

Załącznik nr 1

do wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Autoreferat

wersja polskojęzyczna

1. Imię i nazwisko

Marcin Mateusz Sajdak

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

2013 – 2014 – Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Kierunek studiów: Inżynieria Środowiska

Dziedzina naukowa: Nauki techniczne

Dyscyplina naukowa: Inżynieria środowiska

Specjalność naukowa: Chemometria

Uzyskany tytuł zawodowy: doktor nauk technicznych (praca doktorska obroniona z wyróżnieniem)

Tytuł: *Zastosowanie analizy chemometrycznej w ocenie pochodzenia materiałów poddanych termicznej konwersji*

Promotor pracy doktorskiej: dr hab. inż. Krzysztof Pikoń

Recenzenci pracy doktorskiej: (1) prof. dr hab. inż. Jan Nadziakiewicz (Politechnika Śląska),
(2) prof. dr hab. inż. Jerzy Zwoździak (Politechnika Wrocławska)

2011 – 2012 – Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Chemiczny

Kierunek studiów: Technologia chemiczna

Specjalność: Technologia polimerów i tworzyw sztucznych

Uzyskany tytuł zawodowy: magister

Tytuł: *Dobór optymalnych warunków krystalizacji wysokoenergetycznych związków koordynacyjnych metali przejściowych*

Promotor: dr hab. inż. Andrzej Wojewódka, prof. Pol. Śl.

2010 – 2011 – Politechnika Radomska w Radomiu

Kierunek studiów: Walidacja–Systemy i laboratoria pomiarowe

Tytuł: *Planowanie doświadczenia w optymalizacji i walidacji metod pomiarowych opartych na ICP - OES*

Promotor: dr inż. Andrzej Rogowski

2005 – 2010 – Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Chemiczny

Kierunek studiów: Technologia chemiczna

Specjalność: Analityka w kontroli jakości i ochronie środowiska

Uzyskany tytuł zawodowy: magister inżynier

Tytuł: *Analiza statystyczna wpływów antropogenicznych na zawartość metali ciężkich w powiatach województwa śląskiego*

Promotor: dr inż. Celina Pieszko

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

Od 2011 do chwili obecnej - Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Stanowisko: starszy specjalista inżynierijno – techniczny (2011 – 2013), asystent (2013 – 2014), adiunkt (obecnie)

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.)

I. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 16 ust. 2 Ustawy

A) Tytuł osiągnięcia naukowego

Metody chemometryczne dla potrzeb monitorowania alternatywnych biopaliw stałych, procesów ich wytwarzania oraz w poszukiwaniu potencjalnych markerów.

(Osiągnięcie stanowi jednotematyczny cykl publikacji od H1 do H11, których kopie znajdują się w Załączniku 4)

B) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

- H 1. **Marcin Sajdak**, Sławomir Stelmach, **Using chemometric analysis to classify and confirm the origin of bio-char**, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volume 113, **2015**, Pages 116-122. IF₂₀₁₅ = **3,652**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń pirolizy różnych rodzajów biomasy w złożu stacjonarnym w skali technicznej, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych widm FT-IR wraz z ich interpretacją, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.
Mój udział procentowy szacuję na 60%

- H 2. **Marcin Sajdak**, Roksana Muzyka, Joanna Hrabak, Krzysztof Słowik, **Use of plastic waste as a fuel in the co-pyrolysis of biomass. Part III: Optimisation of the co-pyrolysis process**, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volume 112, **2015**, Pages 298-305. IF₂₀₁₅ = **3,652**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń ko-pirolizy w złożu stacjonarnym w skali technicznej (opracowanie planu eksperymentu zgodną z metodą DOE), opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych,

numerycznych i statystycznych, określeniu optymalnych warunków prowadzenia procesu termicznej konwersji w zależności od oczekiwanych produktów, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 65%

- H 3. **Marcin Sajdak**, Sławomir Stelmach, Michalina Kotyczka-Morańska, Agnieszka Plis, **Application of chemometric methods to evaluate the origin of solid fuels subjected to thermal conversion**, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volume 113, 2015, Pages 65-72. IF₂₀₁₅ = 3,652

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń pirolizy różnych rodzajów biomasy w złożu stacjonarnym w skali technicznej, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych widm FT-IR wraz z ich interpretacją, wskazaniu zmiennych umożliwiających określenie temperatury pirolizy badanych karbonizatów, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 55%

- H 4. **Marcin Sajdak**, **Impact of plastic blends on the product yield from co-pyrolysis of lignin-rich materials**, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volume 124, 2017, Pages 415-425. IF₂₀₁₇ = 3,471

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń ko-pirolizy kilku typów polimerów odpadowych z trzema różnymi rodzajami biomasy w różnych wzajemnych stosunkach masowych w złożu stacjonarnym w skali technicznej, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, wskazaniu wpływu dodatków polimerów na wydajność procesu, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 100%

- H 5. Roksana Muzyka, Maciej Chrubasik, Sławomir Stelmach, **Marcin Sajdak**, **Preliminary studies on the treatment of wastewater from biomass gasification**, Waste Management, Volume 44, **2015**, Pages 135-146. IF₂₀₁₇ = **3,22**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń w bioreaktorze, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych i statystycznych, wskazaniu wpływu zmiennych na proces rozkładu wód po zgazowaniu biomasy, określeniu optymalnych warunków prowadzenia procesu utleniania metodą Fentona, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 55%

- H 6. **Marcin Sajdak**, Maciej Chrubasik, Roksana Muzyka, **Chemical characterisation of tars from the thermal conversion of biomass by 1D and 2D gas chromatography combined with silylation**, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volume 124, **2017**, Pages 426-438. IF₂₀₁₇ = **3,471**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu badań procesu siłowania ciekłych produktów procesu toryfikacji biomasy, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 55%

- H 7. **Marcin Sajdak**, **Verification of origin of the material obtained from thermal biomass conversion - new methods**, Pages 1483 – 1487, Papers of the 23rd European Biomass Conference and Exhibition (materiał recenzowany), At Vienna, DOI: 10.5071/23rdEUBCE2015-4AV.1.21.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń ko-pirolizy kilku typów polimerów odpadowych z trzema różnymi rodzajami biomasy w różnych wzajemnych stosunkach masowych w złożu stacjonarnym w skali technicznej, opracowaniu danych ilościowych

i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, opracowaniu modelu umożliwiającemu określenie pochodzenia oraz czystości badanych karbonizatów, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 100%

- H 8. **Marcin Sajdak**, Beata Micek, Joanna Hrabak, **Quantitative and qualitative analyses of alternative and renewable second generation solid biofuels – development and validation**, 2030 – 2033, Papers of the 25rd European Biomass Conference and Exhibition (materiał recenzowany), At Sztokholm, DOI: 10.5071/23rdEUBCE2015-4AV.1.21

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń ko-pirolizy w złożu stacjonarnym w skali technicznej (opracowanie planu eksperymentu zgodną z metodą DOE), opracowaniu danych ilościowych i jakościowych pochodzących z analizy spektroskopowej XRF oraz ich interpretacja, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, określeniu optymalnych warunków prowadzenia procesu termicznej konwersji w zależności od oczekiwanych produktów, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 70%

- H 9. **Marcin Sajdak**, **Development and validation new methods for identification of bio-char as an alternative solid bio-fuel for power generation**, Fuel Processing Technology, Volume 167, **2017**, Pages 229-240. IF₂₀₁₇ = **3,752**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń ko-pirolizy kilku typów polimerów odpadowych z różnymi rodzajami biomasy w różnych wzajemnych stosunkach masowych w złożu stacjonarnym w skali technicznej w różnych warunkach procesowych, zgromadzeniu bazy danych wystarczającej do budowy klasyfikatora, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, opracowaniu modelu

umożliwiającemu określenie pochodzenia oraz czystości badanych karbonizatów, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 100%

- H 10. Michał Adamczyk, **Marcin Sajdak**, **Pyrolysis behaviours of microalgae *Nannochloropsis gaditana***, Waste and Biomass Valorization (DOI: 10.1007/s12649-017-9996-8) IF₂₀₁₇ = **1,337**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu doświadczeń pirolizy mikro-alg, w 40% opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych danych pochodzących z analizy chromatograficznej i elementarnej, określeniu stopnia samowystarczalności energetycznej procesu i jego warunków procesowych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 60%

- H 11. **Marcin Sajdak**, Michalina Kotyczka-Morańska, **Development and validation of a fast method based on infrared spectroscopy for biochar quality assessment**, Biomass and Bioenergy, Volume 112, **2018**, Pages 99-109 IF₂₀₁₆ = **3,219**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu doświadczeń pirolizy i ko-pirolizy biomasy oraz odpadowych tworzyw sztucznych, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych danych pochodzących z analizy FT-IR, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 80%

 – autor korespondencyjny.

Kopie oświadczeń współautorów dotyczących ich wkładu w powstaniu wspólnych publikacji zostały zamieszczone w załączniku numer 5.

**Sumaryczny Impact Factor wyżej wymienionych prac zgodnie z rokiem opublikowania:
IF 29,427**

C) Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Wprowadzenie

Przedmiotem osiągnięcia zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) jest monotematyczny cykl publikacji wymieniony w punkcie I.B autoreferatu i w Załączniku 4. W cyklu tym przedstawiono wyniki badań nad wykorzystaniem metod chemometrycznych dla potrzeb monitorowania alternatywnych biopaliw stałych, procesów ich wytwarzania oraz w poszukiwaniu potencjalnych markerów. Badania te zostały przeprowadzone po uzyskaniu stopnia doktora, w latach 2014-2017.

Wyczerpywanie złóż paliw kopalnych (ropy naftowej, gazu ziemnego i węgla), wzrost emisji ditlenku węgla oraz wyzwania związane z pozyskiwaniem energii przyczyniły się do wzrostu światowego zainteresowania rozwojem alternatywnych, odnawialnych i zrównoważonych metod wytwarzania energii. Wyzwania te kładą nacisk na opracowywanie wydajniejszych metod wytwarzania energii z wykorzystaniem takich odnawialnych źródeł jak: biomasa, wiatr, pływy wodne, geotermia i źródła solarne. Biomasa jest jedynym z odnawialnych źródeł energii, który w radykalnie prosty sposób może być przetworzony w kilka form paliw (lub ich substytutów): płynnych (bio-olej), paliw stałych (toryfikaty i karbonizaty z biomasy) oraz gazowych¹. Przewiduje się, że do 2050 roku biomasa będzie pokrywać 15 – 50% światowego zapotrzebowania na energię pierwotną². Ponadto biomasa, jako jedno z największych na świecie

¹ Z. Y. Zhao, H. Yan, Assessment of the biomass power generation industry in China. *Renew. Energy*. 2012; 37: 53-60

² A. Kumar, K. Kumar, N. Kaushik, S. Sharma, S. Mishra, Renewable energy in India: current status and future potentials. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2010; 14: 2434–2442

odnawialnych źródeł energii³, może być pozyskiwana z wielu źródeł i może być wykorzystywana do zastąpienia konwencjonalnych paliw kopalnych ze względu na jej dostępność, korzyści gospodarcze i środowiskowe, głównie ze względu na tzw. „zerowy” bilans ditlenku węgla^{4,5}. Obecnie biomasę uważa się za czwarte co do wielkości po węglu, ropie naftowej i gazie ziemnym źródło energii, które pokrywa około 14% światowego zapotrzebowania energetycznego^{6,7}.

Jak dotąd biomasa w warunkach krajowych była wykorzystywana głównie do procesu spalania i współspalania z konwencjonalnymi paliwami stałymi. Energetyczne wykorzystanie surowej biomasy nie ma obojętnego wpływu na układy spalania powodując np. korozję chlorkową kotła oraz problemy z szlakowaniem żużla/popiołów. Aby uniknąć tych problemów, wykorzystując metody termicznej konwersji takie jak: toryfikacja i piroliza możliwa jest produkcja alternatywnych biopaliw stałych drugiej generacji (BF2G). Procesy termicznej konwersji są dość dobrze poznane i coraz szerzej i chętniej wykorzystywane. Pozwalają na zwiększenie gęstości energii, jaka jest skumulowana w produkcie takiego procesu tj. toryfikacie lub karbonizacie z biomasy. Paliwo otrzymane podczas tego procesu (często określane mianem biopaliwem II generacji⁸) charakteryzuje się większą stabilnością biologiczną aniżeli surowa biomasa, jest materiałem bardziej homogenicznym pod względem składu chemicznego (odznacza się niższą zawartością wilgoci i tlenu w stosunku do biomasy) Dodatkowo BF2G charakteryzuje się pożądanymi właściwościami mechanicznymi (kruchłość) zmniejszającymi problemy związane z rozdrobnieniem materiału i jego podawaniem do komory spalania. Niestety przed szerszym wykorzystaniem BF2G w energetyce zawodowej i ciepłownictwie jako źródło energii odnawialnej stoi definicja biomasy, którą zgodnie z obowiązującymi przepisami można wykorzystywać do produkcji energii odnawialnej. Zgodnie z informacją (nr 30/2011) w sprawie kwalifikacji biomasy na cele energetyczne^{9,10,11,12}, aby deklarowana przez wytwórcę energii

³ J. X. C. Moreira, Global biomass energy potential. Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change. 2006; 11: 313–333.

⁴ F. Abnisa, W. M. A. Daud, A review on co-pyrolysis of biomass: an optional technique to obtain a high-grade pyrolysis oil. Energy Convers. Manage. 2014 87: 71-85

⁵ A. Ahtikoski, J. Heikkilä, V. Alenius, M. Siren, Economic viability of utilizing biomass energy from young stands – the case of Finland. Biomass Bioenergy. 2008; 32: 988–996

⁶ C. Yin, Microwave-assisted pyrolysis of biomass for liquid biofuels production. Bioresour. Technol. 2012; 120: 273-284

⁷ D. K. Shen, S. Gu, K. H. Luo, A.V. Bridgwater, M.X. Fang, Kinetic study on thermal decomposition of woods in oxidative environment. Fuel. 2009; 88(6): 1024-1030

⁸ S.N. Naik, Vaibhav V. Goud, Prasant K. Rout, Ajay K. Dalai, Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review, In Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010; 14(2): 578-597

⁹ Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki (nr 30/2011) w sprawie kwalifikacji biomasy na cele energetyczne z dnia 4 października 2011 r.

¹⁰ 4.10.2011 r. – Załącznik nr 1 do Informacji nr 30/2011 Prezesa URE w sprawie kwalifikacji biomasy na cele energetyczne – pozostałości z procesu uzyskiwania oleju palmowego z palmy olejowca gwinejskiego (niezależnie od postaci handlowej – łupina i makuch z palmy olejowca gwinejskiego)

elektrycznej biomasa (paliwo/odpad) mogła zostać zakwalifikowana na cele energetyczne i podlegała systemowi wsparcia powinna spełniać wymagania określone w definicji biomasy zawartej w § 2 pkt 1 rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. W myśl tej definicji „*biomasa to stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, (...)*”. W związku z powyższym paliwo/odpad może zostać uznane za biomasę na cele energetyczne tylko w przypadku, gdy spełnia łącznie poniższe kryteria:

- stanowi stałą lub ciekłą substancję pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego;
- ulega biodegradacji w tym znaczeniu, że nie zawiera w sobie substancji niebiodegradowalnych w stopniu odbiegającym od znanych naturalnych właściwości biomasy danego rodzaju, tj. nie zawiera w sobie „dodatków” niebiodegradowalnych nie występujących naturalnie (np. farby, lakiery, impregnaty) lub w stopniu przekraczającym znane naturalne wielkości tych zanieczyszczeń, np. metali ciężkich albo innych niebiodegradowalnych zanieczyszczeń, które wpływają na procesy spalania, a zatem wpływałyby na ilość pozyskiwanych świadectw pochodzenia (czyli sui generis pomocy publicznej);
- nie jest biopaliwem w rozumieniu ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz. U. Nr 169, poz. 1199, z późn. zm.)

Opierając się na niniejszej definicji można stwierdzić, że BG2G taki jak toryfikat lub karbonizat, uzyskane w procesie termicznej konwersji biomasy spełnia dwa z trzech kryteriów definicji. Paliwo takie stanowi stałą substancję pochodzenia roślinnego i nie jest biopaliwem w rozumieniu ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. (ustawa dotyczy wyłącznie substancji ciekłych takich jak biopaliwa i biokomponenty). Biopaliwo stałe II generacji niestety nie spełnia kryterium dotyczące biodegradacji. Co prawda można przeprowadzić analizę stopnia biodegradacji takiego paliwa, ale niestety na jej podstawie nie można odpowiedzieć na pytanie czy badane paliwo „...nie zawiera w sobie „dodatków” niebiodegradowalnych nie występujących naturalnie (np. farby, lakiery, impregnaty) lub w stopniu przekraczającym znane naturalne wielkości tych zanieczyszczeń...”.

¹¹ Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii – Dz. U. Nr 156/2008 r., poz. 969, ze zm.

¹² Prawo energetyczne – Dz. U. Nr 89/2006, poz. 625, ze m. – art. 9a

Obecnie badania stopnia biodegradacji paliw i odpadów pochodzenia biomasowego tj. określenie zawartości biomasy możliwe są do wykonania wykorzystując znormalizowane metody opisane w normie PN – EN 15440: 2011¹³ „Stałe paliwa wtórne – Metody oznaczania zawartości biomasy”. Norma ta podaje trzy metody: ręcznego sortowania, selektywnego rozpuszczania oraz izotopu węgla ^{14}C . Pierwsza z nich polega na ręcznym wydzieleniu frakcji o cechach biomasy, frakcji niemającej cech biomasy oraz substancji inertej (mineralnej) z nieformowanego stałego paliwa wtórnego oraz na określeniu ich masowego udziału w odniesieniu do całej próbki. Działanie to prowadzone jest podczas ręcznego sortowania. Druga metoda – metoda selektywnego rozpuszczania – polega na przeprowadzeniu reakcji rozkładu biomasy pod wpływem stężonego kwasu siarkowego (VI). Proces ten zachodzi stopniowo, dając coraz prostsze substancje, a produktem końcowym rozkładu jest D-glukoza. Reakcja jest silnie zależna od pH środowiska reakcji i zachodzi z najwyższą szybkością przy niskim pH i przy podwyższonej temperaturze do 100°C ¹⁴. Pozostała frakcja biomasowa podlega utlenieniu nadtlakiem diwodoru do dwutlenku węgla i wody. Podczas wszystkich kolejnych etapów wykonywania badania rejestruje się zmiany masy badanej próbki i na ich podstawie obliczany jest rezultat końcowy. Zastosowanie w niniejszej metodzie kwasu siarkowego (VI) oraz nadtlaku diwodoru pozwala na zasymulowanie warunków, jakie mają miejsce w procesie naturalnej biodegradacji przy udziale mikroorganizmów. Ostatnią proponowaną przez normę metodą jest metoda izotopu węgla ^{14}C , która jest również wykorzystywana do określania wieku obiektów zawierających węgiel organiczny. Wykorzystuje się w niej techniki radiometryczne – liczniki proporcjonalne scyntylacyjne (PSM), liczniki promieniowania beta (BI) oraz akceleratorowa spektrometria mas (AMS). Izotop ten powstaje w wyniku pochłonięcia przez jądro atomu azotu ^{14}N neutronu, który jest emitowany w wyniku oddziaływania promieniowania kosmicznego z jądrami atomów pierwiastków obecnych w atmosferze. Radioaktywny izotop ^{14}C jest utleniany do ditlenku węgla i wchłaniany przez organizmy roślinne, tym samym wprowadzany jest do łańcucha pokarmowego. Stosunek $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ w organizmach żywych jest zasadniczo równy stosunkowi izotopów w atmosferze. Po zakończeniu okresu życia organizmu ilość izotopu ^{14}C zmniejsza się z upływem czasu, podlega on rozkładowi z emisją promieniowania β radioaktywnemu, zgodnie z okresem półtrwania wynoszącym 5730 lat. W konsekwencji stosunek $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ zmniejsza się, ponieważ ilość ^{12}C (która jest stabilna) pozostaje stała¹⁵. Związek między zawartością frakcji

¹³ Polski Komitet Normalizacyjny: PN-EN 15440:2011, Stałe paliwa wtórne -- Metody oznaczania zawartości biomasy, Data publikacji: 21-07-2011

¹⁴ W. Gerhartz, Y. S. Yamamoto, F. T. Campbell, R. Pfefferkorn, J. F. Rounsaville, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Volume A 5, 5th ed. New York: VCH; 1986.

¹⁵ G. A. Norton, S. L. Devlin, Determining the modern carbon content of biobased products using radiocarbon analysis. Bioresource Technology 2006; 97:2084–90.

biomasy, a zawartością izotopu ^{14}C uważa się za liniowy¹⁶. Jednak ze względu na testy broni jądrowej zawartość izotopu w atmosferze nie była stała, co doprowadziło do zmiennej zawartości ^{14}C w materiale biologicznym, w zależności od okresu wzrostu^{17,18,19}. Wynikiem analizy jest zawartość frakcji biodegradowalnej w badanym materiale, wyrażona jako udział węgla ^{14}C w badanym materiale.

W biomasie wykorzystywanej na cele energetyczne zawartość frakcji biodegradowalnej w próbkach, w stanie suchym bezpopiołowym, badanych metodą selektywnego rozpuszczania, wg normy PN – EN 15440: 2011 wynosi średnio 97%^{20,21}. Wartość ta jest niemal nieosiągalna (wykorzystując metodę selektywnego rozpuszczania) dla biopaliw stałych II generacji takich jak toryfikaty czy karbionizaty z biomasy. W wyniku działania podwyższonej temperatury wymaganej prowadzeniem procesów termicznej konwersji struktura biomasy ulega częściowej degradacji, homogenizacji pod względem składu elementarnego oraz uporządkowaniu swojej struktury. Wzrost uporządkowania strukturalnego powoduje wzrost wytrzymałość chemicznej takiego materiału, co sprawia, że aby przeprowadzić jego rozkład na drodze chemicznej z podobnym rezultatem jak w przypadku biomasy należałoby zmienić warunki procesu roztwarzania (temperatura i czas) lub wykorzystać silniejszych utleniaczy.

BF2G zgodnie z badaniami²² odznaczają się zawartością biomasy (określaną metodą selektywnego rozpuszczania) rzędu 70 – 80%. W cytowanej normie prócz metody selektywnego rozpuszczania dopuszczalne jest wykorzystanie metody opartej na analizie zawartości izotopu węgla ^{14}C . W przypadku analizy odpadów pochodzenia biomasowego ulegających biodegradacji takich jak np. komunalne osady ściekowe, odpadowa makulatura, tekstylia naturalne (bawełna), paliwa alternatywne (z j. ang. solid recovered fuels – SRF) obie metody charakteryzują się wysoką powtarzalnością i zgodnością²³ rzędu 95%. Prowadzone dotąd badania²² wskazały

¹⁶ Palstra SWL, Meijer HAJ. Carbon-14 based determination of the biogenic fraction of industrial CO₂ emissions – Application and validation. *Bioresource Technology* 2010;101:3702–10.

¹⁷ J. Mohn, S. Szidat, K. Zeyer, L. Emmenegger, Fossil and biogenic CO₂ from waste incineration based on a yearlong radiocarbon study. *Waste Management* 2012; 32:1516–20.

¹⁸ J. Fellner, H. Rechberger, Abundance of ^{14}C in biomass fractions of wastes and solid recovered fuels. *Waste Management* 2009; 29:1495–503.

¹⁹ W. Staber, S. Flamme, J. Fellner, Methods for determining the biomass content of waste. *Waste Management & Research* 2008; 26:78-87.

²⁰ M. Walkowiak, M. Witczak, W. Cichy, Problems with the biodegradability assessment of biomass materials for combustion, *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology*, 2013; 84:275-279

²¹ M. Kopczyński, J. Zuwała, Torrefacted biomass – a new fuel for the power industry, *Chemik*, 2013; 67(6): 540-551

²² M. Sajdak, Development and validation of new methods for identification of bio-char as an alternative solid bio-fuel for power generation, *Fuel Processing Technology*, 2017; 167:229-240

²³ B. Jagustyn, R. Wasielewski, A. Skawińska, Podstawy klasyfikacji odpadów biodegradowalnych jako biomasy, *Ochrona Środowiska*, 2014; 4: 45 – 50

znaczne rozbieżności pomiędzy zawartością biomasy w stanie suchym bezpopiołowym w próbkach badanych metodą selektywnego rozpuszczania oraz zawartości izotopu ^{14}C .

Wobec powyższego, opracowanie wydajnych i niezawodnych rozwiązań, których zadaniem będzie potwierdzenie biomasowego pochodzenia biopaliw stałych II generacji oraz określanie ich czystości stanowić będzie odpowiedź na szereg wyzwań ograniczających szerokie energetyczne wykorzystanie biopaliw stałych II generacji w energetyce.

Wyniki badań stanowiących osiągnięcie naukowe

Celem prac badawczych, których wyniki przedstawiono w cyklu publikacji powiązanych tematycznie, prezentujących osiągnięcie naukowe będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, było: opracowanie dedykowanych metod analitycznych, umożliwiających potwierdzenie biomasowego pochodzenia biopaliw stałych II generacji, określenie ich czystości oraz wskazanie źródeł ewentualnych zanieczyszczeń, a w szczególności:

- a. określenie wpływu dodatku odpadowych tworzyw i materiałów sztucznych i ich mieszanin oraz warunków prowadzenia procesu termicznej konwersji biomasy (TK) na właściwości fizykochemiczne produktów, ze szczególnym uwzględnieniem produktów stałych (BF2G), [H2, H4]
- b. określenie wpływu dodatku odpadowych tworzyw i materiałów sztucznych na zmianę grup chemicznych obecnych na powierzchni BF2G [H1, H3] celem:
 - zbudowania narzędzi analitycznych umożliwiających wykrycie zanieczyszczenia, wskazanie jego pochodzenia oraz ilości w jakiej został dodany podczas procesu TK, [H 7-9, H11]
 - zbudowanie narzędzi umożliwiających określenie pochodzenia biomasy, z której biopaliwo stałe II generacji zostało wyprodukowane oraz w jakich warunkach, [H1, H3]
- c. określenie optymalnych warunków prowadzenia procesów TK biomasy celem podniesienia wydajności procesu, analizę chemiczną produktów oraz możliwościami oczyszczania strumieni produktów odpadowych. [H2, H4, H5, H6]

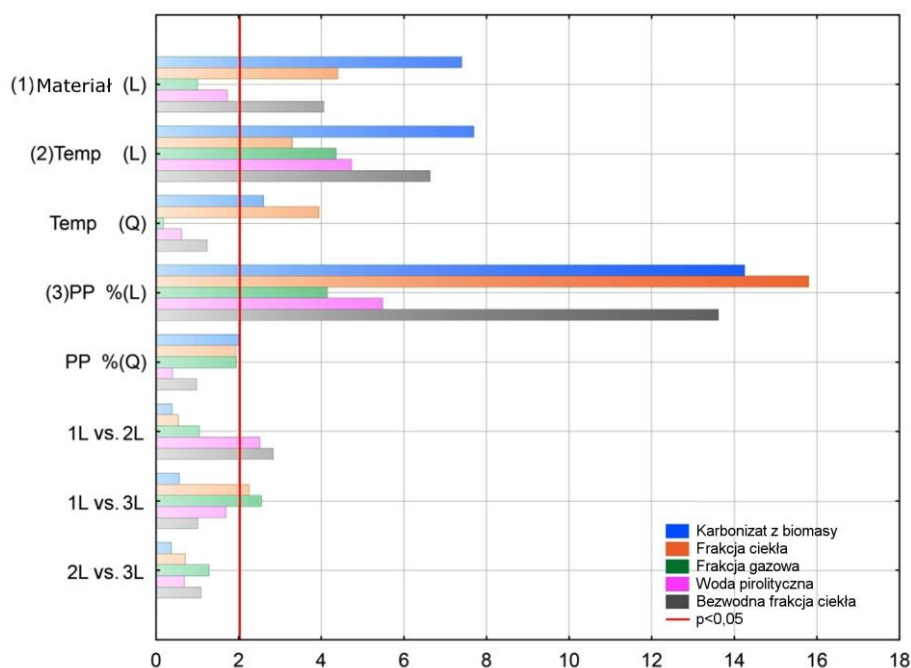
A. Określenie wpływu dodatku odpadowych tworzyw i materiałów sztucznych i ich mieszanin oraz warunków prowadzenia procesu termicznej konwersji biomasy na właściwości fizykochemiczne produktów

W prowadzonych przeze mnie pracach badawczych w zakresie TK biomasy i ich energetycznego wykorzystania jako BF2G określiłem wpływ dodatku odpadowych tworzyw sztucznych i ich mieszanin na właściwości fizykochemiczne i chemiczne produktów, otrzymywanych w różnych warunkach temperaturowych. W szczególności określiłem charakter wpływu dodatku tworzyw sztucznych w procesie ko-pirolizy odpadowych tworzyw sztucznych z biomasą [H2, H4]. Istotnym jest, iż wyznaczone przeze mnie wartości są wielkościami uwzględniającymi parametry stechiometryczne wykorzystanych do procesu materiałów.

Wiele badań prowadzonych w tematyce TK biomasy oraz odpadowych tworzyw sztucznych^{24, 25} skupia się wyłącznie na wpływie dodatku polimeru jako czynnika zmieniającego środowisko reakcji chemicznych. W prowadzonych w ramach Programu Strategicznego NCBR zadanie badawcze nr 4 „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych” w badaniach skupiłem się na ilościowym wyznaczeniu wpływu poszczególnych badanych zmiennych oraz ich interakcji zarówno na wydajność jak i na parametry jakościowe otrzymywanych stałych, ciekłych i gazowych produktów TK biomasy. Wykazałem, że oprócz bardzo silnego statystycznie istotnego wpływu głównych zmiennych (rodzaju materiału (Zm.1), temperatury (Zm.2) oraz dodatku tworzywa sztucznego (Zm.3)) istnieje statystycznie istotny, dodatni wpływ interakcji zachodzących pomiędzy badanymi zmiennymi (1 i 2) na wydajność otrzymywania ciekłych produktów TK (Rys. 1).

²⁴ A. Aboulkas, K. Ek Harfi, A. El Bouadili, Pyrolysis of olive residue/low density polyethylene mixture: part 1. Thermogravimetric kinetics, J. Fuel Chem. Technol., 36 (6) (2008), pp. 672-678

²⁵ L. Zhou, Y. Wang, Q. Huang, J. Cai, Thermogravimetric characteristics and kinetic of plastic and biomass blends co-pyrolysis, Fuel Process. Technol., 87 (2006), pp. 963-969



Rysunek 1. Wpływ badanych zmiennych na wydajność produktów termicznej konwersji biomasy z odpadowymi tworzywami sztucznymi (L – wpływ liniowy, Q – wpływ kwadratowy badanych zmiennych) [²⁶]

Interakcje te wynikają z zachodzących reakcji pomiędzy lotnymi związkami powstającymi podczas termicznego rozkładu biomasy, a rodnikami powstałymi w wyniku termicznego rozkładu tworzyw sztucznych [²⁶]. Wpływ ten jest odwrotnie proporcjonalny aniżeli w przypadku wydajności produktów gazowych i nie jest dominującym w badanym procesie ko-pirolizy. Zmienną mającą najwyższy, dominujący wpływ jest ilość materiału polimerowego (Zm.3) wchodzącego w skład mieszanki wsadowej procesu ko-pirolizy. Efekt ten w przypadku produktów ciekłych jest niemalże czterokrotnie wyższy, (tj. 3,76) aniżeli wpływ temperatury TK. Jednocześnie uzyskiwana frakcja ciekła charakteryzuje się znacznie lepszymi właściwościami fizykochemicznymi i energetycznymi.

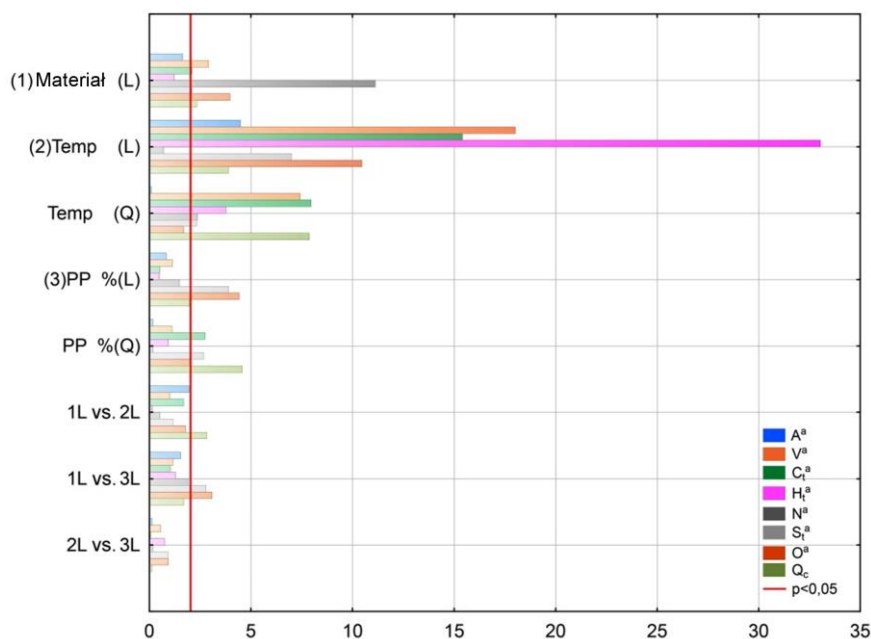
Na podstawie zgromadzonych danych określiłem optymalne warunki prowadzenia procesu TK (ko-pirolizy) w złożu stacjonarnym w zakresie temperatur od 450°C do 750°C oraz składu mieszanki wsadowej biomasa – polimery odpadowe [H2]. Warunki te przedstawiłem w postaci równań predykcyjnych, oddzielnie dla poszczególnych frakcji otrzymywanych produktów oraz ze względu na typu wykorzystywanej biomasy (biomasa drzewna liściasta – drewno olchowe oraz biomasa drzewna iglasta – drewno sosnowe). Wykazałem, że

²⁶ M. Sajdak, K. Słowik, Use of plastic waste as a fuel in the co-pyrolysis of biomass: Part II. Variance analysis of the co-pyrolysis process, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volume 109, 2014, Pages 152-158.

wykorzystanie odpowiedniej ilości (30%) opadowych tworzyw sztucznych (np. termoplastów olefinowych pochodzących np. z przemysłu motoryzacyjnego) jako dodatku do mieszanki wsadowej procesu TK biomasy pozwala na 80-cio procentowe pokrycie zapotrzebowania procesu na energię (ciepło) jedynie w wyniku spalania gazów powstających w wyniku procesu ko-pirolizy [H2].

Jak już wspomniałem, w prowadzonych badaniach prócz wydajności procesu TK biomasy i materiałów polimerowych skupiłem się również na właściwościach fizykochemicznych otrzymywanych frakcji. Określiłem, że w przypadku karbonizatów otrzymywanego w procesie TK największy statystycznie istotny wpływ na właściwości chemiczne i energetyczne ma temperaturę prowadzonego procesu. Podniesienie temperatury z 450°C do 750°C powoduje intensyfikację procesów termicznego rozkładu składników budulcowych biomasy głównie poprzez dehydratacja grup hydroksylowych obecnych w celulozie, hemicelulozie i ligninie. Wiąże się to ze zmniejszeniem, w badanym przypadku, zawartości części lotnych o 12,8% m/m oraz stężenia tlenu o 4,2% m/m. Zmiany te bezpośrednio przekładają się na wzrost zawartości węgla pierwiastkowego w BF2G o 6,3% m/m, a tym samym zwiększenie wartości ciepła spalania o niemalże 440 kJ/kg. Wykazałem, że dla zastosowania tworzyw sztucznych pochodzących z przemysłu motoryzacyjnego (w tym przypadku polipropylenu) w badanych zakresach temperaturowych nie można mówić o ich wpływie na zawartość pierwiastka C w karbonizacie. Wzrost zawartości węgla pierwiastkowego w przypadku dodania 58% odpadowego polimeru wzrósł o 0,6% m/m (Rys. 2), jednakże jak pokazała analiza wariancji wzrost ten jest statystycznie nieistotny ($p > 0,05$). Określiłem, że wpływ dodatku tworzywa sztucznego w postaci polipropylenu wpływa statystycznie istotnie na obniżenie zawartości tlenu i siarki w otrzymywanym karbonizacie o odpowiednio 2,6% m/m oraz 0,2% m/m. Zarówno temperatura jak i dodatek polimeru olefinowego (polipropylenu) mają podobny wpływ na stężenie tlenu. Jednakże prowadzone badania nie wykazały statystycznie istotnego wpływu interakcji tych dwóch zmiennych na właściwości karbonizatu. Jest to związane z różnicami w temperaturach depolimeryzacji celulozy, hemicelulozy, ligniny i wykorzystywanego tworzywa sztucznego, która wynosi około 100°C²⁷.

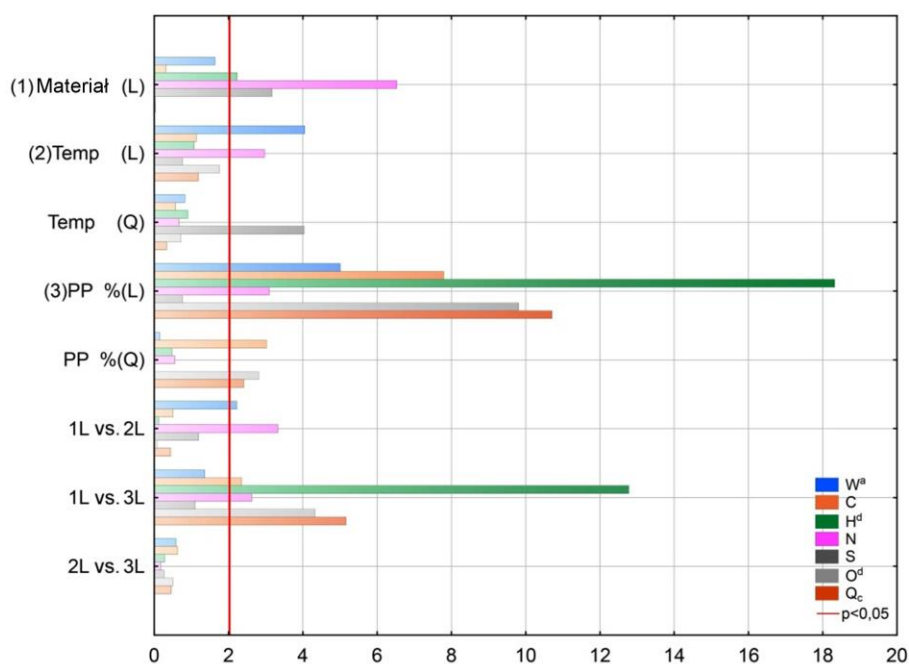
²⁷ Marcin Sajdak, Roksana Muzyka, Use of plastic waste as a fuel in the co-pyrolysis of biomass. Part I: The effect of the addition of plastic waste on the process and products, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volume 107, 2014, Pages 267-275



Rysunek 2. Wpływ badanych zmiennych na skład elementarny stałych produktów termicznej konwersji biomasy z odpadowymi tworzywami sztucznymi (L – wpływ liniowy, Q – wpływ kwadratowy badanych zmiennych) [26]

Wykazałem, że w przeciwieństwie do stałych produktów TK biomasy, na produkty ciekłe największy statystycznie istotne wpływ na dodatek polimeru. Prowadzenie procesu TK w reaktorze ze złożem stałym i szybkością ogrzewania od 5 do 10 K na minutę sprzyja zachodzeniu reakcji następnych pomiędzy substancjami lotnymi wydzielającymi się podczas rozkładu biomasy, a rodnikami powstałymi z rozkładu i depolimeryzacji polimerów alifatycznych. Świadczą o tym wyniki analizy wariancji. Frakcja ciekła uzyskana w wyniku koprolizy charakteryzuje się średnio o 15% m/m niższą zawartością wody oraz co jest istotne pod względem wykorzystania takiego produktu zawiera o niemalże 23% m/m mniej tlenu. Związki zawierające tlen takie jak aldehydy, ketony, kwasy karboksylowe, są związkami niepożądanymi w ciekłych frakcjach po pirolizie ponieważ wpływają na korozję elementów metalowych, z którymi frakcja ma dłuższy kontakt (rurociągi, zbiorniki). Obniżenie zawartości tlenu pierwiastkowego, a co za tym idzie ilości związków zawierających tlen przy jednoczesnym wzroście zawartości węgla i wodoru odpowiednio o 18,18% m/m i 4,09% m/m powoduje radykalny wzrost ciepła spalania frakcji ciekłej nawet o 13 065 kJ/kg. Jednocześnie określiłem, że w badanym procesie istotnie statystyczny jest wpływ interakcji dwóch zmiennych (Rys. 3): rodzaju wykorzystywanej biomasy (Zm.1) oraz dodatku tworzywa sztucznego (Zm.3). Jest to wpływ konkurencyjny, którego źródłem jest zmiana typu biomasy z drewna sosnowego (drewno

miękkie II klasa twardości wg Janki) na drewno olchowe (drewno bardzo miękkie I klasa twardości wg Janki).



Rysunek 3. Wpływ poszczególnych badanych zmiennych na skład elementarny ciekłych produktów termicznej konwersji biomasy z odpadowymi tworzywami sztucznymi (L – wpływ liniowy, Q – wpływ kwadratowy badanych zmiennych) [26]

W ramach prowadzonych badań nad wpływem dodatku materiałów polimerowych (odpadowych tworzyw sztucznych) w procesie TK biomasy wykazałem i opisałem wpływ badanych zmiennych na właściwości (skład chemiczny) frakcji gazowej otrzymywanej podczas wspomnianego procesu. Wszystkie trzy rozpatrywane zmienne mają istotnie statystyczny wpływ na sumaryczny skład chemiczny frakcji gazowej, jednakże wpływ zmiennych jest różny dla poszczególnych badanych związków chemicznych. Wykazałem, że w przypadku produktów gazowych największy, statystycznie istotny wpływ na zawartość propenu (C_3H_6) i butanu (C_4H_{10}) ma dodatek polimeru w postaci polipropylenu. Jest to oczywisty wynik analizy wariancji wynikający z zastosowanego polimeru. Na uwagę zasługuje tu obniżenie zawartości tlenu i ditlenku węgla (CO , CO_2). Dodatek polipropylenu do mieszanki wsadowej pozwala na zwiększenie stężenia propenu o 7,64% v/v, butanu o 0,63% v/v, obniżenie stężenia tlenu węgla o 10,43% v/v oraz ditlenku węgla o 13,15% v/v. Zmiany te bezpośrednio wpływają na wzrost wartości ciepła spalania frakcji gazowej (gazu pirolitycznego) o 10,11 MJ/m³.

W ramach prowadzonego projektu pt.: „Rozwój metody oceny pochodzenia termicznie przetworzonych paliw stałych” finansowanego w ramach programu „Juventus Plus” przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, zakres badań dotyczący wpływu dodatku tworzyw sztucznych na produkty TK biomasy został znacząco poszerzony. Wytypowałem trzy typy materiałów różniących się pochodzeniem oraz stopniem biodegradowalności (biomasę drzewną, agrarną, odpad meblowy), które poddano procesom TK z mieszankami różnych tworzyw sztucznych²⁸ w tym: kauczuku styrenowo – butadienowego (SBR), poli(propylenu) (PP), kopolimeru akryl – butadien – styren (ABS) oraz poli(tereftalanu etylenu) (PET). W badaniach tych wykazałem, że w przypadku mieszaniny kilku tworzyw sztucznych, efekt ich dodatku zmienia charakter z liniowego na kwadratowy [H4]. Oznacza to, że zwiększanie ilości dodawanej mieszanki tworzyw sztucznych tylko początkowo powoduje zmianę wydajności uzyskiwanych produktów TK biomasy. Wraz ze wzrostem ilości dodawanej mieszanki tworzyw sztucznych obserwuje się zmniejszenie wydajności uzyskiwanych produktów. Wykazałem, że istotnie statystyczny kwadratowy wpływ dodatku mieszanki tworzyw sztucznych występuje głównie w przypadku TK badanej biomasy agrarnej oraz odpadu meblarskiego. Określiłem również, że w przypadku wydajności produktów ciekłych uzyskiwanych w badanym procesie, oprócz statystycznie istotnego wpływu zmiany warunków temperaturowych (wpływających na wzrost ilości uzyskiwanej frakcji ciekłej o 4,5% m/m, 5,5% m/m oraz 8,3% m/m odpowiednio dla biomasy drzewnej, agrarnej i odpadu meblarskiego) istotnie statystyczna jest zmiana składu mieszanki. Zmiana mieszanki tworzyw sztucznych z M1²⁹ na M2³⁰ powoduje wzrost wydajności uzyskiwania frakcji ciekłej o 2,1% m/m, 2,9% m/m oraz 3,8% m/m odpowiednio dla biomasy drzewnej, agrarnej i odpadu meblarskiego. Wyniki przeprowadzonych doświadczeń potwierdziły wcześniejsze obserwacje [26]. Również w przypadku rozszerzonych badań obejmujących różne typy tworzyw sztucznych i biomasy [H4] nie obserwuje się wzbogacenia stałych produktów procesu ko-pirolizy w węgiel pierwiastkowy pochodzący z dodanego tworzywa sztucznego.

B. Określenie wpływu dodatku materiałów odpadowych i tworzyw sztucznych na zmianę grup chemicznych obecnych na powierzchni biopaliw stałych II generacji

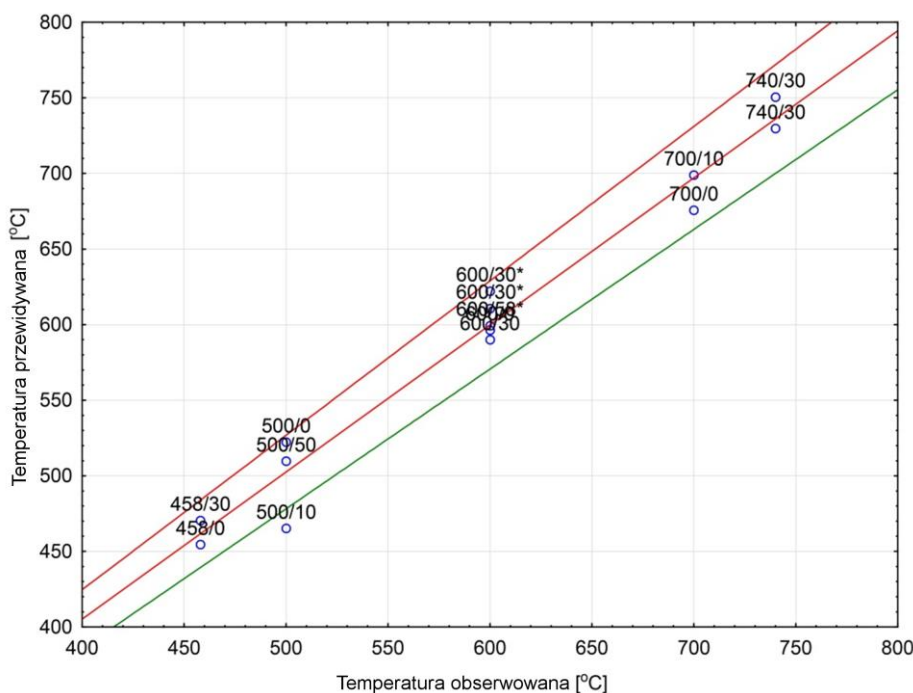
Paliwa stałe II generacji wytworzone w procesie termicznej konwersji biomasy stanowią potencjalne, odnawialne źródło paliwa, które może zostać wykorzystane do produkcji energii elektrycznej i ciepła. Niestety jak nadmieniałem we wstępie, ze względu na przemiany

²⁸ Wykorzystane tworzywa sztuczne stanowiły głównie odpad z przemysłu motoryzacyjnego (SBR, ABS, PP) oraz odpad bytowo – gospodarczy w przypadku PET

²⁹ 30% m/m SBR, 40% m/m PET, 30% m/m PP

³⁰ 30% m/m ABS, 40% m/m PET, 30% m/m PP

termochemiczne, którym została poddana biomasa w procesie TK, wykorzystując dostępne metody analityczne¹³ nie sposób jest poprawnie określić stopnia ewentualnego zanieczyszczenia takiego paliwa substancjami niebiodegradowalnymi „...w stopniu odbiegającym od znanych naturalnych właściwości biomasy danego rodzaju...”. W związku z powyższym, w ramach prowadzonych badań określiłem, w jaki sposób dodatek materiałów polimerowych (odpadowych tworzyw sztucznych) wpływa na grupy chemiczne obecne na powierzchni badanych BF2G czystych i zanieczyszczonych. Do tego celu wykorzystałem analizę spektroskopową z transformacją Fouriera (FT-IR) z następczą analizą chemometryczną danych spektralnych [**H1**, **H3**]. Badane próbki biopaliw stałych II generacji przygotowałem w różnych warunkach temperaturowych oraz z różnym dodatkiem odpadowego polipropylenu (warunki TK oraz dodatek PP został ustalony wykorzystując metodę planowania eksperymentu). Dodatkowo przygotowałem próbki BF2G z mieszanek biomasy i innych tworzyw sztucznych celem porównania wpływu różnych typów materiałów polimerowych na zmianę struktury otrzymywanych karbonizatów. Wykorzystując w swoich analizach metody chemometryczne (m.in. analizę głównych składowych – PCA) określiłem, że na podstawie analizy FT-IR badanych BF2G możliwe jest określenie w jakich warunkach temperaturowych zostały one wytworzone. Analizując zależności długości fal spektroskopowych FT-IR badanych materiałów stwierdziłem, że nowa główna składowa PC1 opisuje zmianę ilości wiązań podwójnych węgiel – węgiel (typu sp^2 , drgania rozciągające C=C przy 1593 cm^{-1}), która jest związana ze wzrostem stopnia karbonizacji próbki. Druga główna składowa PC2 opisuje zmianę ilości zasocjowanych grup hydroksylowych (3630 cm^{-1}), a trzecia główna składowa PC3 opisuje zmianę ilości grup hydroksylowych (głównie mostków metylenowych 3439 cm^{-1}). Na podstawie niniejszych obserwacji wyznaczyłem równanie regresji, dzięki któremu możliwe jest obliczanie temperatury w jakiej nieznane, badane biopaliwo (BF2G) zostało wytworzone. Dodatek polimerów np. w postaci odpadowych tworzyw sztucznych poprzez zachodzące procesy dehydratacji zmienia stosunek atomowy tlenu do węgla oraz wodoru do węgla. Wiąże się to z podwyższeniem ciepła spalania takiego materiału, co powoduje, że karbonizat zanieczyszczony polimerami o deklarowanej temperaturze wytwarzania np. 500°C będzie się charakteryzować zawartością pierwiastków elementarnych jak dla czystego karbonizatu wytworzonego w wyższej temperaturze. Tym samym intensywność pasm absorpcji w zakresie $3600 - 3200\text{ cm}^{-1}$ zmniejszy się. Błąd względny dla wyznaczonego równania w zakresie od 450 do 750°C nie przekracza $\pm 5\%$, co przedstawiłem graficznie na rysunku 4. [**H1**].

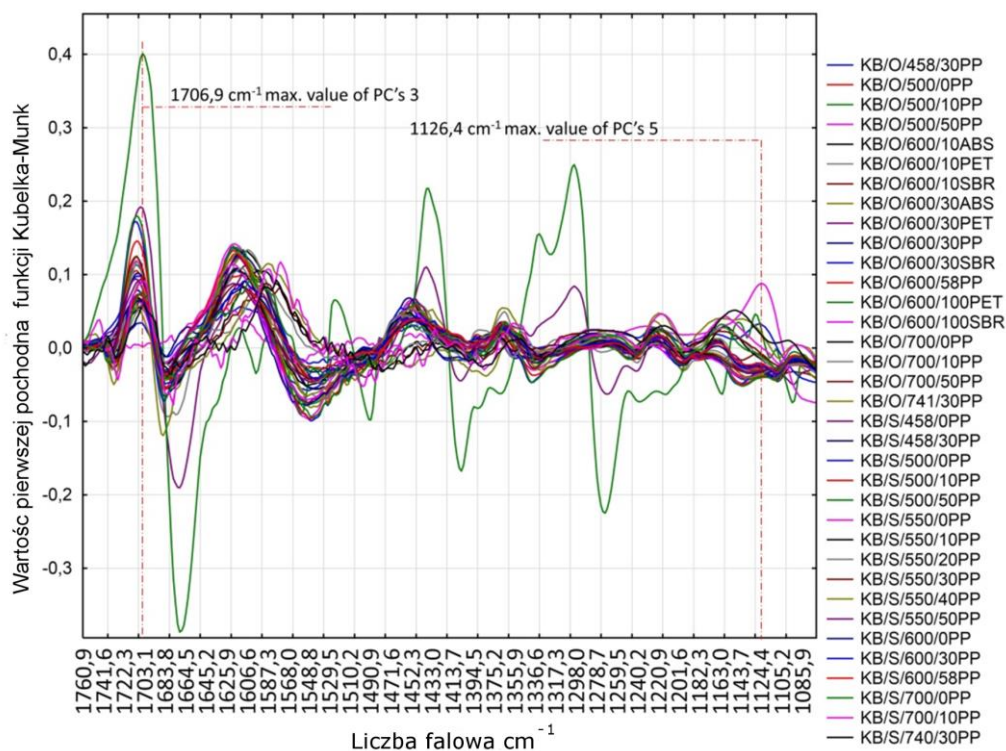


Rysunek 4. Porównanie wartości temperatur, w których przygotowywano badane karbonizaty i temperatur określonych na podstawie wyznaczonego równania [H1]

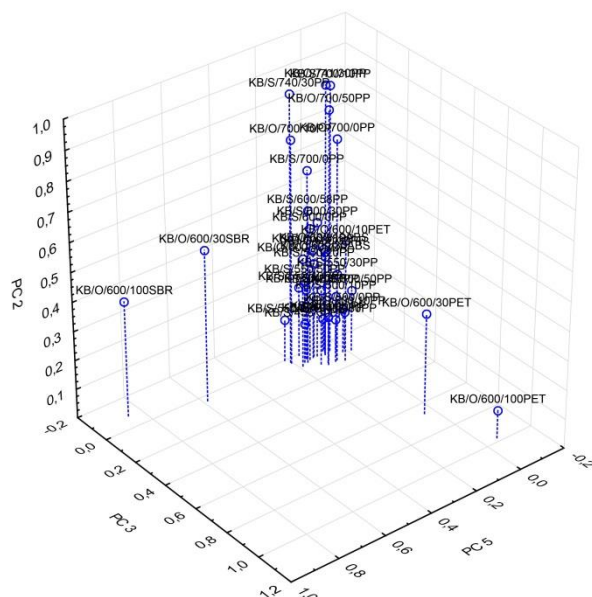
Badania te kontynuowałem poszerzając rodzaj tworzyw sztucznych, jako dodatek do procesu TK biomasy wykorzystałem PET, ABS oraz SBR. Wykazałem, że możliwe jest wskazanie karbonizatu, który został wytworzony z dodatkiem zarówno PET oraz ABS wykorzystując do tego analizę głównych składowych ze wcześniejszym wstępnym przygotowaniem danych spektralnych³¹. W wyniku przeprowadzonych analiz określiłem, że ilość dodanego PET w procesie TK biomasy jest opisywana poprzez trzecią główną składową PC3, która bezpośrednio koreluje z długością fali 1707 cm^{-1} , tj. drganiami rozciągającymi grup aldehydowych, ketonowych oraz kwasów karboksylowych. W przypadku dodatku SBR, jego ilość jest bardzo silnie związana z wartościami głównej składowej PC5, która koreluje z długością fali około 1126 cm^{-1} , związaną z drganiami rozciągającymi grupy eterowej (Rys. 5). W obu przypadkach widoczny jest silny trend – wartość głównych składowych³² jest wprost proporcjonalny do ilości zastosowanego dodatku tworzywa sztucznego w procesie TK biomasy (Rys. 6) [H3].

³¹ Do etapu wstępnego przygotowania danych wejściowych (z j. ang. *Data pre-processing*) wykorzystałem drugą pochodną widma wraz z transformacją SNV (ang. *Standard Normal Variate*).

³² PC3 dla PET, PC5 dla SBR



Rysunek 5. Pierwsza pochodna widm FT-IR badanych karbonizatów wraz z zaznaczonymi długościami fal odpowiadającymi za podział próbek ze względu na rodzaj wykorzystanego odpadowego tworzywa sztucznego [H3]



Rysunek 6. Projektacja badanych materiałów w zależności od wartości trzech głównych składowych PC2, PC3 i PC5 [H3]

Prowadzone przeze mnie badania pozwoliły na zbudowania narzędzi analitycznych umożliwiających wykrycie zanieczyszczenia, wskazanie jego pochodzenia oraz oszacować ilości w jakiej został dodany podczas procesu TK. Pierwszy z nich oparty jest na podstawowych właściwościach fizykochemicznych i energetycznych karbonizatów z biomasy³³ [H7, H9]. Narzędziem jest klasyfikator (algorytm klasyfikacyjny) zbudowany z wykorzystaniem metody drzew klasyfikacyjno – regresyjnych (z j. ang. Classification and Regression Trees C&RT) umożliwiający z dokładnością nie mniejszą niż 96% określić rodzaj badanego paliwa stałego w tym biomasy agrarnej, drzewnej, ligninocelulozy, karbonizatu z biomasy, karbonizatu z biomasy i odpadowych tworzyw sztucznych, węgla kamiennego, brunatnego i torfu (Tab. 1).

Tabela 1. Dokładność klasyfikacji I prawdopodobieństwo *a posteriori* opracowanego narzędzia klasyfikacyjnego

Rodzaj materiału	Dokładność	Prawdopodobieństwo <i>a posteriori</i>
Biomasa agrarna	97,39%	94,8%
Biomasa drzewna	96,87%	93,8%
Karbonizat z biomasy	98,43%	96,9%
Karbonizat z biomasy i odpadowych tworzyw sztucznych	98,78%	97,6%
Ligninoceluloza	96,35%	96,3%
Torf	97,91%	95,9%
Węgiel brunatny	97,74%	91,5%
Węgiel kamienny	98,43%	96,9%

Klasyfikator ten umożliwia określenie czy badane paliwo stałe zostało wytworzone wyłącznie z biomasy i można go zakwalifikować jako biopaliwo II generacji, czy też do procesu jego wytwarzania wykorzystano mieszaninę biomasa – odpadowe tworzywa sztuczne. Celem porównania dokładności opracowanego narzędzia przygotowałem serię karbonizatów wyłącznie z biomasy, z mieszaniny biomasy i tworzyw sztucznych oraz karbonizatów wytworzonych wyłącznie z tworzyw sztucznych. Próbkę te równolegle zostały poddane analizie klasyfikacyjnej (wykorzystując opracowany klasyfikator) oraz analizie na zawartość izotopu węgla ¹⁴C, która jest proponowana w normie PN – EN 15440: 2011. Porównując wyniki analizy próbek BF2G oraz innych przygotowanych karbonizatów³⁴ z obecnie wykorzystywanymi metodami analitycznymi zalecanymi normą PN – EN 15440: 2011 udowodniłem, że opracowane narzędzie znacznie lepiej umożliwia wykrycie biopaliwa stałego zawierającego niepożądane domieszki, aniżeli np. analiza

³³ Metoda wykorzystuje wyniki analizy technicznej (zawartość popiołu A^a, części lotnych V^a), elementarnej (zawartość pierwiastków elementarnych węgla, wodoru, azotu, tlenu i siarki – C, H, N, O, S), analizy ciepła spalania HHV, oraz składu chemicznego popiołu z paliw stałych II generacji (tj.)

³⁴ W tym karbonizatów z mieszanek biomasa – odpadowe tworzywa sztuczne

^{14}C . Analiza zawartości izotopu ^{14}C pozwoliła na poprawne zakwalifikowanie zaledwie 50% próbek poddanych analizie, czyli o 35% mniej aniżeli opracowane narzędzie klasyfikacyjne (85% poprawnych wyników) opierające się wyłącznie na wynikach powszechnie wykorzystywanych parametrów jakościowych paliw stałych (Tab. 2).

Tabela 2. Porównanie wyników analizy wykonanej z wykorzystaniem opracowanego klasyfikatora oraz metody wykorzystującej pomiar izotopu ^{14}C

No	Nazwa próbki	Warunki prowadzenia procesu		BFC ³⁵ (biomasa Tak/Nie)	^{14}C ³⁶ (biomasa Tak/Nie)
		Temp.[°C]	Polim. [%]		
1	PL/46/13	500	0	Tak	Tak
2	PL/49/13	700	0	Tak	Tak
3	PL/53/13	600	0	Tak	Tak
4	PL/98/13	458	30PP	Nie	Tak
5	PL/99/13	741	30PP	Nie	Tak
6	PL/102/13	600	30PP	Nie	Tak
7	PL/109/13	600	30SBR	Nie	Nie
8	PL/110/13	600	10SBR	Nie	Tak
9	PL/113/13	600	100SBR	Nie	Nie
10	PL/118/13	600	100PET	Nie	Nie
11	PL/119/13	600	30PET	Nie	Nie
12	PL/120/13	600	10PET	Tak	Tak
13	PL/121/13	600	10ABS	Tak	Tak
14	PL/122/13	600	30ABS	Nie	Tak

SBR – kauczuk styrenowo - butadienowy, PET – poli(tereftalanetenu), ABS – kopolimer akrylonitryl – butadien – styren, PP – poli(propylen).

Metoda ta jest odpowiedzią na brak dostępnych metod potwierdzenia czystości/stopnia zanieczyszczenia karbonizatów z biomasy produkowanych lub importowanych na rynek krajowy. Była ona już wykorzystywana komercyjnie do analizy karbonizatów z biomas eksportowanych na rynki europejskie celem potwierdzenia braku substancji niebiodegradowalnych pochodzących z rozkładu (depolimeryzacji i dekompozycji) tworzyw sztucznych.

Opracowana metoda klasyfikacji stanowi pierwszy krok w dążeniu do opracowania narzędzia umożliwiającego jego wykorzystanie w laboratoriach kontroli jakości zajmujących się analizą biopaliw stałych II generacji. Zaletą opracowanej metody klasyfikacji próbek BF2G stała się jednocześnie wyzwaniem, które wymagało podjęcia odpowiednich działań w kolejnych badaniach. Metoda ta umożliwia wyłącznie przyporządkowanie badanego materiału do jednej

³⁵ Wynik analizy z wykorzystaniem opracowanego klasyfikatora BFC

³⁶ Wyniki analizy zawartości izotopu ^{14}C

z kilku klas. Nie pozwala ona natomiast określić ile zanieczyszczenia może się znajdować w badanym biopaliwie stałym II generacji jeżeli jest on zanieczyszczony materiałami niebiodegradowalnymi „...w stopniu odbiegającym od znanych naturalnych właściwości biomasy danego rodzaju...”. To sprawiło, że w ramach prowadzonego projektu pt.: „Rozwój metody oceny pochodzenia termicznie przetworzonych paliw stałych” podjęto badania z wykorzystaniem metod spektroskopowych – spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera FT-IR oraz spektrometrycznych – fluorescencyjnej spektrometrii rentgenowskiej XRF. Do badań przygotowałem ponad 150 próbek karbonizatów z biomasy oraz biomasy i odpadowych tworzyw sztucznych przygotowanych w różnych warunkach temperaturowych i z różną ilością odpadowych tworzyw sztucznych. W wyniku prowadzonych badań określiłem, że zakresem widmowym umożliwiającym odpowiednią interpretację badanej próbki pod względem ich pochodzenia oraz możliwych zanieczyszczeń jest zakres widmowy pomiędzy $1800 - 400 \text{ cm}^{-1}$. Potwierdza to wcześniejsze obserwacje [H1, H3, H7] i wyniki analiz chemometrycznych z wykorzystaniem analizy skupień (CA) i analizy głównych składowych (PCA). Klasyfikator opracowany metodą C&RT na podstawie danych spektralnych po normalizacji PQN³⁷ charakteryzował się dokładnością klasyfikacji w przedziale 93 – 98%. Aby możliwe było określenie czystości badanego biopaliwa II generacji opracowałem modele predykcyjne z wykorzystaniem metody PLSR³⁸, która w badaniach odznaczała się znacznie wyższym współczynnikiem odpowiedzi³⁹ aniżeli testowana metoda PCR [H11]. Opracowany globalny model predykcyjny umożliwiający określenie ilości zanieczyszczenia obecnego w biopaliwie stałym II generacji charakteryzuje się współczynnikiem odpowiedzi (dla zbioru walidacyjnego) wynoszącym 103,04% przy względnym odchyleniu standardowym wynoszącym 14,48% (RMSEP⁴⁰ = 6,05% i RER⁴¹ = 11,23). Taki model umożliwia stwierdzenie, że w badanym biopaliwie II generacji znajdują się inne niebiodegradowalne materiały niebędące biomasą, tj. węgiel kamienny (np. flot) lub odpadowe tworzywa sztuczne (Fig. 7).

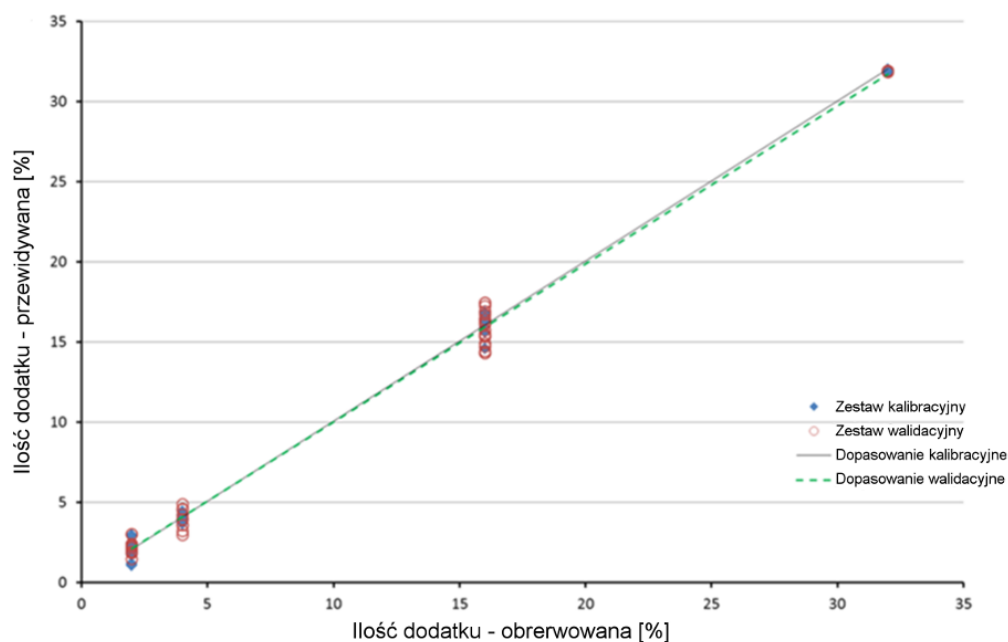
³⁷ Metoda normalizacji danych ang. *Probabilistic quotient normalization*

³⁸ Regresja metodą cząstkowych najmniejszych kwadratów ang. *Partial Least Squares Regression*

³⁹ Stosunek wartości obliczanej (przewidywanej) do wartości rzeczywistej (oczekiwanej) wyrażony w [%]

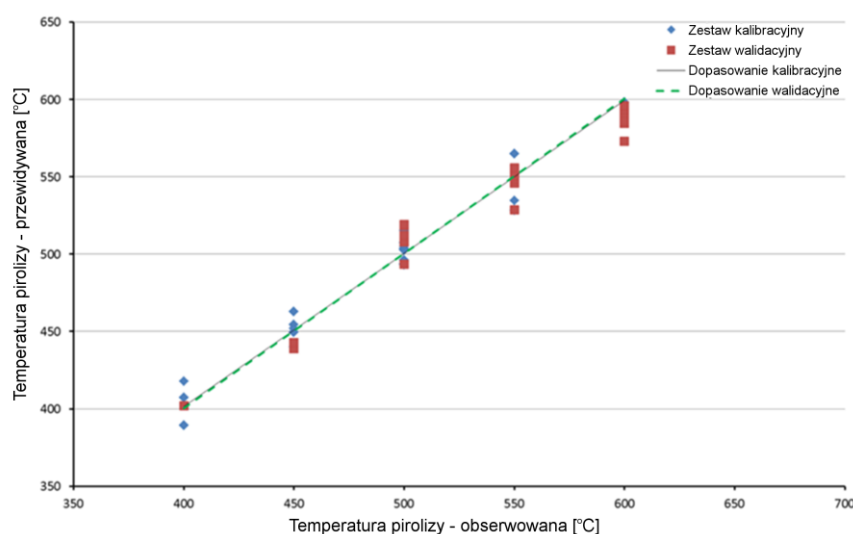
⁴⁰ Pierwiastek błędu średniokwadratowego prognozy ang. *Root Mean Squared Error of Prediction*

⁴¹ Zakres błędu obliczanego parametru ang. *Range Error Ratio*



Rysunek 7. Porównanie ilości dodatku odpadowego tworzywa sztucznego wykorzystanych w procesie TK biomasy wyznaczonej na podstawie wyznaczonego równania (wartości przewidywane do obserwowanych) [H11]

Dodatkowo został przygotowany globalny model matematyczny umożliwiający określenie temperatury w jakiej biopaliwo było wytworzone (Fig. 8), charakteryzujący się wysokim współczynnikiem odpowiedzi wynoszącym 101,13% z względnym odchyleniem standardowym wynoszącym 1,7% (RMSEP = 1,68% i RER = 30,84).



Rysunek 8. Porównanie wartości temperatur, w których przygotowywano badane karbonizaty i temperatur określonych na podstawie wyznaczonego równania [H11]

W prowadzonych przeze mnie badaniach zostały porównane dwie różne metody wstępnego przetwarzania danych spektralnych, normalizacji median-SNV i PQN. Opracowane modele pozwalają w krótkim czasie na skuteczną ilościową i jakościową analizę alternatywnych i odnawialnych biopaliw stałych II generacji.

C. Określenie optymalnych warunków prowadzenia procesów termicznej konwersji biomasy celem podniesienia wydajności produktów, ich analizą chemiczną oraz możliwościami oczyszczania strumieni produktów odpadowych

W badaniach jakie prowadziłem oprócz istotnych zagadnień dotyczących określania czystości biopaliw stałych II generacji, prowadziłem również analizy dotyczące optymalizacji warunków prowadzenia procesów TK biomasy, możliwości analizy chemicznej ich produktów oraz oczyszczania niektórych strumieni produktów odpadowych wytwarzanych podczas tego procesu. Wszystkie próbki, które były poddawane analizom fizykochemicznym były przeze mnie przygotowywane z wykorzystaniem laboratoryjnego stanowiska do termicznej konwersji paliw stałych w złożu stacjonarnym. Stanowisko składa się z oporowo ogrzewanego pieca, stalowej retorty, w której można poddać procesowi TK około 500 g paliwa stałego (w zależności od jego rodzaju i gęstości nasypowej), zespołu chłodzonych odbieralników i w zależności od potrzeby automatycznych analizatorów gazów procesowych, mikrochromatografu lub worka próbobiorczego typu Tedlar®. Przygotowywanie próbek do analizy prowadziłem zgodnie z wcześniej przygotowanymi planami eksperymentów. W prowadzonych testach wykorzystywałem głównie plany centralne kompozycyjne z możliwością wyznaczenia powierzchni odpowiedzi badanego układu, a tym samym określenia lokalnych minimów i maksimów badanych parametrów. W pracach [H2, H4] wyznaczyłem optymalne warunki prowadzenia procesu TK biomasy jak również jej mieszanin z materiałami polimerowymi, w których w zależności od potrzeb można maksymalizować wydajność produkcji poszczególnych frakcji. Modele predykcyjne zostały przygotowane dla poszczególnych typów biomasy (drewno sosnowe, olchowe, biomasa agrarna – słoma zbożowa, odpad meblarski) celem minimalizacji błędów wynikających z istotnych różnic fizykochemicznych jakimi materiały te się charakteryzują. Jak już wspominałem wcześniej w części dotyczącej wpływu poszczególnych badanych zmiennych na wydajność i właściwości fizykochemiczne produktów TK oprócz wpływu o charakterze liniowym, podczas procesów TK są obserwowalne wpływy o charakterze kwadratowym. Znajduje to potwierdzenie podczas prowadzenia optymalizacji procesu TK biomasy. Maksymalizując wydajność produkcji karbonizatu z mieszanki biomasy i poli(propylenu) jednocześnie minimalizując temperaturę, a tym samym ilość energii jaką należy

zużyć na przeprowadzenie procesu, najkorzystniej prowadząc go w temperaturze 458,6°C⁴² z dodatkiem PP nie większym aniżeli 14,6%. W przypadku maksymalizacji uzysku produktów ciekłych jest to temperatura 670°C w przypadku drewna olchowego i 600°C w przypadku drewna sosnowego. W obydwu przypadkach wydajność jest wprost proporcjonalna do ilości dodawanego polimeru i wynosi 58%⁴³. Podobnie jak w dla produktów stałych również dla produktów gazowych temperatura ma najwyższe znaczenie w procesie optymalizacji. Najkorzystniejszą temperaturą prowadzenia procesu TK jest temperatura 741°C z dodatkiem PP nieprzekraczającym 29,2% [H2].

Odpowiednie zaplanowanie prowadzonych eksperymentów nie tylko umożliwia określenie lokalnych i globalnych maksimów wydajności otrzymywanych strumieni produktów procesu TK, ale również pozwala na przeprowadzenie analizy autotermiczności procesu. Zakładając warunki wejściowe procesu TK^{44,45} określiłem, że w badanych warunkach TK biomasy (mikroalgi *Nannochloropsis gaditana*) oraz mieszanki biomasy drzewnej z odpadowymi tworzywami sztucznymi jest możliwe uzyskanie autotermiczności procesu wykorzystując produkty gazowe jako paliwo do podgrzania reaktora [H2, H10]. W takim przypadku 100% autotermiczność układu procesowego uzyskuje się w temperaturze około 460°C podczas pirolizy mikroalg o wilgotności 5% lub biomasy drzewnej o wilgotności około 20% pirolizowanej w temperaturze 600°C z 30% dodatkiem PP. Dodatek PP zwiększa wydajność procesu i zwiększa walory energetyczne produktów ciekłych i gazowych.

W czasie prowadzonych przeze mnie badań zarówno w projekcie Iuventus Plus⁴⁶, jak i projekcie BioPoGen wykonywano badania jakościowe uzyskanych stałych, ciekłych i gazowych produktów. Analiza elementarna wykorzystywana była do określenia jakości otrzymywanych karbonizatów i frakcji ciekłej [H6, H7, H5, H19, H10], a analiza z wykorzystaniem metod rozdzielczych takich jak chromatografia gazowa wykorzystywana była do jakościowej i ilościowej analizy produktów ciekłych i gazowych [H10]. Poza pożądanymi stałymi, ciekłymi i gazowymi produktami w procesach TK prowadzonych w niższych temperaturach (np.

⁴² Minimalna temperatura w jakiej były prowadzone procesy termicznej konwersji biomasy i jej mieszanek z poli(propylenem) w ramach prowadzonych eksperymentów

⁴³ Maksymalny dodatek poli(propylenu) dodawanego do biomasy w procesie termicznej w ramach prowadzonych eksperymentów

⁴⁴ Warunki wejściowe procesu tj.: pojemność reaktora, wilgotność biomasy, przedział warunków temperaturowych, zawartość wody w frakcji ciekłej, ciepło spalania frakcji ciekłej lub gazowej oraz straty energii do otoczenia

⁴⁵ W zależności od przeznaczenia produktów do procesu odzysku energetycznego wykorzystuje się niewykorzystane produkty.

⁴⁶ „Rozwój metody oceny pochodzenia termicznie przetworzonych paliw stałych” finansowany w ramach programu Iuventus Plus przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego Nr 0410/IP3/2015/73 z dnia 14.01.2015.

w przypadku toryfikacji) problemem stają się produkty uboczne – smoła. Związki obecne w smole można podzielić na dwie główne grupy^{47,48}: (1) smoła pierwotna pochodząca z rozkładu polimerowych związków obecnych w biomasie takich jak polisacharydy (celuloza i hemiceluloza) i lignina, (2) smoła wtórna, która powstaje w czasie reakcji następnych aromatyzacji i kondensacji pierwotnych produktów pirolizy. Składa się z węglowodorów aromatycznych (benzenu, styrenu, naftalenu), fenolu i metylofenoli. Stężenie związków heterocyklicznych jest znacznie mniejsze. Rozkład polisacharydów prowadzi do powstania anhydrocukrów (lewoglukoza) i pochodnych furanu (furaldehydu), natomiast rozkład ligniny prowadzi do powstania podstawionych metoksyfenoli (gwajakolu i jego pochodnych). Substancje te są wysoce polarne i mają średnią stabilność termiczną, co powoduje, że ich analiza i identyfikacja nie jest łatwym zadaniem. W takim przypadku dobrą metodą jest przeprowadzenie derywatyzacji związków obecnych w smole np. wykorzystując bis(trimetylosililo) acetamid (BSA) w celu zwiększenia lotności analizowanych związków [H6]. Poprzez podstawienie aktywnych atomów wodoru w grupach funkcyjnych takich jak -OH, -COOH, -NH, -NH₂ i -SH grupami trimetylosililowymi, zmniejsza się polarność związków^{49,50}. Ponadto poprawie ulega stabilność termiczną związków, a także reakcję detektora.

W przypadku wysokotemperaturowej TK biomasy napotyka się na wyzwania związane z zagospodarowaniem i oczyszczeniem strumienia frakcji ciekłych. Do analizy możliwości oczyszczania takich strumieni z procesu zgazowania ze względu na szerokie możliwości adaptacyjne wykorzystałem metody planowania eksperymentów. Podczas procesu zgazowania biomasy jedną z frakcji otrzymywanych w czasie procesu jest strumień produktów ciekłych, który głównie składa się z wody, kwasów karboksylowych, ketonów, aldehydów, alkoholi, fenoli i innych rozpuszczonych związków organicznych (kondensat wodno – organiczny). Strumień taki przed jego skierowaniem do konwencjonalnej oczyszczalni musi zostać doczyszczony. W prowadzonych badaniach wykorzystano reakcję utleniania za pomocą odczynnika Fentona, który jest stosowany do usuwania niepożądanych związków organicznych ze ścieków

⁴⁷ M. Asmadi, H. Kawamoto, S. Saka, Gas- and solid/liquid-phase reactions during pyrolysis of softwood and hardwood lignins, *J. Anal. Appl. Pyrol.*, 92 (2011), pp. 417-425

⁴⁸ T. Hosoya, H. Kawamoto, S. Saka, Solid/liquid- and vapor-phase interactions between cellulose- and lignin-derived pyrolysis products, *J. Anal. Appl. Pyrol.*, 85 (2009), pp. 237-246

⁴⁹ H. Kataoka, Gas chromatography of amines as various derivatives, in: Quantitization of amino acids and amines by chromatography - methods and protocols, *Journal of Chromatography Library* 70, (2005) 364-404.

⁵⁰ F. Orata, Derivatization reactions and reagents for gas chromatography analysis. In *Advanced Gas Chromatography. Progress in Agricultural, Biomedical, and Industrial Applications*; Mohd, M. A., Ed.; InTech: Croatia, 2012; pp 83-108.

przemysłowych⁵¹, odcieków ze składowisk odpadów komunalnych^{52,53}, ścieków agrochemicznych⁵⁴, ścieków farmaceutycznych⁵⁵. Odczynnikiem Fentona jest mieszanina jonów żelaza (II) Fe^{2+} i ditlenku dwuwodoru H_2O_2 , która jest źródłem powstających rodników hydroksylowych ($\bullet\text{OH}$), które posiadają najwyższy ze znanych utleniaczy potencjał utleniający. Z tego powodu jest ona jedną z najbardziej efektywnych metod usuwania zanieczyszczeń organicznych ze ścieków przemysłowych. Reakcja ta jest kilku etapowa. Do pierwszego etapu należy rozpad H_2O_2 inicjowany i katalizowany przez jony Fe^{2+} w środowisku kwaśnym wg reakcji



a w ten sposób powstały rodnik hydroksylowy reaguje ze związkami organicznymi



powodując powstanie rodnika alkilowego. Rodniki te w obecności tlenu rozpuszczonego w wodzie, powodują powstanie rodników alkilonadtlenkowych, które tworzą kolejne rodniki i powstają produkty przejściowe:



Powstały organiczny wodoronadtlenek (ROOH) może reagować z jonami Fe^{2+} lub Fe^{3+} , tworząc kolejne rodniki intensyfikując proces utleniania:



Dalsze utlenianie produktów pośrednich prowadzi do powstania ditlenku węgla i wody.

⁵¹ A. Łodyga, D. Minda-Data, M. Koziół, P. Tyński, „Zastosowanie procesu głębokiego utleniania z wykorzystaniem odczynnika Fentona do usuwania formaldehydu ze ścieków przemysłowych”, *Chemik*, 2013, 67, 7, 648-653.

⁵² J. Naumczyk, I. Prokurat, A. Krzysztozek, „Zastosowanie zmodyfikowanego procesu Fentona do oczyszczania odcieków ze składowisk odpadów komunalnych”, *Przemysł Chemiczny*, 2008, nr 5, t.87, 531-534.

⁵³ J. Naumczyk, A. Dmochowska, I. Prokurat, „Oczyszczanie odcieków ze składowisk odpadów komunalnych za pomocą wysokoefektywnych metod utleniania i elektROUTLENIANIA”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2006, nr 3, 33-37.

⁵⁴ J. Zieliński, A. K. Biń, E. Przybysz, M. Krawczyk, B. Morytz, M. Lewandowska, M. Szyderska, „Ekotoksyczność surowych i oczyszczonych ścieków agrochemicznych”, *Przemysł Chemiczny*, 2007, nr 6, t.86, 539-544.

⁵⁵ A. Tomaszewska, „Reakcja Fentona w podczyszczaniu ścieków farmaceutycznych”, *Przegląd Techniczny*, 2009, 5-6, XVIII-XIX.

Celem wyznaczenia istotnie statystycznie czynników wpływających na proces oraz określenia optymalnych warunków prowadzenia procesu utleniania w badaniach wykorzystano metody planowania eksperymentów. W wyniku przeprowadzenia 40 eksperymentów określiłem, że największy wpływ na stopień oczyszczania kondensatu wodno – organicznego ma stosunek H_2O_2 i $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, jednakże wpływ ten ma charakter kwadratowy. To znaczy, że powyżej pewnego poziomu (w prowadzonych badaniach był to stosunek $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+} = 0,0375$ – Zm.1) obserwuje się obniżenie wydajności procesu utleniania. Drugim istotnie statystycznym czynnikiem wpływającym na wydajność procesu utleniania jest stosunek ilości H_2O_2 do ilości kondensatu (Zm.2) i jak określiłem jest to wpływ liniowy. Określiłem również, że na wydajności procesu utleniania ma istotnie statystyczny wpływ interakcja pomiędzy pierwszą i drugą zmienną. Badania te pozwoliły wskazać jakie ilości poszczególnych reagentów (oraz jaki jest ich koszt) wymagane są do przeprowadzenia oczyszczania kondensatu wodno – organicznego pochodzącego ze zgazowania biomasy oraz jaki jest wymagany czas prowadzenia oczyszczania.

Podsumowanie

Przedstawiony cykl publikacji [**H1–H11**] stanowi kompleksowe opracowanie badań w ramach których możliwe było opracowanie procedur analizy stałych produktów termicznej konwersji biomasy w celu określenia ich parametrów jakościowych głównie pod względem chemicznym. Otrzymane wyniki badań opisane w pracach tworzących jednotematyczny blok publikacji pozwoliły na opracowanie:

1. metody określania pochodzenia badanego materiału poddanego termicznej konwersji opierającej się na podstawie standardowych metod analitycznych (tj. skład elementarny i chemiczny popiołu badanego materiału) wykorzystywanych w laboratoriach badawczo-analitycznych i charakteryzującej się 96% dokładnością klasyfikacji,
2. metody określania pochodzenia badanego materiału poddanego termicznej konwersji opracowane na podstawie analiz spektroskopii FT – IR, charakteryzującą się średnio 95% dokładnością predykcji,
3. metody określania warunków temperaturowych procesu termicznej konwersji w których karbonizat został wytworzony, charakteryzującą się 98% dokładnością,
4. metody określania stopnia zanieczyszczenia paliw II generacji materiałami niebiodegradowalnymi w stopniu odbiegającym od znanych naturalnych właściwości biomasy danego rodzaju na podstawie zarówno standardowych metod analitycznych tj. skład elementarny i chemiczny popiołu badanego materiału wykorzystywanych w laboratoriach badawczo- analitycznych, jak również metod spektroskopowych (FT –

IR). Dokładność została potwierdzona w porównaniach z metodami referencyjnymi wg PN-EN 15440:2011, co wykazało ich przewagę nad dotychczasowymi metodami.

Ponadto opracowane klasyfikatory i modele predykcyjne stanowiły również podstawę dwóch innych narzędzi analitycznych opracowanych w ramach prowadzonych przeze mnie prac badawczych. Pierwszym z nich jest „Sposób weryfikacji pochodzenia biomasy stałej”⁵⁶, które zostało wdrożone w Laboratorium Gazów Przemysłowych i Produktów Węglipochodnych Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla⁵⁷ i jest wykorzystywane komercyjnie. Dokładność opracowanej metody wynosi 98%. Metoda była odpowiedzią na zapotrzebowanie klientów – producentów energii elektrycznej, którzy poszukiwali rozwiązania umożliwiającego określenie pochodzenia spalanej przez nich biomasy, celem rozliczenia energii z odnawialnych źródeł energii (OZE). Rozwiązanie jest objęte ochroną na podstawie zgłoszenia patentowego⁵⁶.

Drugim zaś jest „Metodyka wykrywania nielegalnego spalania i współspalania odpadów w indywidualnych urządzeniach grzewczych”^{58, 59}, wykorzystująca wyniki analizy składu chemicznego odpadu paleniskowego (popiołu), które są następnie analizowane opracowanym przeze mnie algorytmem klasyfikacyjnym⁶⁰. Umożliwia ona wskazanie czy w indywidualnym urządzeniu grzewczym (kocioł C.O.) oprócz paliwa stałego spalano odpady bytowo – gospodarcze. Metodyka została przygotowana wraz z „Programem ochrony powietrza dla terenu województwa śląskiego mającego na celu osiągnięcie poziomów dopuszczalnych substancji w powietrzu oraz pułapu stężenia ekspozycji”, który zgodnie z Uchwałą Sejmiku WŚ stała się aktem prawa miejscowego⁶¹. Jednocześnie opracowana metodyka wraz z programem komputerowym „POP Feniks” została udostępniona podmiotom samorządowym.

II. Wykaz innych (nie wchodzących w skład osiągnięcia wymienionego w pkt I) opublikowanych prac naukowych wraz wskaźniki dokonań naukowych

⁵⁶ Numer zgłoszenia patentowego P.414654; data zgłoszenia 2015-11-02

⁵⁷ Nr procedury w IChPW – Q/LG/24/A

⁵⁸ Informacje dostępne na stronach Samorządu Województwa Śląskiego

<https://powietrze.slaskie.pl/content/dokumenty-opracowane-razem-z-aktualizacja-programu-ochrony-powietrza>
<http://www.slaskie.pl/zalaczniki/2017/12/15/1513338526/1513338547.pdf>
stan na 27-02-2018

⁵⁹ Uchwała zarządu nr 2541/228/V/2017 z dnia 28 listopada 2017 roku w sprawie: zatwierdzenia projektów dokumentów opracowanych wraz z Programem ochrony powietrza

⁶⁰ Opracowany algorytm klasyfikacyjny stanowi główny element programu komputerowego „POP Feniks”, stanowiącego interfejs graficzny (GUI) dla algorytmu.

⁶¹ Uchwała sejmiku nr V/47/5/2017 z dnia 18 grudnia 2017 roku

A) Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Web of Science (WoS) lub na liście European Reference Index for the Humanities (ERIH)

Publikacje przed doktoratem

1. **Marcin Sajdak**, Celina Pieszko, „Chemometric analysis of heavy metal content for various environmental matrices in terms of their use in biomass thermal processing.” Central European Journal of Chemistry Volume 10, **2012**, Pages 1696-1706. IF₂₀₁₂ = 1,167

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu analizy zawartości metali ciężkich w badanym materiale roślinnym, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 60%

2. Celina Pieszko, **Marcin Sajdak**, „Chemometric analysis of heavy metals coexistence in different plant matrices in the Upper Silesian Industrial District”, Ecological Chemistry and Engineering Volume 20, **2012**, Pages 79-91. IF₂₀₁₂ = 1,167

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu analizy zawartości metali ciężkich w badanym materiale roślinnym, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 40%

3. **Marcin Sajdak**, „Application of chemometrics to identifying solid fuels and their origin”, Central European Journal of Chemistry Volume 11, **2013**, Pages 151-159. IF₂₀₁₃ = 1,329

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń pirolizy różnych rodzajów biomasy w złożu stacjonarnym w skali technicznej, zebraniu i opracowaniu danych ilościowych i jakościowych różnych paliw stałych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 100%

4. **Marcin Sajdak**, Olaf Piotrowski „C&RT model application in classification of biomass for energy production and environmental protection”, Central European Journal of Chemistry Volume 11, **2013**, Pages 259-270. IF₂₀₁₃ = 1,329

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń pirolizy różnych rodzajów biomasy w złożu stacjonarnym w skali technicznej, zebraniu i opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 80%

5. **Marcin Sajdak**, Celina Pieszko „Selection of mineralised methods to analysis of different types of matrices. Applying the Box-Cox transformation to chemometrics investigate the coexistence of heavy metals in natural samples, Central European Journal of Chemistry Volume 11, **2013**, Pages 610-618. IF₂₀₁₃ = 1,329

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu analizy zawartości metali ciężkich w badanym materiale roślinnym, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 60%

6. **Marcin Sajdak**, Roksana Muzyka, Joanna Hrabak, Grzegorz Różycki „Biomass, biochar and hard coal: Data mining application to elemental composition and high heating values prediction” Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volume 104, **2013**, Pages 153-160. IF₂₀₁₃ = 3,07

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń pirolizy różnych rodzajów biomasy w złożu stacjonarnym w skali technicznej, zebraniu i opracowaniu danych ilościowych i jakościowych różnych paliw stałych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 60%

7. **Marcin Sajdak**, Roksana Muzyka, “Use of plastic waste as a fuel in the co-pyrolysis of biomass. Part I The effect of the addition of plastic waste on the process and products”, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 107, **2014**, Pages 267-275. IF₂₀₁₄ = 3,564

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń ko-pirolizy w złożu stacjonarnym w skali technicznej, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 70%

8. **Marcin Sajdak**, Krzysztof Słowik, Use of plastic waste as a fuel in the co-pyrolysis of biomass: Part II. Variance analysis of the co-pyrolysis process, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Volume 109, **2014**, Pages 152-158. IF₂₀₁₄ = 3,564

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń ko-pirolizy w złożu stacjonarnym w skali technicznej (opracowanie planu eksperymentu zgodną z metodą DOE), opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych,

numerycznych i statystycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 70%

Publikacje po doktoracie

1. Tomasz Chmielniak, Edyta Misztal[✉], Izabela Mazurek, **Marcin Sajdak**, Technology of pre-combustion mercury removal from coal, Przemysl Chemiczny, Volume 94 **2015**, Pages 480-486. IF₂₀₁₅ = 0,367

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń niskotemperaturowej konwersji termicznej w skali technicznej, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie.

Mój udział procentowy szacuję na 40%

2. Hanna Barchanska[✉], **Marcin Sajdak**, Anna Wróbel, Celina Pieszko, Chemometric Characterization of the Liphophilicity Parameters of Triketone Herbicides and Their Degradation Products, Journal of Planar Chromatography, Volume 28, **2015**, Pages 323-332. IF₂₀₁₅ = 0,611

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu doświadczeń, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie.

Mój udział procentowy szacuję na 15%

3. Barbara Jagustyn[✉], Magdalena Kmieć, Łukasz Smędowski, **Marcin Sajdak**, The content and emission factors of heavy metals in biomass used for energy purposes in the context of the requirements of international standards, Journal of the Energy Institute, Volume 90, **2017**, Pages 704-714. IF₂₀₁₆ = 3,204

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu doświadczeń, opracowaniu danych ilościowych

i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie.

Mój udział procentowy szacuję na 2%

4. Hanna Barchanska[☒], **Marcin Sajdak**, Kornelia Szczypka, Angelika Swientek, Martyna Tworek, Magdalena Kurek, “Atrazine, triketone herbicides, and their degradation products in sediment, soil and surface water samples in Poland”, Environmental Science and Pollution Research, Volume 24, **2017**, Pages 644–658. IF₂₀₁₇ = 2,741

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu doświadczeń, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie.

Mój udział procentowy szacuję na 15%

5. Tomasz Chmielniak, Krzysztof Słowik, **Marcin Sajdak**[☒], Mercury removal by mild thermal treatment of coal, Fuel, Volume 195, **2017**, Pages 290-298. IF₂₀₁₆ = 4,601

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń niskotemperaturowej konwersji termicznej w skali technicznej, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 40%

6. **Marcin Sajdak**[☒], Magdalena Kmiec, Beata Micek, Joanna Hrabak, Determination of the optimal ratio of coal to biomass in the co-firing process - feed mixture properties, International Journal of Environmental Science and Technology, DOI: 10.1007/s13762-018-1864-y, IF₂₀₁₆ = 1,915

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu doświadczeń (opracowanie planu eksperymentu zgodną z metodą

DOE), opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 70%

B) Wynalazki oraz wzory użytkowe i przemysłowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach, lub targach.

Brak

C) Monografie, publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazach lub na liście, o których mowa w pkt II A:

1. **Marcin Sajdak**, Łukasz Smęadowski, „Zastosowanie metod grupowania w identyfikacji pochodzenia paliw stałych”, Interdyscyplinarne zagadnienia w górnictwie i geologii s. 312-321 (2012) ISBN 978-83-7493-678-1

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu doświadczeń, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie.

Mój udział procentowy szacuję na 50%

2. **Marcin Sajdak**, Olaf Piotrowski, „Zastosowanie drzewa C&RT w klasyfikacji biomasy wykorzystywanej do celów energetycznych” Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki I technologie przeróbki surowców mineralnych. s. 313-325, (2012) ISBN 978-83-60708-59-0

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń pirolizy różnych rodzajów biomasy w złożu stacjonarnym w skali technicznej, zebraniu i opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych

i statystycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 80%

3. **Marcin Sajdak**, Łukasz Smęadowski „Application of multivariate data analysis in the construction of predictive model for the chemical properties of coke” Contemporary Trends in Geoscience Volume 2, **2013**, Pages 67-74. IF₂₀₁₃ = 0

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu doświadczeń, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie.

Mój udział procentowy szacuję na 50%

4. **Marcin Sajdak**, Sławomir Stelmach „Application of chemometric analysis to determine the degree of contamination in materials obtained by thermal conversion of biomass” Proceedings of the 5th International Workshop on Compositional Data Analysis, Pages 153-162, Vienn University of Technology ISBN: 978-3-200-031 (2013)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń pirolizy różnych rodzajów biomasy w złożu stacjonarnym w skali technicznej, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych widm FT-IR wraz z ich interpretacją, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 60%

5. **Marcin Sajdak**, “Uczenie z nadzorem w budowie modelu klasyfikującego materiały pochodzące z termicznej przeróbki biomas”, s. 165-176, Współczesne problemy energetyki, Gliwice (2013), ISBN: 978-83-937255-1-9

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń pirolizy różnych rodzajów biomasy w złożu stacjonarnym w skali technicznej, zebraniu i opracowaniu danych ilościowych i jakościowych różnych paliw stałych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 100%

6. Tomasz Chmielniak, Edyta Misztal, Izabela Mazurek, **Marcin Sajdak**, „Usuwanie rtęci przed procesem spalania”, Technologie oczyszczania i uzdatniania gazu ze zgazowania węgla, 2015, ISBN: 978-83-940055-4-2

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w sformułowaniu problemu naukowego i zaplanowaniu oraz wykonaniu doświadczeń niskotemperaturowej konwersji termicznej w skali technicznej, opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 40%

7. **Marcin Sajdak**, Optimization Frameworks in Resource Management and Process Engineering (Chapter 17), Plastics to Energy, 1st Edition Fuel, Chemicals, and Sustainability Implications, ISBN: 9780128131404

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu problemu naukowego, zebraniu i opracowaniu danych ilościowych i jakościowych, przeprowadzeniu analiz chemometrycznych, numerycznych i statystycznych, udziale w napisaniu manuskryptu i jego korekcie oraz korespondencji z redakcją naukową czasopisma.

Mój udział procentowy szacuję na 100%

D) Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyz, utworów i dzieł artystycznych

Brak

E) Sumaryczny impact factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania:

Impact Factor wszystkich publikacji łącznie z doktoratem 63,200

Impact Factor wszystkich publikacji po doktoracie 46,681

F) Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS) (dostęp 14-06-2018):

Całkowita liczba cytowań = 102

Całkowita liczba cytowań bez autocytowań = 71

G) Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS) (dostęp 29-05-2018):

6

H) Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach

1. Kierownik projektu pt.: **„Rozwój metody oceny pochodzenia termicznie przetworzonych paliw stałych”** finansowany w ramach programu **Iuventus Plus** przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego Nr 0410/IP3/2015/73 z dnia 14.01.2015. Projekt realizowany w latach 2015-2017 w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla (data zakończenia projektu 19.03.2017). Wartość projektu **300 000,00 zł**
2. Udział w pracach badawczych w ramach projektu strategicznego, zadanie badawcze nr 4: **„Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”** finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR), Nr SP/E/4/65786/10. Wartość projektu **6 825 000,00 zł**
3. Udział w pracach badawczych w roli Kierownika etapu „Technologies of biomass preparation for torrefaction process.” w latach 2014 – 2016 w projekcie BioPoGen

„**Biocoal for Power Generation**”, finansowanym przez European Institute of Innovation & Technology EIT, Nr 07_2013_IP57_BioPoGen, Wartość projektu **9 481 916,40 zł**

4. Udział w pracach badawczych w ramach projektu „**Inteligentna Koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki**” finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR), Nr POIG.01.01.02-24-017/08-00 Wartość projektu **59 634 232,25 zł**

Kierowanie oraz udział w projektach realizowanych w ramach działalności Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla

Udział w projektach statutowych

1. Kierownik projektu statutowego „**Badania nad możliwością określenia stopnia zanieczyszczenia biomasy paliwami kopalnymi**”. Projekt realizowany w roku 2012. Wartość projektu **101 000,00 zł**
2. Kierownik projektu statutowego „**Wyznaczenie zależności pomiędzy składem biomasy a produktami jej pirolitycznego rozkładu**” Projekt realizowany w roku 2013. Wartość projektu **110 000,00 zł**
3. Kierownik projektu statutowego „**Opracowanie procedury weryfikacji nielegalnej utylizacji odpadów w urządzeniach grzewczych zasilanych paliwem stałym (piece C.O.)**” Projekt realizowany w roku 2017. Wartość projektu **290 000,00 zł**
4. Kierownik projektu statutowego „**Rozwój technologii rozdzielania i oczyszczania gazów procesowych uwzględniający aspekt dalszego zagospodarowania produktów oczyszczania**” Projekt realizowany w roku 2018. Wartość projektu **250 000,00 zł**

Udział w projektach badawczych

1. „Wykonanie badań porównawczych próbek karbonizowanej smoły powstającej w procesie pirolizy drewna celem potwierdzenia ich biomasowego charakteru.”
2. „Badania materiału palnego po przetworzeniu odpadów z grupy 02 02.”
3. „Badania karbonizatów i produktów ciekłych uzyskanych w procesie pirolizy opon samochodowych.

4. „Wykonanie kontroli (audytu) zakupionych urządzeń z ramach projektu WND-RPOP.01.03.02-16-097/12-00 „Zakup nowoczesnych urządzeń do produkcji innowacyjnych ekologicznych rzutków strzeleckich”,
5. Wykonanie badań substratów do produkcji rzutek strzeleckich – projekt komercyjny
6. Kierownik etapu projektu komercyjnego „Badanie procesów przetwórstwa termicznego paliw i materiałów karbochemicznych”

I) Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową lub artystyczną:

Brak

J) Wygłoszenie referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych

Autor/autorzy referatu, rok wygłoszenia, tytuł referatu, nazwa konferencji, miejsce odbycia konferencji.

Przed doktoratem

1. Marcin Sajdak, Olaf Piotrowski, **2012**, „Zastosowanie drzewa C&RT w klasyfikacji biomasy wykorzystywanej do celów energetycznych”, KOMEKO, Rytro, Polska
2. Marcin Sajdak, **2012**, „Metody uczenia z nadzorem w budowie modeli klasyfikujących materiały pochodzące z termicznej konwersji biomasy”, OŚIE, Gliwice, Polska
3. Marcin Sajdak, Łukasz Smędowski, **2012**, „Zastosowanie metod grupowania w identyfikacji pochodzenia paliw stałych”, XII Konferencja doktorantów i młodych uczonych - interdyscyplinarne zagadnienia w górnictwie i geologii, Szklarska Poręba, Polska
4. Marcin Sajdak, **2012**, „Dobór modelu empirycznego do wyznaczenia entalpii spalania paliw stałych”, Geo-Symposium Młodych Badaczy Silesia 2012 - Współczesne trendy w naukach o Ziemi, Zawiercie, Polska

5. Marcin Sajdak, Olaf Piotrowski, Grzegorz Różycki, **2012**, „Zastosowanie metod chemometrycznych w klasyfikacji i potwierdzaniu pochodzenia karbonizatu”, V Konferencja "Chemometria - metody i zastosowania", Zakopane, Polska
6. Marcin Sajdak, Sławomir Stelmach, **2013**, „Application of chemometric analysis for determination of contamination degree of materials obtained by thermal conversion of biomass” Fifth International Workshop on Compositional Data Analysis, Vorau, Austria
7. Marcin Sajdak, Sławomir Stelmach, **2013**, „Application of chemometric analysis to classification and confirmation of bio-char origin” Fifth International Workshop on Compositional Data Analysis, Vorau, Austria
8. Marcin Sajdak, Łukasz Smędowski, **2013**, „Application of multivariate data analysis in the construction of predictive model for the chemical properties of coke”, VI Geo-symposium Młodych Badaczy Silesia, Mikołów, Polska

Po doktoracie

1. Marcin Sajdak, Łukasz Smędowski, **2014**, „Statistical analysis of results obtained from prediction of coke quality (PCQ) software”, VII Geo-symposium Młodych Badaczy Silesia, Żywiec, Polska
2. Marcin Sajdak, Sławomir Stelmach, **2014**, „Application of chemometric analysis in classification and confirmation of bio-char origin”, 20st International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Birmingham, Wielka Brytania
3. Marcin Sajdak, Sławomir Stelmach, Agnieszka Plis, Michalina Kotyczka-Morańska **2014**, „Application of chemometric methods in evaluating origin of solid fuels subjected to thermal conversion”, 20st International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Birmingham, UK
4. Marcin Sajdak, Karina Ignasiak, Aleksander Sobolewski, Jolanta. Robak, Michał Rejdak, **2015**, „Torrefied biomass as a raw material for production of high-energy pellet fuel”, 23rd European Biomass Conference and Exhibition, Wiedeń, Austria
5. Marcin Sajdak, **2015**, „Interconnection of the PCA and C&RT in order to improve the precision of the classification model for the solid bio-fuels”, 14th Scandinavian Symposium on Chemometrics, Chia, Włochy

6. Marcin Sajdak, Daniel Nowakowski, Antony Bridgwater, **2015**, „BTEX fractions from the catalytic pyrolysis of waste polymers”, Renewable chemicals from waste – securing the molecular value from waste streams, Londyn, UK
7. Marcin Sajdak, **2015**, „Verification of origin of the material obtained from thermal biomass conversion - new methods”, 23rd European Biomass Conference and Exhibition, Wiedeń, Austria
8. Marcin Sajdak, **2016**, „Spectral and chemometrics analysis as a coupled methods to determination of contamination degree in materials obtained by thermal conversion of biomass”, XVI Chemometrics in Analytical Chemistry, Barcelona, Hiszpania
9. Marcin Sajdak, Daniel Nowakowski, Selma Riasat, **2016**, „BTEX fractions from the catalytic pyrolysis of waste polymers”, 21st International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Nancy, Francja
10. Marcin Sajdak, Daniel Nowakowski, Antony Bridgwater, **2016**, „Catalytic pyrolysis of lignin using co- and ni-doped zeolite catalysts”, 21st International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Nancy, Francja
11. Marcin Sajdak, Maciej Chrubasik, Roksana Muzyka, **2016**, „Chemical characterisation of tars from thermal conversion of biomass by 1D gas chromatography combined with silylation”, 21st International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Nancy, Francja
12. Marcin Sajdak, Daniel Nowakowski, Antony Bridgwater, **2016**, „Analytical pyrolysis as a method to quantitative analysis of fossil fuels contaminants in biochar”, 21st International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Nancy, Francja
13. Marcin Sajdak, Beata Micek, Joanna Hrabak, **2017**, „The quantitative and qualitative analysis of alternative and renewable solid biofuels – development and validation”, 25th European Biomass Conference and Exhibition, Stockholm, Szwecja

III. Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz informacja o współpracy międzynarodowej habilitanta

A) Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych

Brak

B) Aktywny udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych

Członek Komitetu ds. Programu Technicznego (Technical Program Committee),
International Workshop on Environmental Management, Science and Engineering (IWEMSE
2018), 16-17 czerwca 2018, Xiamen, Fujian, Chiny

C) Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych

Brak

D) Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione w pkt

1. Outstanding Contribution in Reviewing, Fuel Processing Technology, 2016
2. Outstanding Contribution in Reviewing, Energy Conversion And Management, 2017
3. Outstanding Contribution in Reviewing, Fuel, 2017
4. Outstanding Contribution in Reviewing, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2017
5. Outstanding Contribution in Reviewing, Waste Management, 2017

E) Udział w konsorcjach i sieciach badawczych

Brak

F) Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych oraz we współpracy z przedsiębiorcami, innymi niż wymienione w pkt H

Brak

G) Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism

Brak

H) Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych:

Brak

I) Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki:

Brak

J) Opieka naukowa nad studentami i lekarzami w toku specjalizacji

Brak

K) Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego.

Brak

L) Staże w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich

1. Aston University, European Bioenergy Research Institute, UK. Termin pobytu 26 kwiecień – 23 maj 2015r, staż naukowy
2. Niigata University, Department of Chemistry and Chemical Engineering, Japonia. Termin pobytu 14 październik – 14 listopad 2016, staż naukowy

M) Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie

Brak

N) Udział w zespołach eksperckich i konkursowych

Brak

O) Recenzowanie projektów międzynarodowych i krajowych

Brak

P) Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

W okresie po doktoracie recenzowałem 38 artykułów w następujących czasopismach z listy JCR:

1. Phytochemistry Letters (5-Year Impact Factor: **1,493**)
2. Energy Conversion and Management (5-Year Impact Factor: **5,472**)
3. Fuel (5-Year Impact Factor: **4,726**)
4. Expert Systems With Applications (5-Year Impact Factor: **3,526**)
5. Bioresources (Impact Factor₂₀₁₆: **1,334**)
6. Fuel Processing Technology (5-Year Impact Factor: **4,051**)
7. Analytical Letters (Impact Factor₂₀₁₆: **1,150**)
8. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis (5-Year Impact Factor: **4,152**)
9. Annals of Aquaculture and Research
10. Waste Management (5-Year Impact Factor: **4,669**)
11. Analytica Chimica Acta (5-Year Impact Factor: **4,849**)
12. Journal of the Air & Waste Management Association (5-Year Impact Factor: **1,38**)
13. ACS Sustainable Chemistry & Engineering (Impact Factor: **5,951**)
14. International Journal of Environmental Science and Technology (5-Year Impact Factor: **2,156**)
15. International Journal of Coal Science & Technology

16. Chemical Papers (5-Year Impact Factor: **1,224**)

17. Lignocellulose (bez IF)

18. Journal of Nanostructure in Chemistry

19. Chemosphere (5-Year Impact Factor: **4,506**)

R) Inne osiągnięcia, nie wymienione w pkt III A – III P

Brak

Marcin Sajdak