004) Uncertainties in the Finnish Greenhouse Gas Emission Inventory *Environmental Science & Policy* 7(2) 87–98.
- Petrack M., Tyran E. (2003) Development perspective of subsistence farmers in Southeastern Poland: Social buffer stock or commercial agriculture, in S.Abele and K.Frohberg (eds.), *Subsistence agriculture in Central and Eastern Europe: How to break the vicious circle*, Conference Proceedings, Halle: IAMO 2003, 107–123.
- Ramírez A., de Kaizer C., Van der Sluijs J.P., Olivier J., Brandes L. (2008) Monte Carlo analysis of uncertainties in the Netherlands greenhouse gas emission inventory for 1990–2004. *Atmospheric Environment* 42(35), 8263–8272.
- Romano D., Bernetti A., De Laurentis R. (2004) Different methodologies to quantify uncertainties of air emissions *Environment International* 30(8), 1099–1107.
- Rozbicki, J., Ceglinska, A., Gozdowski, D., Jakubczak, M., Cacak-Pietrzak, G., Madry W., Golba J., Piechocinski M., Sobczynski G., Studnicki M., Drzazga T. (2015) Influence of the cultivar, environment and management on the grain yield and bread-making quality in winter wheat. *Journal of Cereal Science* 61, 126–132.

- Rypdal K. (2002) Uncertainties in the Norwegian emission inventories of acidifying pollutants and volatile organic compounds. *Environmental Science & Policy* 5(3), 233–246.
- Slafer G.A., Savin R., Sadras V.O. (2014) Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research* 157, 71–83.
- Smil V. (1999) Nitrogen in crop production: An account of global flows. *Global Biogeochemical Cycles* 13(2), 647–662.
- Snyder C.S., Bruulsema T.W., Jensen T.L., Fixen P.E. (2009) Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133, 247–266.
- Tapley M., Ortiz B.V., van Santen E., Balkcom K.S., Mask P., Weaver D.B. (2013) Location, seeding date, and variety interactions on winter wheat yield in South-eastern United States. *Agronomy Journal* 105, 509–518.
- Tonitto C., David M.B., Drinkwater L.E. (2006) Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: a meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112, 58–72.
- Wang, W., Dalal R.C. (2015) Nitrogen management is the key for low-emission wheat production in Australia: A life cycle perspective. *European Journal of Agronomy* 66, 78–82.
- Winiwarter W., Muik B. (2010) Statistical dependence in input data of national greenhouse gas inventories: effects on the overall inventory uncertainty. *Climatic Change* 103(1-2), 19–36.
- Winiwarter W., Rypdal K. (2001) Assessing the uncertainty associated with national greenhouse gas emission inventories: a case study for Austria. *Atmospheric Environment* 35(32), 5425–5440.
- Yan M., Cheng K., Luo T., Yan Y., Pan G., Rees R.M. (2015) Carbon footprint of grain crop production in China – based on farm survey data. *Journal of Cleaner Production* 104, 130–138.

Zampieri M., Ceglar A., Dentener F., Toreti A. (2017) Wheat yield loss attributable to heat waves, drought and water excess at the global, national and subnational scales. *Environmental Research Letters* 12:064008.

Zhou M., Butterbach-Bahl K. (2014) Assessment of nitrate leaching loss on a yield-scaled basis from maize and wheat cropping systems. *Plant and Soil* 374, 977.

5 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Poza omówionym powyżej osiągnięciem naukowym moje dotychczasowe zainteresowania naukowo-badawcze odejmowały również poniższe tematy:

- a) Ocena i opracowanie liniowych modeli mieszanych do oceny adaptacji odmian roślin uprawnych

Genotypy roślin rolniczych są selekcionowane i rekomendowane na podstawie badania reakcji plonu tych roślin na różne warunki środowiskowe. Badania, na których opiera się tę rekomendację polegają na ocenie interakcji genotypowo-środowiskowej, czyli reakcji plonu badanych odmian na różne warunki glebowe i klimatyczne. Hodowca ma wtedy możliwość wybrania odmiany, która wykazuje się wysokim plonem w możliwie największej liczbie środowisk. Do tych badań wykorzystuje się wielośrodowiskowe serie doświadczeń, które polegają na przeprowadzeniu doświadczeń z wybranymi odmianami w różnych lokalizacjach w ciągu wielu lat. Z powodu dużej liczby odmian i lokalizacji, niejednokrotnie serie te charakteryzują się niekompletnością zbioru danych. Wtedy stosowanie klasycznych metod analizy danych jest niemożliwe. Zamiast redukować zbiór w celu stworzenia układu kompletnego, można posłużyć się liniowymi modelami mieszanymi. Modele te umożliwiają analizę niekompletnego zbioru danych bez ograniczania wiarygodności wnioskowania. Prace dotyczą porównania różnych liniowych modeli mieszanych i opracowania modelu do oceny adaptacji odmian.

Załącznik nr 4 prace II.A.1, II.A.2, II.A.4, II.A.5.

- b) Badanie wpływu czynników genetycznych na plon oraz wielkość owoców malino-jeżyny, truskawki i jeżyny.

Celem projektu było przetestowanie 23 odmian truskawek w klimacie Polski i ocena ich ekonomicznej wartości. 13 badanych odmian było świeżo wyhodowanych w Polsce, a 10 pochodziło z zagranicy, w tym odmiany, które nigdy nie były testowane w Europie Środkowo-Wschodniej. Wszystkie te odmiany oceniano w porównaniu do 4 standardowych odmian używanych w Polsce. Eksperyment przeprowadzono w latach 2004-2011 w centralnej Polsce w Instytucie Ogrodnictwa w Skierniewicach. Dane analizowano za pomocą liniowego modelu mieszanego. Wyniki pokazują, że odmiana "Paladyn" jest wyjątkowo dobrze dostosowana do warunków Polski pod względem plonu i wielkości owoców. Jest to więc jedna z najlepszych odmian do uprawy nie tylko w Polsce. W kolejnej pracy testowano 13 odmian jeżyn, które nie były wcześniej sprawdzone w Polsce: Black Butte, Boysenberry, Chester Thornless, Helen, Karaka Black, Kotata, Loch Ness, Loch Tay, Loganberry i Oregon Thornless. Eksperyment przeprowadzono w latach 2005-2010 w centralnej Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem odporności odmian na niekorzystne lokalne warunki środowiskowe, a także oceny plonów i jakości owoców. Analiza danych dotyczących plonu owoców i masy owoców wskazała na znaczne różnice między odmianami i latami, czyli znaczny wpływ polskich warunków pogodowych. Badania zostały przeprowadzone we współpracy z Instytutem Ogrodnictwa w Skierniewicach.

Załącznik nr 4 prace II.A.3, II.A.6, II.D.2.

- c) Wpływ kompleksowej termomodernizacji budynków na rynek pracy w Polsce

Badanie dotyczyło oceny gospodarczych i środowiskowych skutków realizacji programu termomodernizacji budynków w Polsce. Sektor budownictwa odpowiada za prawie 40% energii zużywanej w Polsce. Mimo poprawy efektywności energetycznej budynki w Polsce zużywają prawie dwukrotnie więcej energii niż budynki w niektórych krajach Unii Europejskiej o podobnym klimacie. Badanie pokazało, że sektor budownictwa posiada wysoki potencjał do oszczędności energii.

Termomodernizacja wszystkich budynków w Polsce może prowadzić do zmniejszenia zużycia energii w budynkach o 80%. Wiąże się to z ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych o 77%. Przy okazji termomodernizacji może powstać nawet 350 tysięcy nowych miejsc pracy. Badania zostały przeprowadzone we współpracy z Central European University na Węgrzech oraz Fundacją na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii (FEWE).

Załącznik nr 4 prace II.D.3.

d) Badanie zmieszania izospinowego w jądrach gorących poprzez wzbudzenie Gigantycznego Rezonansu Dipolowego

Jądra atomowe składają się z nukleonów. Nukleony mogą być wzbudzone pojedynczo lub grupowo. Jednym z przykładów wzbudzeń grupowych jest Gigantyczny Rezonans Dipolowy (GDR). Polega on na drganiach wszystkich nukleotydów obecnych w jądrze, od jednej do drugiej krawędzi jądra, względem środka jego masy. Drgania te charakteryzują się małą amplitudą i dużą częstością i są wzbudzone w jądrze powstającym na skutek zderzenia się jonów. Podczas rozpadu takiego jądra emitowane jest między innymi promieniowanie gamma o energii kilkunastu MeV. Do pomiaru wysokoenergetycznego promieniowania gamma wykorzystywane są układy spektrometryczne takie jak JANOSIK zbudowany przy cyklotronie w Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego. Wzbudzenie GDR może być również użyte do badania symetrii izospinowej we wzbudzonych jądrach. Izospin jest liczbą kwantową. W jądrach wzbudzonych może dochodzić do zmieszania izospinowego. Badanie rozpadu GDR w jądrach o liczbie protonów równej liczbie neutronów może posłużyć do wyznaczenia prawdopodobieństwa zmieszania izospinowego.

Załącznik nr 4 prace II.A.7, II.A.8, II.A.9, II.A.10, II.A.11, II.A.12.

e) Podsumowanie dotychczasowego dorobku naukowego

Jestem współautorem 20 publikacji w czasopiśmie recenzowanych, z czego 16 prac zostało opublikowanych w czasopiśmie posiadających współczynnik Impact Factor. Jestem także współautorem jednej monografii w języku angielskim. Zestawienie ilościowe prac w poszczególnych kategoriach przedstawiono w Tabeli 1. Suma punktów dla wszystkich prac zgodnie z listą Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego zgodnej z rokiem wydania pracy wynosi 454 pkt, łączna wartość współczynnika Impact Factor zgodnego z rokiem wydania pracy wynosi 16,590. Liczba cytowań prac, których jestem współautorem według bazy Web of Science Core Collection wynosi 46 natomiast wartość współczynnika Indeks Hirscha wynosi 4. Liczba cytowań według bazy Google Scholar wynosi 72 a wartość współczynnika Indeks Hirscha wynosi 5.

Tabela 1. Zestawienie liczbowe dotychczas opublikowanych prac.

	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora
Publikacje recenzowane w czasopiśmie posiadających współczynnik Impact Factor w języku angielskim	6	10
Publikacje recenzowane w czasopiśmie nie posiadających współczynnika Impact Factor w języku angielskim	2	3
Monografie w języku angielskim		1

Elżbieta Wójcik-Gront