

## Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Przemysław Motyl

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

dr inż.: temat rozprawy doktorskiej - Algorytmy numeryczne wyznaczania ruchu cieczy lepkiej metodą dekompozycji pola prędkości, miejsce obrony - Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, data obrony - 10.03.2011

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

- od 01.2021 Prodziekan Wydziału Mechanicznego UTH Rad. (aktualnie Uniwersytetu Radomskiego)
- od 01.10.2019 Kierownik Katedry Mechaniki Stosowanej i Mechatroniki na Wydziale Mechanicznym UTH Rad. (aktualnie Uniwersytetu Radomskiego)
- od 01.10.2019 Praca na stanowisku adiunkta w Katedrze Mechaniki Stosowanej i Mechatroniki na Wydziale Mechanicznym UTH Rad. (aktualnie Uniwersytetu Radomskiego)
- od 1.01.2017 – 30.06.2019 – Zastępca Dyrektora Instytutu Mechaniki Stosowanej i Energetyki na Wydziale Mechanicznym UTH Rad.
- 1.05.2011– 30.09.2019 - Praca na stanowisku adiunkta w Zakładzie Komputerowych Metod Inżynierskich Instytutu Mechaniki Stosowanej i Energetyki UTH Rad. (dawna Politechnika Radomska)
- 1.11.2011 – 30.04.2012 - Praca na stanowisku Inżyniera ds. analizy obliczeniowej CFD w Pracowni Ogniw Paliwowych Instytutu Energetyki w Warszawie przy ul. Augustówka 36

- 1.10.2005 – 30.04.2011 - Praca na stanowisku asystenta w Zakładzie Komputerowych Metod Inżynierskich Instytutu Mechaniki Stosowanej i Energetyki Politechniki Radomskiej
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

#### 4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

**Wybrane aspekty wykorzystania biomasy i odpadów jako paliw w niskoemisyjnych technologiach instalacji kotłowych – modelowanie numeryczne, projektowanie, eksploatacja**

#### 4.2 Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

Podstawę niniejszego wniosku stanowi 6 prac, które zostały opublikowane w latach 2017-2022, a ich łączny impact factor (IF) jest równy 13.7:

**P1.** Motyl Przemysław Bruno, Wikło Marcin Andrzej, Bukalska Julita, Piechnik Bartosz, Kalbarczyk Rafał: A New Design for Wood Stoves Based on Numerical Analysis and Experimental Research, *Energies*, MDPI, vol. 13, no. 5, 2020, pp. 1-11, DOI:10.3390/en13051028, **140 points IF=3.004**

Mój udział: zaproponowanie modelu numerycznego procesów spalania, wykonanie obliczeń/symulacji oraz podsumowanie badań.

**P2.** Motyl Przemysław Bruno, Poskrobko Sławomir, Król Danuta, Juszczak Marek: Numerical modelling and experimental verification of the low-emission biomass combustion process in a domestic boiler with flue gas flow around the combustion chamber, *Energies*, MDPI, vol. 13, no. 21, 2020, pp. 1-16, DOI:10.3390/en13215837, **140 points IF=3.004**

Mój udział: przygotowanie półempirycznego modelu spalania biomasy i zoptymalizowanie komory paleniskowej do zapewnienia niskoemisyjnego i wysokosprawnego procesu spalania.

**P3.** Motyl Przemysław, Łach Jan: Computational Modelling of Retrofitting a Coal Fired Boiler Type OP-230 for Predicting NOX Reduction, Journal of Thermal Science, 2018, DOI:10.1007/s11630-018-1037-9, **15 points IF=1.228**

Mój udział: koncepcja badań, obliczenia numeryczne.

**P4.** Motyl Przemysław, Łach Jan, Co-firing coal with natural gas - computational simulations, Mechanika, Kwartalnik tom XXXII, zeszyt 88 (nr 4/2016), Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2016, ISSN 0209-2689, DOI: 10.7862/rm.2016.27, s. 335-346

Mój udział: koncepcja badań, obliczenia numeryczne, analiza wyników.

**P5.** Król Danuta, Motyl Przemysław Bruno, Poskrobko Sławomir: Chlorine Corrosion in a Low-Power Boiler Fired with Agricultural Biomass, Energies, MDPI, vol. 15, no. 1, 2022, Article number: 382, DOI:10.3390/en15010382, **140 points IF=3.252**

Mój udział: propozycja badań, model numeryczny do identyfikacji miejsc usytuowania próbek badawczych, dobór próbek materiałów do badań, analiza wyników.

**P6.** Król Danuta, Motyl Przemysław Bruno, Poskrobko Sławomir: Waste Incineration and Heavy Metal Emission—Laboratory Tests, Energies, MDPI, vol. 15, no. 21, 2022, Article number: 8130, DOI:10.3390/en15218130, **140 points IF=3.252**

Mój udział: współautor koncepcji prac badawczych, przygotowanie materiałów badawczych, współudział w badaniach eksperymentalnych, opracowanie stanowiska i analiza wyników.

4.2 Omówienie celu naukowego ww. prac oraz osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Dorobek naukowy zawierający się w 6 publikacjach wyszczególnionych w punkcie 4.1 stanowi podsumowanie aktywności naukowej i badawczej od okresu doktoratu aż do dnia dzisiejszego i jest zarówno efektem współpracy z naukowcami z innych jednostek badawczych, jak i współpracy z sektorem gospodarczym. Moje prace badawcze, a w konsekwencji przedstawiane osiągnięcia naukowe w większości

koncentrowały się na numerycznym modelowaniu procesów spalania oraz zagadnień ciepłno - przepływowych w urządzeniach grzewczych małej mocy (od 10 kW), jak również kotłów energetycznych wykorzystywanych w energetyce zawodowej. Motywem przewodnim było wykorzystanie biomasy, odpadów i paliw z odpadów do bezpośredniego spalania lub współspalania z węglem, zgazowania w celu wytworzenia gazu generatorowego stanowiącego średniokaloryczne paliwo gazowe i dwupaliwowego zasilenia kotła pyłowego klasy OP. Energetyczne wykorzystanie biomasy, odpadów i paliw z odpadów odgrywa istotną rolę w kontekście produkcji energii odnawialnej oraz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Istnieją wyzwania związane z dostępnością biomasy (szczególnie drzewnej), efektywnością procesów jej termicznego przekształcania z równoczesnym monitorowaniem i kontrolą emisji (co przekłada się na wymierne korzyści dla środowiska) oraz procesami korozyjnymi elementów konstrukcyjnych kotłów. Wymagana efektywność energetyczna wykorzystania biomasy, odpadów i paliw formowanych z odpadów jest determinowana zarówno przez uwarunkowania prawne (normy środowiskowe, dyrektywy UE – Ekoprojekt), jak również rachunkiem ekonomicznym i naturalnym dążeniem do ekologicznego zastosowania takich paliw. W ostatnich latach przeprowadzono wiele badań nad energetycznym wykorzystaniem biomasy leśnej oraz rolnej (agro). Biomasa jako biopaliwo - źródło energii, może być dystrybuowana w różnych formach. Są to pellety, brykiety, zrębki, które są później spalane w kotłach lub piecach przystosowanych dla paliw biomasowych. Biomasa może również być zgazowywana, a powstały syngaz wykorzystywany w ogniwach paliwowych lub w jednostkach przeznaczonych, dostosowanych do spalania bądź współspalania syngazu. Uzyskanie wysokiej efektywności energetycznej z biomasy wiąże się zarówno z poprawnym prowadzeniem procesu spalania, zapewnieniem optymalnej wymiany ciepła, zachowaniem niskiej emisji produktów spalania do atmosfery (spełniającej standardy emisyjne) i wreszcie z problemami eksploatacyjnymi w wyniku wysokiego ryzyka występowania m.in. korozji na powierzchniach konstrukcyjnych instalacji grzewczych. Jej spalanie bądź współspalanie z węglem wpływa na korzystny bilans emisji CO<sub>2</sub> w porównaniu ze spalaniem węgla, tym samym mając wpływ na tempo zmian klimatycznych. Głównym źródłem biomasy w kraju jest przede wszystkim biomasa leśna (biomasa drzewna i pozostałości – odpady drzewne), ale także biomasa pochodzenia rolniczego (odpady rolnicze,

agrobiomasa, biomasa z upraw energetycznych) i odpady z przetwórstwa rolno-spożywczego.

Badania z użyciem technik pomiarowych wymagają odwzorowania warunków pracy, co może być trudne w przypadku dużych maszyn i urządzeń energetycznych. Dlatego coraz większe znaczenie mają metody komputerowego modelowania CFD (Computational Fluid Dynamics) procesów przepływowo-cieplnych i procesów spalania. Pozwalają one na skomplikowane analizy, które wymagają dokładnego i zweryfikowanego modelu matematycznego. Zaletą modelowania jest możliwość symulowania stanów pracy, które są trudne do osiągnięcia w rzeczywistości, ale mogą być krytyczne z punktu widzenia pracy systemów energetycznych. Wśród prac przedstawionych w punkcie 4.1 Autoreferatu można wyodrębnić następujące obszary badań, które łącznie stanowią szeroki zakres zagadnień od rozważań teoretycznych nad opracowanymi metodami do przykładów ich aplikacji dla konkretnych problemów:

- Numeryczne modelowanie procesów spalania biomasy.
- Eksploatacja urządzeń grzewczych opalanych paliwem biomasowym.
- Ograniczenie emisji metali ciężkich Cd, Cu, Zn z procesów spalania odpadów/paliw z odpadów.

Jednym z celów realizowanych badań, których wyniki stały się podstawą zgłoszonych prac, było poszukiwanie metody współspalania węgla i syngazu ze zgazowania biomasy leśnej oraz agro w instalacjach kotłowych w energetyce zawodowej. Konsekwencją realizacji tego celu, a także podjętej współpracy z partnerami wytwórców urządzeń grzewczych było zaproponowanie metod modelowania numerycznego procesów spalania biomasy z potencjałem do wykorzystania w bieżącej działalności przedsiębiorstw.

Z procesami spalania paliw, biomasy, odpadów i paliw z odpadów wiążą się nierozdzielnie problemy korozji materiałów konstrukcyjnych instalacji kotłowych. Stąd kolejnym krokiem badawczym, a równocześnie celem było przeanalizowanie zjawisk korozji chlorowej, które towarzyszą eksploatacji wysokosprawnych urządzeń grzewczych opalanych biomasą.

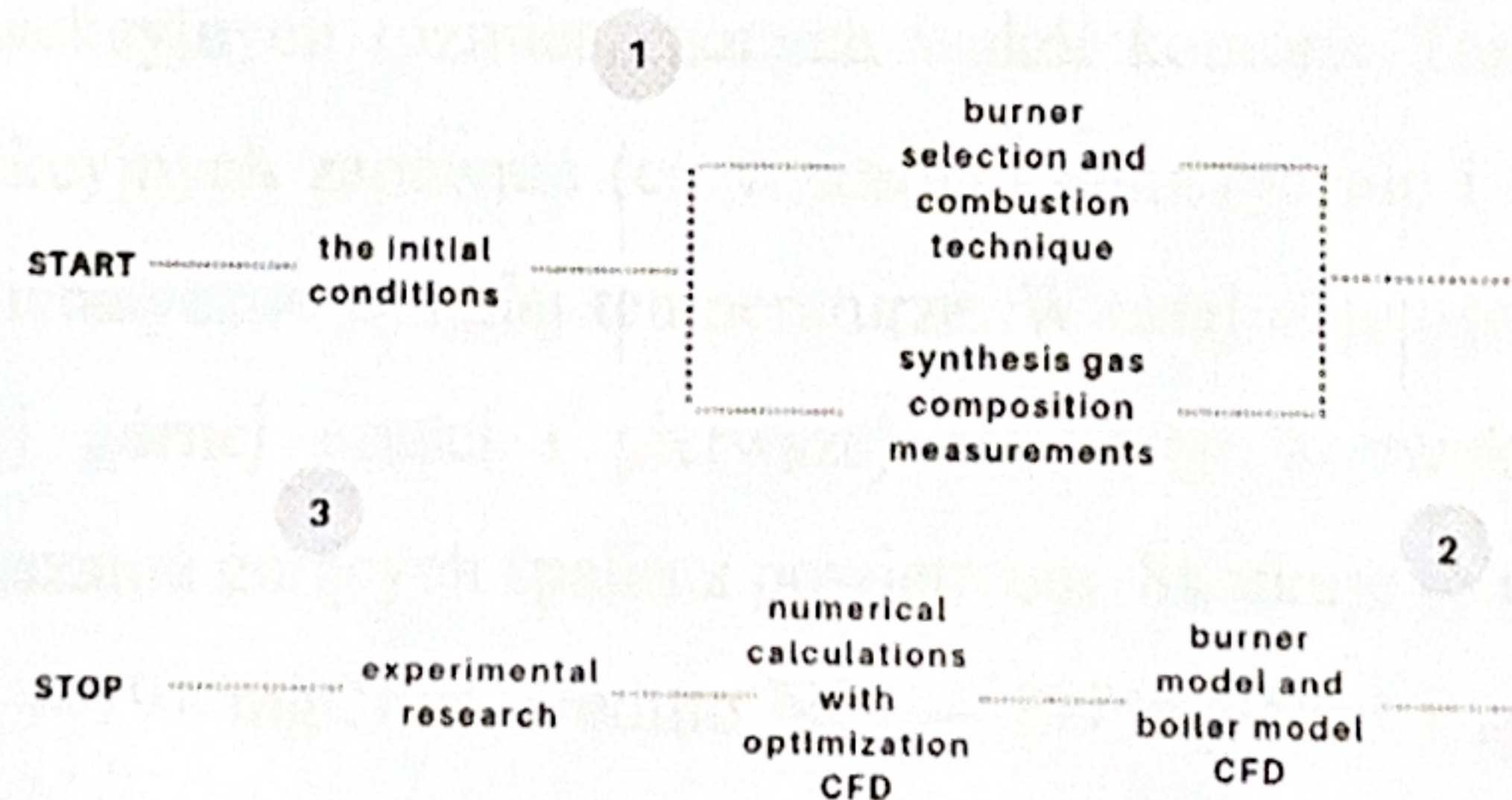
Termiczne przekształcanie biomasy, odpadów czy paliw z odpadów zawsze skutkuje emisją do powietrza atmosferycznego wielu gazów/substancji, które są wynikiem

całkowitego i zupełnego spalania (np. CO<sub>2</sub>, HCl, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>) lub niecałkowitego i niezupełnego spalania (np. CO, WWA, węglowodory, inne związki organiczne) oraz pyłów i popiołów lotnych, a także emisją metali ciężkich. Metale ciężkie mogą się adsorbować na powierzchni pyłów, lotnych popiołów bądź istnieć jako indywidualne cząstki. Dlatego następnym celem były badania emisji metali ciężkich w procesach spalania, z równoczesną próbą ich immobilizacji w pozostałości rusztowej.

Spalanie drewna jest procesem złożonym i wynika bezpośrednio z faktu, że paliwo składa się z trzech rodzajów składników: a) wilgoci; b) części palnych (ze składem pierwiastkowym C, H, N, S, Cl, O) i c) części niepalnych - popiołu (najczęściej w niewielkich ilościach). W składzie części palnych wyróżnia się części lotne, czyli generalnie gazów/substancji uwalnianych podczas termicznego rozkładu drewna. Analizując proces spalania drewna można wyróżnić cztery podstawowe fazy, tj.: 1) nagrzewanie i suszenie, 2) rozkład termiczny, 3) spalanie produktów rozkładu termicznego, 4) spalanie pozostałości koksowej. Proporcje zawartości części niepalnych (stałych) i palnych, w tym lotnych w drewnie, kształtują się na poziomie do ok. 30 i 70% i jest to proporcja odwrotna niż w przypadku węgla, stąd immanentną cechą spalania drewna jest powstawanie intensywnych płomieni. Modelowanie numeryczne procesów spalania we wkładach kominkowych napotyka na kilka problemów wynikających z natury eksploatacji wspomnianych instalacji. Spalanie odbywa się w cyklach. Użytkownik wkłada do kominka polany drewna, dokonuje zapłonu i dalej toczy się spalanie drewna, aż do jego wypalenia. Wspomniany cykl może trwać od kilkudziesięciu minut do kilkuset w zależności od mocy instalacji. Generalnie można wyróżnić trzy istotne fazy: 1) rozpalanie, 2) palenie właściwe, 3) wyżarzanie. Palenie właściwe jest etapem zajmującym zdecydowaną większość czasu danego cyklu i podczas niego emisja spalin, jak również temperatura stabilizuje się na dość zbliżonym poziomie. W pracy P1 zaproponowano model spalania polany drewna z podziałem na dwie domeny: 1) część zewnętrzną, która jest źródłem gazu odpowiadającego częściom palnym w tym lotnym składzie drewna, 2) część wewnętrzną odpowiadającą częściom niepalnym. Oceny uzyskanych wyników numerycznych dokonano w oparciu o badania eksperymentalne na zaprojektowanym i zbudowanym przez zespół badawczy torze pomiarowym. Model numeryczny posłużył do opracowania nowych konstrukcji wkładów kominkowych. Opis uzyskanych wyników opublikowany został w artykule P1, a także przedstawiony na

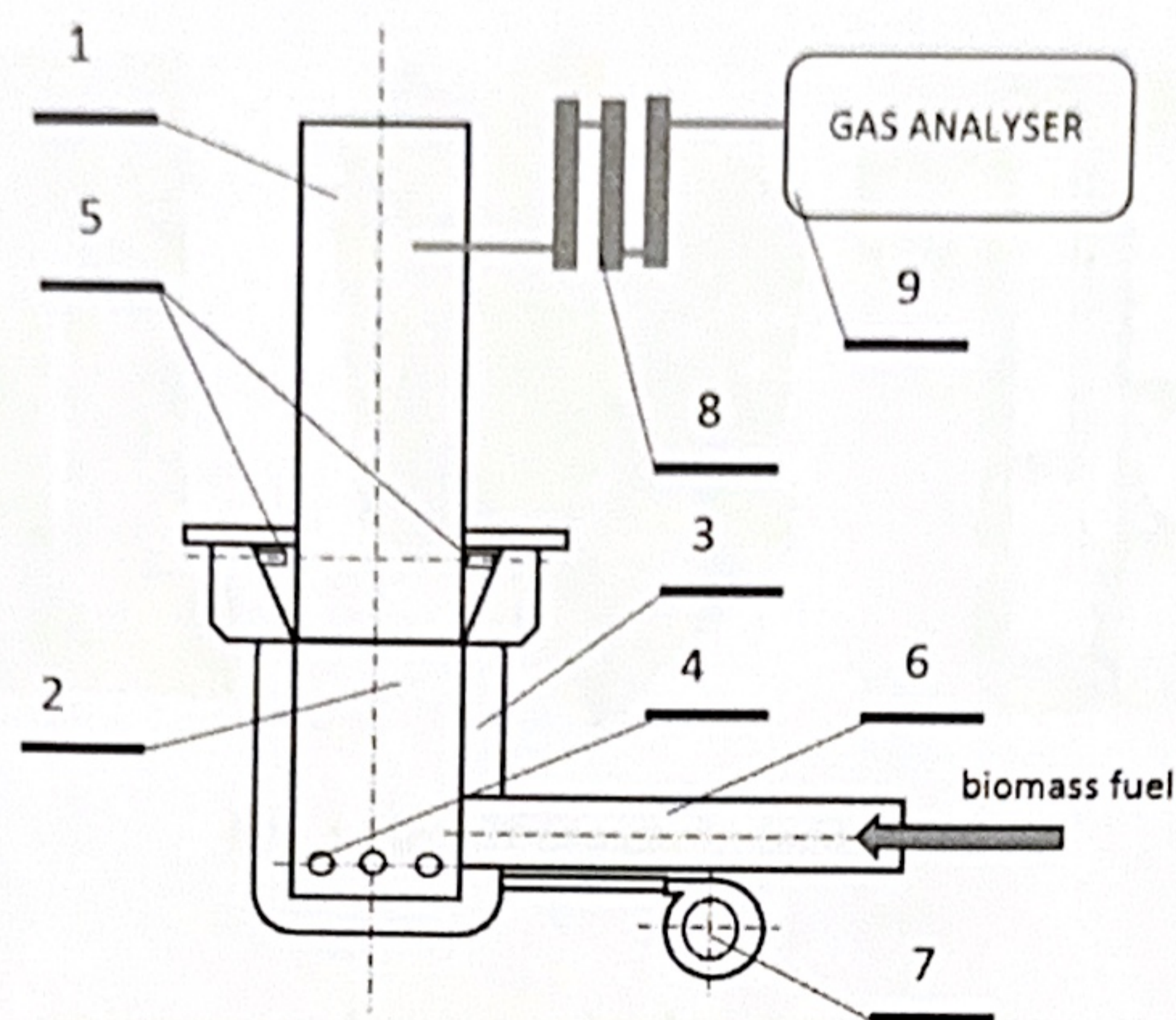
konferencji naukowej. Moim osiągnięciem w tym temacie było zaproponowanie modelu numerycznego procesów spalania i wykonanie obliczeń/symulacji oraz podsumowanie badań.

Odmienne podejście do modelowania procesów spalania w złożu pelletu z biomasy leśnej należy przyjąć w ujęciu problematyki palników retortowych, w których reakcje przebiegają w złożu zasilanym paliwem i utleniaczem w postaci tlenu z powietrza w temperaturze otoczenia, lub celowo podgrzewanym. Do modelowania spalania biomasy w formie pelletu do bezpośredniego spalania w palnikach retortowych z przeznaczeniem dla kotłów domowych małej mocy  $<20\text{kW}$  zaproponowano 3-etapową, pół-empiryczną procedurę tworzenia modelu numerycznego palnika (rys. 1). Po określeniu docelowej mocy kotła oraz techniki spalania w palniku, przeprowadzono eksperyment mający na celu określenie składu gazu syntezowego, będącego produktem zachodzących w palniku procesów zgazowania (rys. 2). Proces zgazowania prowadzono w komorze palnika retortowego z dobudowaną komorą cylindryczną (rys. 2). Czynnikiem zgazowującym było powietrze. Otrzymano syngaz, dla którego stężenia poszczególnych składników oznaczono za pomocą analizatora gazu syntezowego. Po uzyskaniu wyników z eksperymentu, gaz generatorowy (syngaz), który był wytwarzany w procesie zgazowania biomasy drzewnej wykorzystany został do przygotowania obliczeń numerycznych.



Rys. 1. Schemat metody modelowania procesów spalania w palniku biomasowym

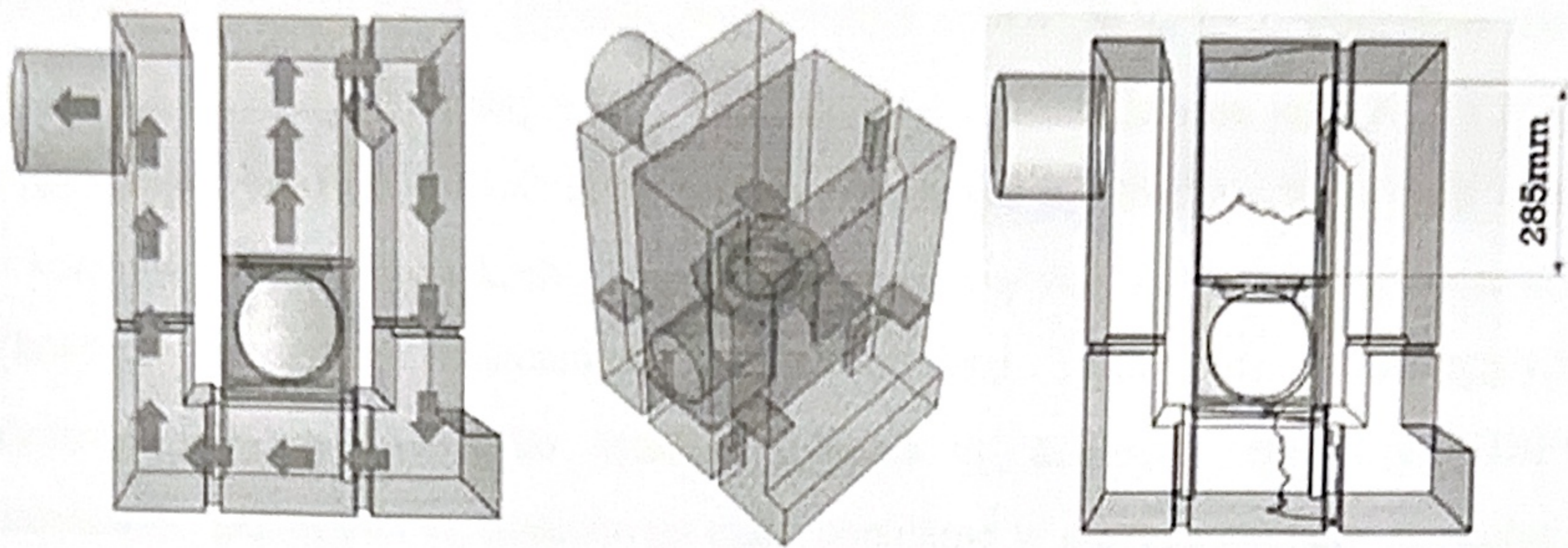
*[Handwritten signature]*



Rys. 2. Zgazowanie paliwa biomasowego w palniku retortowym: (1) – komora gazu syntezowego, (2) – piec zgazowujący, (3) – komora powietrzna, (4) – wloty powietrza zgazowującego, (5) – wloty powietrza do spalania, (6) – podajnik ślimakowy, (7) – dmuchawa powietrza, (8) – bateria oczyszczania gazu syntezowego, (9) pomiar składu gazu syntezowego – analizator gazu syntezowego GAS 3000.

Dane te posłużyły jako warunek brzegowy dla modelu palnika w cylindrycznej komorze badawczej. Przeprowadzono wielowariantowe symulacje, aby zasugerować optymalną geometrię komory. Ostatnim etapem było wykonanie prototypu kotła oraz weryfikacja założeń, w tym modelu numerycznego. W wyniku przeprowadzonych obliczeń zaproponowano budowę kotła, którego cechą charakterystyczną jest centralnie umieszczona napromieniowana komora spalania oraz obieg gorących spalin w kanałach konwekcyjnych rozmieszczonych wokół komory. Taki układ paleniska i kanałów konwekcyjnych zapewnia (co wykazano numerycznie i eksperymentalnie) spalanie quasi-adiabaticzne w stałej temperaturze. W całej objętości komory spalania (zwłaszcza w jej górnej części i pierwszej sekwencji konwekcyjnej) zapewnia efektywne wymieszanie gorących spalin z powietrzem. Skutkuje to niskimi stężeniami w spalinach: CO — 91 mg/Nm<sup>3</sup>, średnio NO<sub>x</sub> — 197 mg/Nm<sup>3</sup> i sprzyja osiągnięciu wysokiej sprawności, której średnia wartość wynosi 92%. Podane wartości odnoszą się do 10% udziału O<sub>2</sub> w spalinach. Na uwagę zasługuje niska, dopuszczalna wartość emisji NO<sub>x</sub>.





Rys. 3. Geometria modelowania kotła.

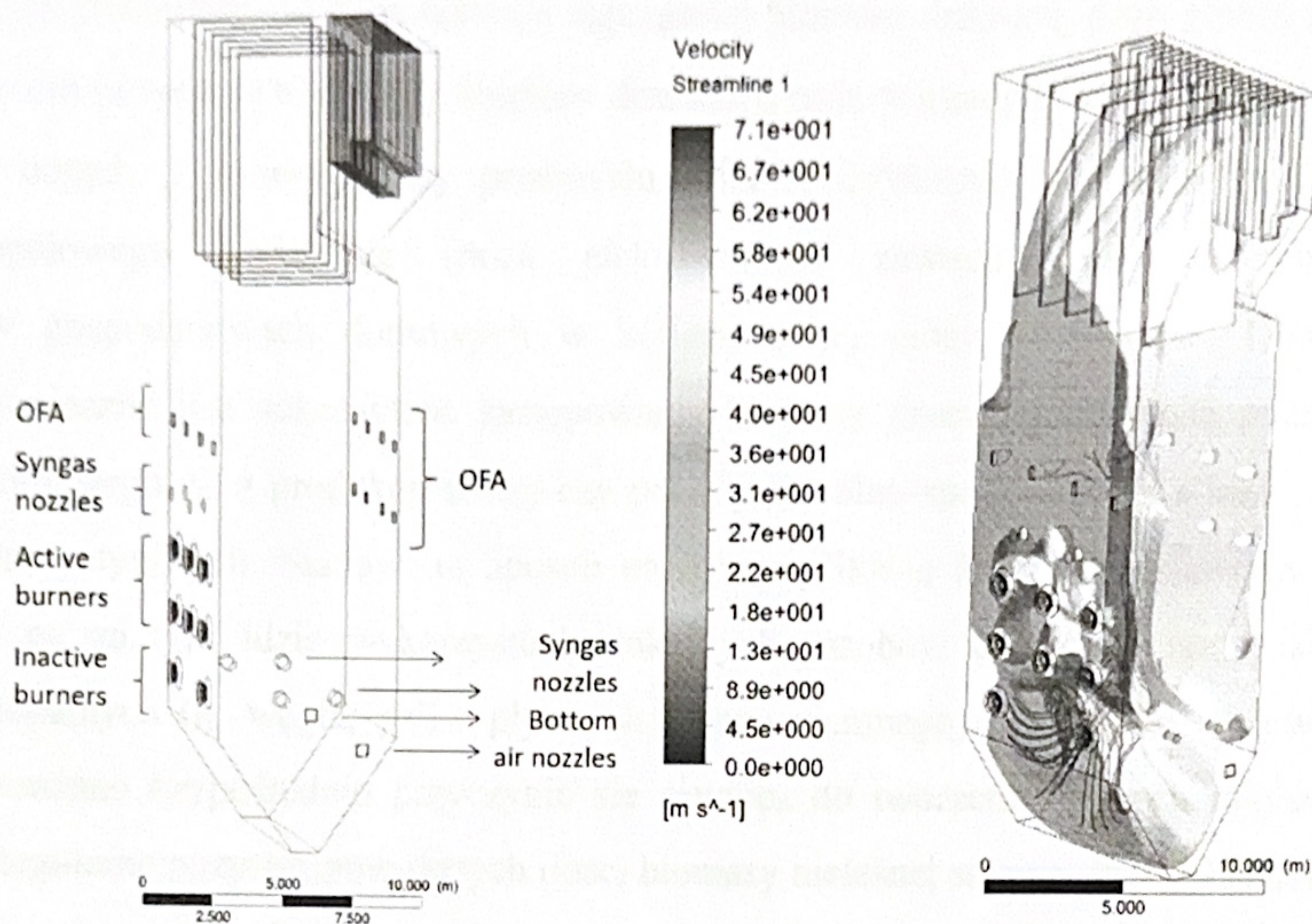
Jako, że badania realizowane były z udziałem osób z innych uczelni wyższych stanowiący zespół interdyscyplinarny, moim osiągnięciem w tym temacie było przygotowanie modelu spalania biomasy i zoptymalizowanie komory paleniskowej do zapewnienia niskoemisyjnego i wysokosprawnego procesu spalania. Wyniki opublikowano w pracy P2.

Jedną z technologii współspalania biomasy z paliwami kopalnymi, którą postrzega się jako obiecującą szczególnie w systemach rozproszonych, jest współspalanie pośrednie, tj. zgazowanie biomasy i współspalanie pozyskanego syngazu z pyłem węglowym. Podawanie syngazu do komory spalania kotła odbywa się przez tak rozmieszczone palniki gazowe, by zapewnić optymalne parametry pracy kotła wraz z ograniczeniem emisji związków  $\text{CO}_2$  i  $\text{NO}_x$ . Początki wykorzystania niskokalorycznego gazu ze zgazowania biomasy to pierwsza połowa lat osiemdziesiątych XX wieku, kiedy to zaczęto wytwarzać syngaz ze zgazowania odpadów drzewnych, w tym kory. Wyniki wdrożeń (nie do końca zadawalające), oddalające w czasie wdrożenie tej technologii w energetyce zawodowej, skłoniły do podjęcia badań współspalania syngazu o różnym składzie (wytwarzanego ze zgazowania biomasy, odpadów i paliw z odpadów) z pyłem węglowym. Zainteresowanie to wiąże się z perspektywnym zastosowaniem tej technologii do realizacji wysokosprawnego i niskoemisyjnego wytwarzania energii i ciepła z węgla, biomasy i odpadów. Doniesienia literaturowe wskazują, że przyjęty kierunek badań dotyczy w głównej mierze reburningowego współspalania z węglem: (1) syngazu o podwyższonej zawartości metanu oraz (2) gazu ziemnego, ponieważ duża zawartość węglowodorów lekkich sprzyja redukcji  $\text{NO}_x$ . Głównym celem jest więc uzyskanie niskiej emisji tlenków azotu, choć nie pomija się ograniczenia emisji  $\text{CO}_2$ .

*[Handwritten signature]*

Niskoemisyjność dotyczy również zmniejszenia emisji:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ . Podejście takie obejmuje także agrobiomasę o wysokim udziale chloru - głównie jako  $\text{KCl}$  i  $\text{NaCl}$  oraz odpady (w tym komunalne) i paliwa formowane z odpadów, w których chlor występuje w wielu związkach organicznych stwarzających problemy eksploatacyjne (korozja wysoko- i niskotemperaturowa instalacji kotłowych) i działających destrukcyjnie na środowisko naturalne (emisja do atmosfery  $\text{HCl}$  i PCDD/F). Instalacje zgazowania są stosunkowo mało popularne w energetyce, jako że cechują się stosunkowo wysokimi jednostkowymi nakładami inwestycyjnymi. Duże nadzieje wiąże się z powietrznym zgazowaniem dwuwarstwowym biomasy połączonym z aktywacją pozostałości koksowej lub półkoksowej. Aktualny problem, opóźniający komercjalizację zgazowania, to konieczność wytworzenia gazu syntezowego z dużym udziałem składników palnych, w tym głównie węglowodorów lekkich, a więc przede wszystkim metanu, ale zarazem o możliwie najmniejszej zawartości smół, PCDD/F i WWA. Spalanie takiego gazu czy też współspalanie z pyłem węglowym również nie może prowadzić do przekroczenia normatywów emisyjnych – prawnie uregulowanych. Wytwarzanie gazu z biomasy drzewnej, w zasadzie nie budzi wątpliwości co do oczekiwanych poziomów emisji gazowych produktów spalania, przy czym minimalny udział gramowy chloru w masie palnej drewna nie stanowi zagrożenia zarówno ekologicznego jak i eksploatacyjnego. Sytuacja nieco się komplikuje w przypadku zgazowywania biomasy nie drzewnej, w tym pochodzenia rolniczego, ale również w szczególności gdy zgazowuje się odpady, stałe paliwa formowane z odpadów komunalnych czy przemysłowych, a następnie spala wytworzony gaz generatorowy. Stężenia emisji produktów spalania takiego syngazu nie mogą przekraczać normowanych poziomów emisji jak ze spalania gazu ziemnego. W przypadku bezpośredniego współspalania odpadów czy paliw z odpadów, obowiązują standardy emisyjne jak dla spalarni odpadów. Technologię pośredniego współspalania biomasy/odpadów/paliw z odpadów, choć jeszcze stosunkowo mało popularną, uważa się jednak za bezpieczniejszą, efektywniejszą (sprawny odzysk energii) i bardziej przyjazną dla środowiska naturalnego niż spalanie bezpośrednie. Badania z prac P3-P4 koncentrowały się na modelowaniu numerycznym CFD współspalania gazu syntezowego (pochodzącego z biomasy) z węglem, w średniej wielkości kotle pyłowym typu OP-230 z niskoemisyjnymi palnikami na ścianie przedniej. Symulacje przeprowadzono w celu określenia możliwości modernizacji kotła w celu spełnienia przyszłych przepisów ochrony środowiska w zakresie emisji

$\text{NO}_x$ . Poprawa stopniowania powietrza poprzez technikę dual-fuel opierała się na technologii pośredniego współspalania. Badano wpływ dwóch układów dysz gazu syntezowego (pod i nad istniejącymi palnikami węglowymi), dwóch składów gazu syntezowego (głównie ze względu na ilość metanu w syngazie) na przebieg procesów cieplnych w komorze spalania. Przewidywano redukcję emisji  $\text{NO}_x$  w porównaniu z wartością bazową, gdy spalany jest wyłącznie węgiel. Największą redukcję, wynoszącą około 38%, uzyskano w przypadku dysz gazu syntezowego znajdujących się poniżej istniejących palników węglowych. Taki układ dysz zapewnia czas przebywania wystarczający do współspalania węgla z gazem syntezowym pochodzącym ze zgazowania biomasy/odpadów/paliw z odpadów. Daje to korzystniejszy bilans emisji  $\text{CO}_2$ , w wyniku pośredniego współspalania w kotle gazu syntezowego (gaz syntezowy pochodzący z paliwa odnawialnego, a więc emisja  $\text{CO}_2$  ze spalania takiego gazu w miejsce części węgla, nie sumuje się do całkowitej emisji  $\text{CO}_2$  z procesu spalania) z węglem. Do podstawowych zalet tej technologii zalicza się: (i) oddzielne magazynowanie żużli i popiołów ze zgazowania biomasy/odpadów/paliw z odpadów i współspalania gazu syntezowego z węglem; (ii) duża elastyczność w wyborze biomasy, w tym wykorzystania agrobiomasy i odpadów ulegających biodegradacji; (iii) zmniejszenie ryzyka mięknięcia (topliwości) popiołu i zanieczyszczania powierzchni wymiany ciepła kotła; oraz (iv) ograniczenie wpływu korozji wysokotemperaturowej na elementy konstrukcyjne stali kotłowej. Technika stopniowania powietrza dla układu dwupaliwowego i jej integracja z palnikami węglowymi o niskiej emisji  $\text{NO}_x$  w oparciu o technologię pośredniego współspalania to jeden z szeregu skutecznych sposobów ograniczenia poziomu emisji  $\text{NO}_x$ .



Rys. 4. Geometria modelowania kotła oraz tory cząsteczek syngazu z dolnego usytuowania dedykowanych dysz do współpalania syngazu.

W pracy P4 zawarto dodatkowo wyniki numeryczne badań przeprowadzonych w celu porównania współpalania węgla kamiennego z gazem ziemnym w kotle OP230. Wykazano, że współpalanie węgla z paliwem o dużej zawartości metanu może skutkować redukcją emisji NO<sub>x</sub> o około 40% w porównaniu ze spalaniem węgla. Uzyskane wyniki stanowią punkt odniesienia do porównawczych badań pośredniego współpalania węgla z gazem syntezowym pochodzącym z biomasy drzewnej i rolniczej oraz materiałów odpadowych. Moim osiągnięciem jest zaproponowanie zmodyfikowanej metody stopniowania powietrza dla układu dwupaliwowego przy współpalaniu pośrednim węgla i syngazu ze zgazowania paliw biomasowych. W tym celu wykorzystałem model numeryczny dla symulacji dwufazowych przepływów gazu i cząsteczek pyłu węgla kamiennego.

Rozwój technologii biomasowych, szczególnie istotny w przypadku małych kotłów domowych, zmierza w kierunku ograniczenia wykorzystania biomasy pochodzenia drzewnego, na korzyść biomasy „agro”. Ograniczenia wynikają ze zmniejszającej się podaży biomasy drzewnej, co skutkuje wzrostem cen tego paliwa. Pozyskiwanie drewna może mieć niszczycielski wpływ na środowisko, a jego wzrost często nie jest możliwy w takim tempie, jak miało to miejsce dotychczas. Elektrownie

*[Handwritten signature]*

i elektrociepłownie wykorzystują najczęściej biomasę drzewną, czyli zrębki i pelety z trocin (a więc są to odpady biomasy drzewnej) oraz w mniejszym stopniu pozostałości i odpady z rolnictwa czy przemysłu rolno-spożywczego. Znaczne ilości drewna opałowego spala się (poza elektrowniami zawodowymi i komunalnymi) w gospodarstwach domowych w kotłach małej mocy 10–20 kW. Dlatego też konieczne jest sukcesywne zastępowanie biomasy drzewnej, biomasą pochodzenia rolniczego, tj. z produkcji rolnej czy przemysłu rolno-spożywczego, a także z upraw energetycznych. Stanowi to sposób na dywersyfikację źródeł i dostawców energii, a co za tym idzie wykorzystanie lokalnych zasobów energii, a nie tylko paliw kopalnych (tj. węgla, paliw płynnych i gazu ziemnego) oraz paliw jądrowych, co powinno bezpośrednio przyczynić się również do tworzenia nowych miejsc pracy. Regularne pozyskiwanie dużych ilości biomasy nieleśnej stwarza szereg różnorodnych trudności. Ponadto biomasa „agro”, o stosunkowo wysokim (w porównaniu do biomasy drzewnej) udziale azotu, chloru, siarki i pierwiastków alkalicznych (Ca, K, Na), ma negatywny wpływ na pracę kotłów energetycznych ze względu na potencjalne ryzyko żużlowania powierzchni grzewczych oraz korozji chlorowej i chlorkowej. W biomacie chlor występuje w postaci związków nieorganicznych, z których najpowszechniejszymi są NaCl i KCl. Wieloletnie doświadczenie w eksploatacji kotłów przeznaczonych dla elektrowni zawodowych i komunalnych, w których spalane są takie paliwa, wskazuje na przyspieszone zużycie stalowych elementów konstrukcyjnych takich jak ekrany, parowniki, przegrzewacze pary itp., spowodowane korozyjnym działaniem chloru i chlorowodoru. Uszkodzenia korozyjne powodowane są głównie przez chlor cząsteczkowy, będący produktem utleniania chlorowodoru zawartego w spalinach, a także przez chlorki metali alkalicznych. To lokalne uszkodzenie korozyjne nazywane jest korozją chemiczną lub korozją wysokotemperaturową chloru. Chlor i chlorowódor powodują jednak nie tylko procesy korozyjne, są prekursorami powstawania chlorowanych dibenzodioskyn i furanów, czyli związków o najwyższej toksyczności, stwarzających zagrożenie dla organizmów żywych. Kolejnym aspektem wykorzystania biomasy i badań jej wpływu na konstrukcję jednostek produkujących ciepło i prąd, były prace związane z zagadnieniami eksploatacyjnymi. Spalanie biomasy z uwagi na niskie wartości współczynnika nadmiaru powietrza, jak i skład oraz pochodzenie, mogą prowadzić do niekorzystnych zjawisk korozji, co nie jest bez znaczenia dla czasu eksploatacji wdrażanych jednostek. Dobór odpowiednich materiałów żaroodpornych, jednocześnie

odpornych na działanie atmosfer bogatych w chlor i jego związki, jest jednym z najważniejszych aktualnych problemów konstrukcyjnych stalowych elementów kotłów przy stosowaniu paliw z biomasy pochodzenia rolniczego. W prezentowanych badaniach w pracy P5 zidentyfikowano obszar w palenisku kotła o mocy 10 kW, w którym występowało potencjalne zagrożenie korozją chlorową. Strefę tę wyznaczono na podstawie numerycznej analizy procesu spalania. Jest to strefa o najwyższych temperaturach i atmosferze gazowej sprzyjającej powstawaniu chlorowych ognisk korozji. Następnie przeprowadzono badania w środowisku procesowym komory spalania kotła o mocy 10 kW (z wcześniejszych prac badawczych). Paliwem była słoma jęczmienna - poprzez umieszczenie próbek ośmiu materiałów konstrukcyjnych w wyznaczonej numerycznie strefie. Próbki pozostawały w atmosferze paleniska kotła przez 1152h w temperaturze 750–900 °C. Po tym czasie powierzchnie próbek poddano mikroskopii SEM i analizie skaningowej. Wyniki wykazały, że stal kotłowa St41K nie nadawała się do pracy w założonych warunkach, a na jej powierzchni widoczna była gruba warstwa złożonych produktów korozji. Najmniej uszkodzeń korozyjnych stwierdzono w przypadku próbek ze stali 50H21G9N4 oraz materiałów intermetalicznych. Zarekomendowano wytyczne do stosowania materiałów konstrukcyjnych w sytuacjach wysokiego ryzyka wystąpienia korozji chlorowej. Materiały międzymetaliczne na bazie faz FeAl i Fe<sub>3</sub>Al oraz na fazach NiAl i Ni<sub>3</sub>Al charakteryzują się odpornością korozyjną w warunkach pracy domowego kotła na biomasę rolniczą. Wyniki tych badań mogą z powodzeniem zostać wykorzystane przez producentów kotłów przy doborze odpowiednich materiałów konstrukcyjnych dla kotłów przeznaczonych do spalania paliw z agro-biomasy. Mój udział polegał na propozycji badań, modelowaniu numerycznym w celu identyfikacji miejsc usytuowania próbek badawczych, doborze próbek materiałów do badań i analizie wyników.

W toku dalszych prac od roku 2021 zajmowałem się problematyką emisji metali ciężkich, których głównym źródłem są przemysł, w tym energetyka zawodowa i komunalna, ale także spalarnie odpadów. Zainteresowanie tematyką wynikało bezpośrednio z obserwacji rynku energii, który w coraz większym stopniu cechują niedobory paliw i stale rosnące ich ceny, co budzi obawy, że energia z odpadów będzie powszechnie pozyskiwana poza instalacjami do tego przeznaczonymi (tj. poza spalarniami i odpadów). Największe obawy budzi ryzyko spalania odpadów w kotłach



małej mocy – domowych. Spalarnie odpadów i elektrownie zawodowe są wyposażone w instalacje oczyszczania spalin, natomiast kotły małej mocy nie. Spaliny wyprowadzane są bezpośrednio do atmosfery, co powoduje wprowadzenie do powietrza m.in. toksycznych metali ciężkich. Przeprowadzone badania laboratoryjne polegały na ocenie zdolności emisyjnych Cd, Cu, Zn związanych w różnych formach chemicznych pod postacią azotanów, chlorków i siarczanów, a także na opracowaniu metody ograniczenia ich emisji poprzez zastosowanie immobilizujących dodatków. Jest to nowatorskie podejście do problemu, ponieważ nie ma doniesień o eksperymentach z czystymi formami soli metali. Zaletą tego typu badań jest brak wpływu innych czynników poza temperaturą na emisje metali. Badania przeprowadzono w temperaturach 1073 K, 1173 K i 1273 K. Stwierdzono, że emisyjność metali wzrasta wraz ze wzrostem temperatury. Aby sprawdzić możliwość redukcji emisji metali, przetestowano dodatki, takie jak: boksyt, dolomit,  $V_2O_5$ , immobilizowane w stałej pozostałości. Mechanizm działania każdego z dodatków ograniczających ruchliwość metali był inny. Wykorzystanie do tego celu  $V_2O_5$  jest nowością. Dodatki immobilizowały metale w stałej w pozostałości popiołowej, ale ich działanie było różne w odniesieniu do każdego dodatku i każdego z metali. Skuteczność badanych dodatków sprawdzono w tych samych warunkach temperaturowych, spalając odpady takie jak: guma, osady ściekowe oraz paliwo SRF z odpadów. Wpływ dodatków zależał od rodzaju odpadów, rodzaju metalu oraz temperatury pieca. Jeżeli dodatek skutecznie zatrzymywał metale, to ich ilości w popiołach były większe od kilku do kilkudziesięciu procent w stosunku do ilości w popiołach pozostających po spaleniu odpadów bez dodatków. Wyniki eksperymentu z odpadami otwierają pole do badań nad wpływem innych czynników (poza temperaturą) na emisyjność Cd, Cu, Zn i możliwości jej zmniejszenia. Efekt prac został opublikowany w pracy P6. W tym temacie byłem współautorem koncepcji prac badawczych, brałem udział w przygotowaniu materiałów badawczych, współpracowałem w badaniach eksperymentalnych oraz przy analizie wyników.

#### 4.2.1 Omówienie ewentualnego wykorzystania uzyskanych wyników

Modele numeryczne do symulacji procesów spalania drewna w instalacjach typu kominek zostały wdrożone na stanowisku badawczym w centrum B+R firmy Kratki.

Trzyetapowy model spalania złoża pelletu drzewnego został wykorzystany w pracach nad projektem nowego palnika dla zastosowań w domowych instalacjach kotłowych.

Wyniki prac nad materiałami o podwyższonej odporności na czynniki korozyjne stanowią rekomendację dla wytwórców instalacji grzewczych, zwłaszcza w procesie projektowania nowych jednostek.

Zaproponowana metoda stopniowania powietrza w układach dwupaliwowych dla modernizowanych kotłów pyłowych klasy OP może stanowić przyczynek do podjęcia eksperymentalnych prac nad takimi technologiami.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

- Współpraca z naukowcami z Politechniki Białostockiej i Politechniki Śląskiej w ramach prowadzenia badań, których bezpośrednim efektem były wspólne publikacje naukowe.
- Współpraca z zespołem badawczym na Politechnice Białostockiej w ramach projektu celowego pt. „Budowa minigeneratora energii elektrycznej uwzględniająca przepływ czynnika roboczego jako środowiska pracy”. Dane projektu w załączniku 4.
- Staż w Universidad de Cantabria, Faculty of Industrial and Telecommunications Engineering w Santander, Hiszpania. Okres pobytu 06.05.2018 – 20.05.2018 – Dane projektu w załączniku 4.
- Współpraca z zespołem badawczym realizującym projekt budowy sprzęgła wiskotycznego w ramach konsorcjum polsko-tajwańskiego, grant pt. „Innovative application of smart fluid in industrial robot gripper”. Dane projektu w załączniku 4.
- Praca w Pracowni Ogniw Paliwowych Instytutu Energetyki w Warszawie w ramach strategicznego grantu badawczego NCBiR pt. „Opracowanie Zintegrowanych Technologii Wytwarzania Paliw i Energii z Biomasy, Odpadów Rolniczych i Innych”. Okres pracy 1.11.2011 - 30.04.2012.





6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

#### 6.1 Osiągnięcia dydaktyczne

Opracowanie materiałów do prowadzenia przedmiotów w języku angielskim dla kierunku studiów Mechanika i Budowa Maszyn I stopnia:

- Numerical modelling of heat-flow processes
- Numerical modeling of fluid - structure interaction
- Fluid mechanics

Opracowanie materiałów do prowadzenia przedmiotów w języku polskim dla kierunku Mechanika i Budowa Maszyn I stopnia:

- Mechanika płynów
- Programowanie obiektowe
- Programowanie i metody numeryczne
- Grafika komputerowa
- Systemy graficzne CAD
- Technologie informacyjne

Opracowanie materiałów do prowadzenia przedmiotów w języku polskim dla kierunku Mechanika i Budowa Maszyn II stopnia:

- Metody komputerowe mechaniki
- Komputerowa mechanika płynów
- Technologie internetowe

Opracowanie materiałów do prowadzenia przedmiotów w języku polskim dla kierunku Inżynieria Odnawialnych Źródeł Energii I stopnia:

- Ogniwa paliwowe
- Biopaliwa

## 6.2 Osiągnięcia organizacyjne

Przygotowanie od strony organizacyjnej dyscypliny Inżynieria mechaniczna do ewaluacji jakości działalności naukowej za lata 2017-2021. Wynikiem ewaluacji było uzyskanie kat. B+.

Członek komisji kierunkowej dla kierunku Mechanika i Budowa Maszyn I stopnia.

Członek komisji kierunkowej dla kierunku Inżynieria Odnawialnych Źródeł Energii (kierunek aktualnie zamknięty).

## 6.3 Osiągnięcia popularyzujące naukę

Współpraca przy organizacji Radomskiego Dnia Inżyniera (2023). Organizatorami są: Uniwersytet Radom, Miasto Radom, Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych Naczelnej Organizacji Technicznej (FSNT-NOT) w Radomiu, Platforma Przemysłu Przyszłości.

## 6.4 Nagrody

- Nagroda naukowa II stopnia J.M. Rektora UTH Radom za osiągnięcia naukowe w roku 2021
- Nagroda naukowa III stopnia J.M. Rektora UTH Radom za osiągnięcia naukowe w roku 2015
- Nagroda II stopnia J.M. Rektora Politechniki Radomskiej za osiągnięcia organizacyjne w roku akademickim 2008/2009

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

W roku 2011 bezpośrednio po doktoracie rozpocząłem współpracę z Instytutem Energetyki w Warszawie otrzymując zatrudnienie w Pracowni Ogniw Paliwowych w ramach strategicznego grantu badawczego NCBiR pt. „Opracowanie Zintegrowanych Technologii Wytwarzania Paliw i Energii z Biomasy, Odpadów

Rolniczych i Innych". W ramach projektu odpowiedzialny byłem za przygotowanie analiz numerycznych do palnika gazowego spalającego gaz odpadowy ze stosu ogniw paliwowych typu SOFC. Zajmowałem się modelowaniem palnika wykorzystującego jako komorę paleniskową ośrodek porowaty z węgliku krzemu SiC. Półroczne zatrudnienie i zdobycie doświadczeń naukowych zaowocowało podjęciem kolejnych wyzwań naukowych w temacie energetycznego wykorzystania biomasy z sektorem przedsiębiorstw branży energetycznej i mechanicznej.

W roku 2011 uczestniczyłem w projekcie celowym na Politechnice Białostockiej pt. „Budowa minigeneratora energii elektrycznej uwzględniająca przepływ czynnika roboczego jako środowiska pracy”, w którym odpowiedzialny byłem za modelowanie numeryczne mikro-turbiny wodnej, przeznaczonej do zastosowania w generatorze prądu. Efekty prac zostały wdrożone, a Minigenerator otrzymał wyróżnienie na Targach Techniki Przemysłowej, Nauki i Innowacji TECHNICON-INNOWACJE 2013 oraz Grand Prix dla Politechniki Białostockiej za manipulator do bezwykopowego serwisowania elementów infrastruktury sieci wodno-kanalizacyjnych w konkursie na 11 Targach Techniki Przemysłowej, Nauki i Innowacji TECHNICON INNOWACJE 2015 w Gdańsku.

W kolejnych latach nawiązałem współpracę z firmą Kratki.pl będącą liderem w branży wytwórców urządzeń grzewczych dla zastosowań konsumenckich małej mocy i aplikując w roku 2013 w ramach kluczowego zespołu badawczego w konkursie NCBiR w latach 2014-2015 rozpocząłem współpracę w ramach grantu pt. „Prace badawcze nad zastosowaniem innowacyjnego materiału wysokoglinowego z grupy HA 45 w urządzeniach grzewczych, służących zwiększeniu konkurencyjności firmy KRATKI.PL na rynku międzynarodowym”. Moje zaangażowanie ukierunkowane było na zaprojektowanie prac badawczych nad nowym materiałem ogniotrwałym na bazie szamotu o podwyższonych własnościach akumulacji ciepła w porównaniu do dostępnych materiałów na rynku. Prowadzone badania dotyczyły prac nad mieszanką takich materiałów jak: korund, zmielony biskwit, andaluzyt oraz szamot. Dodatkowo celem poprawy właściwości nowego materiału, mieszanki wzbogacano o tlenki: sodu, wapnia, żelaza, krzemu i glinu. W efekcie prac opracowano materiał z przeznaczeniem do zastosowania w konstrukcjach grzewczych typu wkłady kominkowe, piece – kotły. Drugim obszarem mojej działalności



w grantie było modelowanie numeryczne procesów spalania drewna we wkładach kominkowych i w oparciu o model numeryczny zaproponowanie konstrukcji wkładu kominkowego wykorzystującego zaprojektowany materiał ogniotrwały. Moim osiągnięciem w grantie było zaproponowanie modelu numerycznego procesów spalania czego bezpośrednim efektem było wdrożeniem nowej konstrukcji wkładu kominkowego z materiałem ogniotrwałym wykorzystanym na wkładki akumulacyjne pod zastrzeżoną patentem nazwą kodową OXITEC na rynek.

W roku 2017 aplikowałem ponownie z firmą Kratki.pl o grant badawczy na autorski pomysł wykorzystania ośrodka porowatego z powłoką katalityczną do filtrowania spalin wkładów kominkowych ze związków CO. W otrzymanym grantie pt. „Prace badawcze nad zastosowaniem ceramicznego filtra piankowego w urządzeniach grzewczych, służących zwiększeniu konkurencyjności firmy na rynku międzynarodowym”, którego realizacja miała miejsce w latach 2017-2019 odpowiedzialny byłem za symulacje numeryczne procesów spalania we wkładach kominkowych z zastosowanym filtrem o strukturze porowatej. Istotą prac było opracowanie filtra zapewniającego redukcję emisji tlenku węgla we wczesnej fazie spalania drewna poprzez zastosowanie powłoki katalitycznej, a struktura porowata miała tym samym zapewnić wymieszanie strumienia gazów wylotowych, turbulizując ich przepływ. Projekt zakończył się wdrożeniem filtra do produkcji w nowej konstrukcji wkładu kominkowego. Efekty prac zostały zaprezentowane podczas konferencji:

- 7th International Conference, Renewable Energy Sources, 26-28 September 2022, Krynica, Poland, Referat: Motyl P., Bukalska J., Kalbarczyk R., Application of the Ceramic Foam Filter in Solid Fuel Fireplace Inserts
- 27th European Biomass Conference and Exhibition, 27 May 2019 - 30 May 2019, Location: Lisbon, Portugal, Referat: Bukalska J., Piechnik B., Kalbarczyk R., Motyl P., Investigation of the Applicability of a Catalyst In Fireplace Inserts for Solid Fuel

W roku 2018 wziąłem udział w pracach związanych z wykorzystaniem cieczy elektroteologicznych w budowie sprzęgieł wiskotycznych w ramach konsorcjum polsko-tajwańskiego podczas realizacji grantu badawczego pt. „Innovative application



of smart fluid in industrial robot gripper”. Grant był realizowany na Wydziale Mechanicznym UTH w Radomiu. Odpowiedzialny byłem za przygotowanie modelu numerycznego sprzęgła wiskotycznego, a efekty pracy zostały opublikowane w pracy:

- Olszak Artur, Osowski Karol Łukasz, Motyl Przemysław Bruno, Mędrak Grzegorz, Zwolak Jan, Kęsy Andrzej, Kęsy Zbigniew, Choi Seung-Bok: Selection of materials used in viscous clutch with er fluid working in special conditions, Frontiers in Materials, vol. 6, 2019, DOI:10.3389/fmats.2019.00139, 70 points IF=2.705

W latach 2021-2022 roku udział w opracowaniu metody wyznaczania współczynnika przewodności cieplnej  $\lambda$  w warstwie farby odbijającej ciepło o grubości 200  $\mu\text{m}$ , wypełnionej nanosferami polimerowymi o całkowitym współczynniku odbicia światła słonecznego (TSR) wynoszącym 86,95%. W tym celu zbudowano stanowisko badawcze typu „hot box” (w kształcie sześciangu) do przeprowadzenia badań eksperymentalnych pomiaru rozkładu temperatury na powierzchni dwuwarstwowej ściany zawierającej badany materiał. Wraz z badaniami eksperymentalnymi przygotowano model numeryczny CFD, aby zrozumieć naturę przepływu i wymiany ciepła wewnątrz sześciangu – komory testowej. Efekty prac przedstawiono w pracy:

- Król Danuta, Motyl Przemysław Bruno, Piotrowska-Woroniak Joanna, Patej Mirosław, Poskrobko Sławomir: Heat Reflective Thin-Film Polymer Insulation with Polymer Nanospheres—Determination of Thermal Conductivity Coefficient, Energies, MDPI, vol. 15, no. 17, 2022, Article number: 6286, DOI:10.3390/en15176286, 140 points IF=3.252

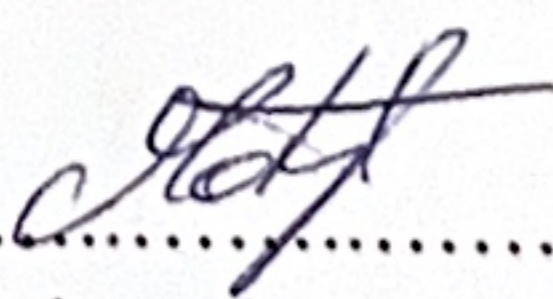
Mój wkład polegał na wykonaniu kompletnych obliczeń numerycznych CFD, analizie wyników. Nowością było wykorzystanie modelu numerycznego do budowy zmodyfikowanego stanowiska badawczego typu „hot-box”.

W latach 2019-2023 odbyłem serię szkoleń z zakresu CFD i programowania otrzymując stosowne certyfikaty potwierdzające umiejętności:



- Certyfikat MLAP - Tworzenie interaktywnych aplikacji - (Oprogramowanie Naukowo-Techniczne) 2023, Umiejętności: Programowanie
- Certyfikat SLPM\_S Modelowanie wielodomenowych systemów fizycznych - SimScape (Oprogramowanie Naukowo-Techniczne) 2023
- Certyfikat Creative Skills for Innovation (Instytucja wydająca certyfikat Projektanci Innowacji PFR) 2019
- Certyfikat nabycia kompetencji oraz uczestnictwa w kursie Analizy FSI (Instytucja wydająca certyfikat MESco Sp. z o.o.) 2019
- Certyfikat nabycia kompetencji oraz uczestnictwa w kursie Analizy termiczne (Instytucja wydająca certyfikat MESco Sp. z o.o.) 2019
- Certyfikat nabycia kompetencji oraz uczestnictwa w kursie Optymalizacja (parametryzacja, DesignXplorer, Adjoint Solver) (Instytucja wydająca certyfikat MESco Sp. z o.o.) 2019
- Certyfikat nabycia kompetencji oraz uczestnictwa w kursie Podstawy analiz CFD w Ansys Fluent (Instytucja wydająca certyfikat MESco Sp. z o.o.) 2019
- Certyfikat nabycia kompetencji oraz uczestnictwa w kursie Przepływy dwufazowe, ciecze nienewtonowskie (Instytucja wydająca certyfikat MESco Sp. z o.o.) 2019

Okres mojej pracy zawodowej od 2011 roku, tj. od obrony rozprawy doktorskiej, rozpoczął się od zdobycia doświadczeń w Instytucie Energetyki – wiodącego instytutu badawczego w zakresie zagadnień energetycznych w Polsce. Późniejszy okres zaowocował współpracą z naukowcami kilku polskich politechnik, firmami branży energetycznej. Znakomitą większość mojej aktywności jako badacza poświęciłem na pracę w zespołach badawczych, zarówno akademickich, jak i z sektorem gospodarczym inicjując tematykę badawczą, jak i realizując zadania wynikające z zaplanowanych badań.

  
.....  
(podpis wnioskodawcy)