

Autoreferat

dr inż. Paweł Komada

**Instytut Elektroniki i Technik Informatycznych
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Politechnika Lubelska**

I. Imię i nazwisko

Paweł Komada

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

1999 r. – magister inżynier, kierunek: Elektrotechnika, specjalność: Przetwarzanie i użytkowanie energii elektrycznej, Wydział Elektryczny, Politechnika Lubelska

tytuł pracy: Zastosowanie transmisji solitonowej w sieciach światłowodowych

promotor: dr inż. Jacek K. Zientkiewicz

1999 r. – studia podyplomowe „Telekomunikacja światłowodowa”, Wydział Elektryczny, Politechnika Lubelska

tytuł pracy: Porównanie własności optycznych WDM i optycznego CDMA w zastosowaniu do sieci telekomunikacyjnych

2007 r. – doktor nauk technicznych, dyscyplina: Elektrotechnika, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Politechnika Lubelska

tytuł rozprawy: Optoelektroniczna metoda detekcji tlenku węgla w mieszaninie gazów

promotor: dr hab. inż. Waldemar Wójcik, prof. PL

recenzenci: prof. dr hab. inż. Zdzisław Jankiewicz

prof. dr hab. inż. Viktor Lozbin

III. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

1999–2007 r. – Politechnika Lubelska, Wydział Elektryczny (od 2003 r. Wydział Elektrotechniki i Informatyki), Katedra Elektroniki, asystent

od 2007 r. – Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Elektroniki (od 2012 r. Instytut Elektroniki i Technik Informatycznych), adiunkt, zastępca dyrektora instytutu ds. ogólnych

IV. 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)

A) Tytuł osiągnięcia naukowego

Analiza procesu termicznej przeróbki biomasy

B) Dane publikacji stanowiącej podstawę postępowania habilitacyjnego

Paweł Komada: Analiza procesu termicznej przeróbki biomasy. Monografie, nr 154, Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk – Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Warszawa 2019, ISBN 978-83-63714-53-6

recenzenci wydawniczy: prof. dr hab. inż. Tomasz Winnicki

prof. dr hab. Lucjan Pawłowski

C) Omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Wskazane osiągnięcie naukowe dotyczy wykorzystania metod optycznych w analizie procesu termicznej przeróbki biomasy – współpalaniem jej z węglem kamiennym oraz zgazowaniem. Zagadnienie to wpisuje się w dyscyplinę „Inżynieria środowiska” ponieważ dotyczy energetycznego wykorzystania biomasy, które poprzez zastępowanie wykorzystania paliw konwencjonalnych przyczynia się do ograniczenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery oraz degradacji środowiska w wyniku zmniejszenia wydobycia paliw kopalnych. Pozyskiwanie energii w wyniku termicznego przetwarzania biomasy pozwala ponadto na zagospodarowanie odpadów i ograniczenie ich negatywnego oddziaływania na środowisko podczas składowania. Optyczne pomiary parametrów procesu termicznej przeróbki biomasy umożliwiają uzyskanie dodatkowych sygnałów, które mogą być wykorzystane w zaawansowanych układach sterowania, co sprzyja lepszemu wykorzystaniu biomasy oraz ograniczeniu wpływu niekorzystnych zjawisk towarzyszących temu procesowi.

Celami naukowymi zaprezentowanego osiągnięcia są:

- wykorzystanie sygnału intensywności płomienia do analizy procesu spalania/współspalania,
- analiza sygnału zmian intensywności płomienia i wyznaczenie jego parametrów wrażliwych na zmianę warunków pracy palnika,
- analiza wpływu widm absorpcyjnych dominujących składników mieszaniny gazów oraz temperatury na dokładność wyznaczania zawartości danego gazu z wykorzystaniem zaproponowanej metody spektroskopii absorpcyjnej.

Prowadzone badania służą opracowaniu metod wyznaczania sygnałów charakteryzujących proces przeróbki biomasy na cele energetyczne, które mogą

być wykorzystywane w diagnostyce tego procesu oraz jako dodatkowe sygnały w zaawansowanych układach sterowania.

Wykorzystanie biomasy do wytwarzania energii jest znane i realizowane od dawna, jednak wciąż poszukiwane są metody pozwalające na optymalizację tego procesu oraz minimalizowanie ewentualnych negatywnych jego skutków. Zagadnienie to jest szczególnie istotne przy termicznej przeróbce biomasy realizowanej w instalacjach przemysłowych, i to zarówno jako współspalanie bezpośrednie, jak też współspalanie produktów gazowych będących efektem zgazowania biopaliwa.

Zagadnienia poruszane w monografii są naturalnym rozwinięciem prac, w których brałem udział od początku pracy na Politechnice Lubelskiej. Rozpoczynając w 1999 r. pracę w Katedrze Elektroniki (obecnie Instytut Elektroniki i Technik Informacyjnych) Politechniki Lubelskiej dołączyłem do zespołu, w którym prowadzono badania nad monitorowaniem procesu spalania pyłu węglowego w kotłach energetycznych. Realizowane badania skoncentrowane były na diagnostykę procesu w związku z wprowadzaniem w kotłach energetycznych rozwiązań zmierzających do ograniczenia emisji do atmosfery tlenków azotów, czyli wprowadzenia tak zwanych niskoemisyjnych technik spalania. Zagadnienia te były realizowane między innymi w ramach projektów:

- *Światłowodowe urządzenie do monitorowania działania palników mazutowych kotłów OP-650 i AP-1650 – uruchomienie produkcji nowej generacji układu; 2000–2001; grant KBN; nr umowy 2678/CT/10-8/2000; moja rola – wykonawca.*
- *Diagnostyka procesu spalania pyłu węglowego z wykorzystaniem metod optycznych; 2005–2008; grant MNiI; nr umowy 1520/T10/2005/29; moja rola – wykonawca.*
- *Światłowodowy system monitorująco-diagnostyczny procesu spalania w warunkach przemysłowych paliwa gazowego, mazutu i pyłu węglowego; 2007–2010; grant MNiI; nr umowy 009/R/T0/2007/IT1; moja rola – wykonawca.*
- *System sterowania procesem spalania w kotle energetycznym; 2008–2010; grant MNiSW; nr umowy 3110/B/T02/2008/35; moja rola – wykonawca.*

W ramach realizacji tych projektów miałem duży udział w rozwoju urządzenia światłowodowego pozwalającego na monitoring płomienia oraz opracowaniu metod diagnostycznych procesu spalania. Dostępne na rynku rozwiązania urządzeń pozwalających na obserwację płomienia służą jedynie jako tak zwane skanery płomienia. Ich zadaniem jest jedynie wykrywanie, czy płomień jest, czy go nie ma. Zaproponowane rozwiązanie wykorzystuje sygnał intensywności płomienia do pozyskiwania informacji o procesie spalania – jest ono rozwiązaniem oryginalnym, tak samo jak cała konstrukcja urządzenia do monitorowania płomienia. Zbudowane urządzenie umożliwia nie tylko stwierdzenie obecności (bądź nie) płomienia, ale również dostarcza sygnałów, które niosą informacje o innych parametrach procesu spalania. Finalna wersja urządzenia nazwana System monitorowania płomienia FMS 01 składa się z sondy światłowodowej, której konstrukcja pozwala na jej montaż w ścianie kotła energetycznego tak, by możliwe było obserwowanie

monitorowanego płomienia. Optyczny sygnał intensywności płomienia transmitowany jest następnie do bloku optoelektronicznego, który jest umieszczony w dogodnym miejscu – w miejscu zapewniającym mu odpowiednie warunki pracy. Tam jest konwertowany na postać elektryczną i poddawany przetwarzaniu, a także możliwa jest jego rejestracja i/lub transmisja na przykład do sterowni bloku energetycznego. System FMS 01 uzyskał certyfikat Urzędu Dozoru Technicznego potwierdzający zgodność systemu z normami: PN-EN 61000-6-1:2004, PN-EN 61000-6-2:2005, PN-EN 61000-6-3:2004, PN-EN 61000-6-4:2004, PN-EN 12952-9:2003 (U), PN-EN 230: 2005. Jestem współautorem tego systemu, brałem udział w jego budowie, badaniach na obiektach przemysłowych i stanowisku półprzemysłowe, dokonywaniu zmian konstrukcyjnych w wersjach rozwojowych, przygotowaniu dokumentacji technicznej oraz w procedurze uzyskiwania certyfikatu. Opis systemu wraz z przykładami zarejestrowanych sygnałów intensywności płomienia oraz wynikami ich analizy został zawarty w rozdziale 5. monografii *Analiza procesu termicznej przeróbki biomasy* mojego autorstwa.

Drugi kierunek moich prac, związany był z poszukiwaniem metod umożliwiających pomiary stężenia gazów w mieszaninie, która występuje w niewielkiej odległości od ekranów kotła. Badania były realizowane w ramach projektu *Optoelektroniczne metody pomiarów koncentracji gazów w warstwie przyściennej kotłów energetycznych*; 2002–2004; grant KBN; nr umowy 1099/T10/2002/22, w którym byłem wykonawcą. Badania prowadzone w tym zakresie stały się podstawą do mojej rozprawy doktorskiej pt. *Optoelektroniczna metoda detekcji tlenu węgla w mieszaninie gazów*, która zakończyła się nadaniem mi stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie Elektrotechnika w 2007 roku.

W związku z pojawieniem się zagadnień współspalania biomasy w kotłach energetycznych realizowane przeze mnie badania skoncentrowały się na wykorzystaniu metod optycznych do analizy tego procesu. Współspalanie biomasy z pyłem węglowym jest sposobem na znaczne zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym jej wytwarzaniu. Jak pokazują doniesienia literaturowe, wprowadzenie biomasy do kotłów energetycznych tą samą drogą jaką wprowadzany jest węgiel kamienny, jest możliwe do realizacji i wymaga stosunkowo niewielkich nakładów inwestycyjnych. Rozwiązanie to nie jest jednak bez wpływu na prowadzony proces spalania oraz parametry kotła energetycznego. Z tego powodu poszukiwane są możliwości śledzenia takich procesów i takiego nimi sterowania by minimalizować niekorzystne zjawiska towarzyszące współspalaniu biomasy. Przy spalaniu/współspalaniu bardzo istotny jest czas uzyskiwania informacji o stanie procesu – zwłaszcza w warunkach przemysłowych. Stąd zainteresowanie wykorzystaniem sygnału intensywności świecenia płomienia, który pochodzi bezpośrednio z komory spalania, a więc niesie informacje minimalnie opóźnione.

Prace badawcze wykonywałem w ramach następujących projektów:

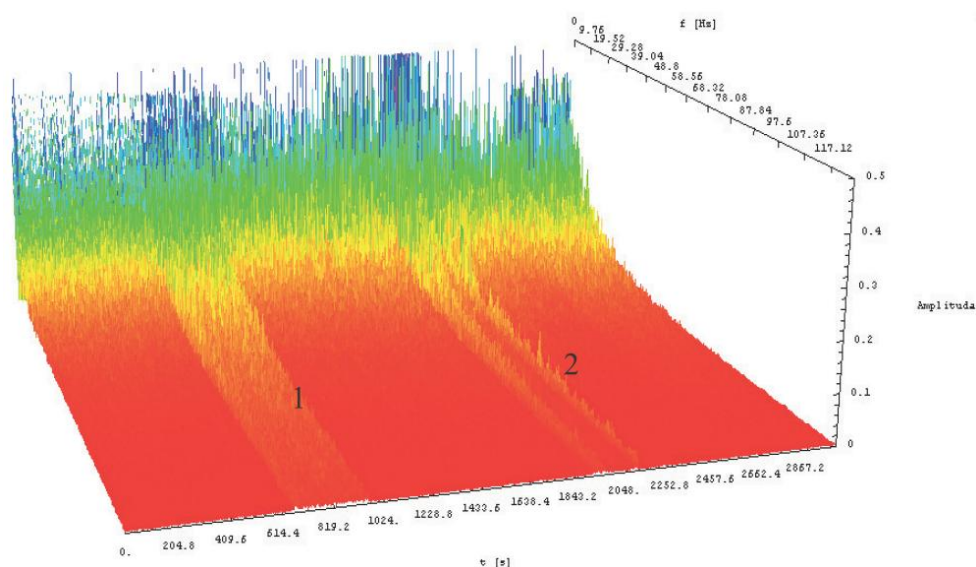
- *Charakteryzacja zapłonu i przebieg spalania mieszanek węgla/paliwo wtórne poprzez pomiary w płomieniu turbulentnym w pomniejszonej skali (0,5MWTh)*

- w ramach projektu BioFlam; 2002; 5. Program Ramowy Unii Europejskiej; moja rola – wykonawca.
- *Wykonanie badań płomienia światłowodową sondą optyczną podczas współspalania biomasy w EC Stalowa Wola* – w ramach projektu PowerFlam2; 2004; 5. Program Ramowy Unii Europejskiej; moja rola – wykonawca.
- *Inteligentne sterowanie i optymalizacja elektrownianych kotłów opalanych pyłem węglowym i mieszanką węgla z biomasą* – w ramach projektu SMARTBURN; 2008; moja rola – wykonawca.
- *Diagnostyka i sterowanie procesem współspalania biomasy i węgla oraz biogazu z wybranymi gazami*; 2011–2013; grant MNiSW; nr 3249/B/T02/2011/40; moja rola – wykonawca.

Tematykę tę rozwijałem również w ramach badań statutowych jednostki: Optoelektroniczne systemy kontrolno-pomiarowe oraz Czujniki optoelektroniczne i układy diagnostyki oraz sterowania.

W pracy *Analiza procesu termicznej przeróbki biomasy* skupiłem się na przedstawieniu przykładowych wyników przeprowadzanych analiz sygnałów intensywności płomienia zarejestrowanych podczas pomiarów wykonywanych w ramach realizowanych projektów. Sygnały te rejestrowane były w różnych warunkach pracy palnika. Ponieważ większość rejestracji przeprowadzano w warunkach przemysłowych to niemożliwe było zadawanie warunków, które mogłyby spowodować wystąpienie krytycznych sytuacji, na przykład zrywanie płomienia. W miarę możliwości wymuszane jednak były sytuacje zbliżone do nich – na przykład zanik płomienia podczas rozruchu kotła.

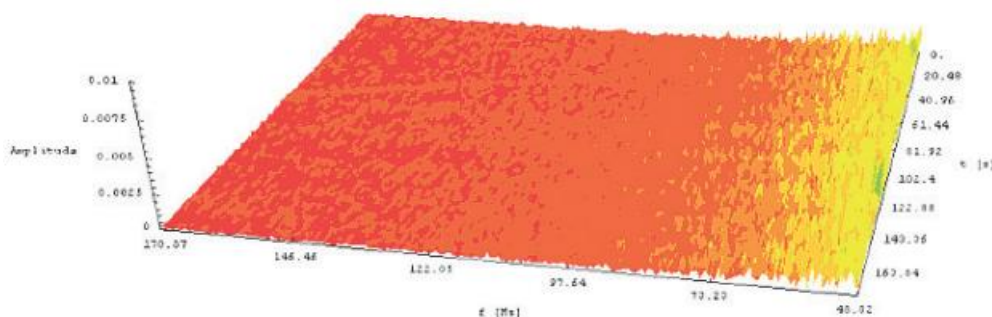
Zarejestrowane szeregi czasowe poddawałem analizie z wykorzystaniem transformaty Fouriera oraz falkowej. Przykład takiej analizy (dyskretnej transformaty Fouriera) został zaprezentowany w monografii na rys. 5.6 (tutaj – rys. 1).



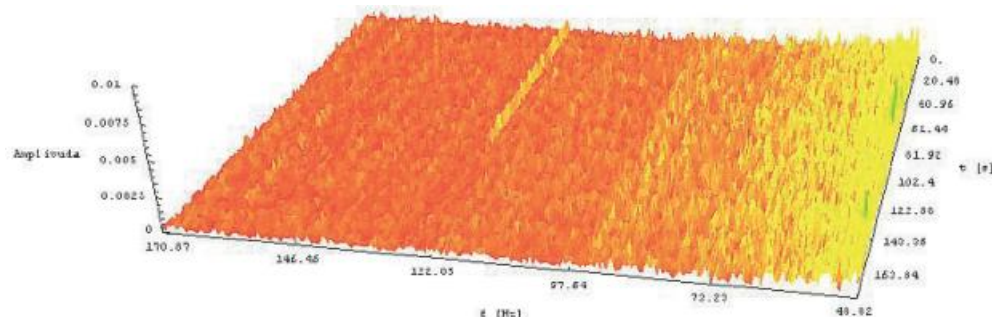
Rys. 1 (rys. 5.6). Analiza Fouriera sygnału zarejestrowanego podczas pracy palnika węglowego i chwilowej pracy palnika mazutowego (1 i 2 – załączenie palnika mazutowego)

Analiza spektralna dla częstotliwości wyższych od 20 Hz pozwala rozróżnić rodzaj spalanego paliwa. Spalanie samego węgla charakteryzuje się bowiem tym, że widmo sygnału zawarte jest między częstotliwościami bliskimi zeru i około 40 Hz. Załączenie palnika mazutowego (paliwo ciekłe) powoduje pojawienie się składowych o większych amplitudach dla częstotliwości powyżej 20 Hz i sięgających nawet 120 Hz.

Podobne analizy przeprowadzałem dla rejestracji sygnału intensywności płomienia przy współspalaniu mieszanki pyłu węglowego i biomasy stałej podawanej wraz z węglem. Udział biomasy w tych próbach wynosił 6%. Porównując spektrogram dla spalania samego węgla (rys. 2 – w monografii 5.13) ze spektrogramem dla mieszanki węgla i biomasy (rys. 3 – rys. 5.12) obserwowany jest spadek amplitudy sygnału. Druga zauważalna różnica to zmiana rozkładu widma. Spalanie biomasy wraz z węglem powoduje zwiększenie się w widmie amplitud składowych o częstotliwościach z zakresu 50–170 Hz.



Rys. 2 (rys. 5.13). Spektrogram dla spalania samego węgla

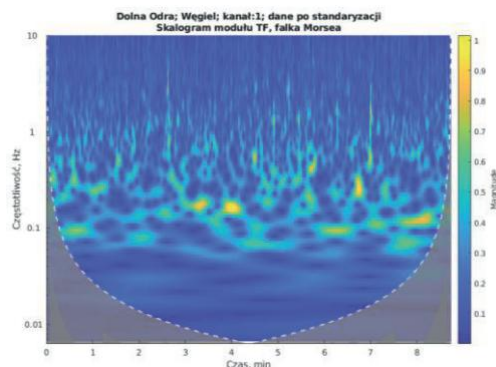


Rys. 3 (rys. 5.12). Spektrogram dla spalania mieszanki węgla i 6% biomasy

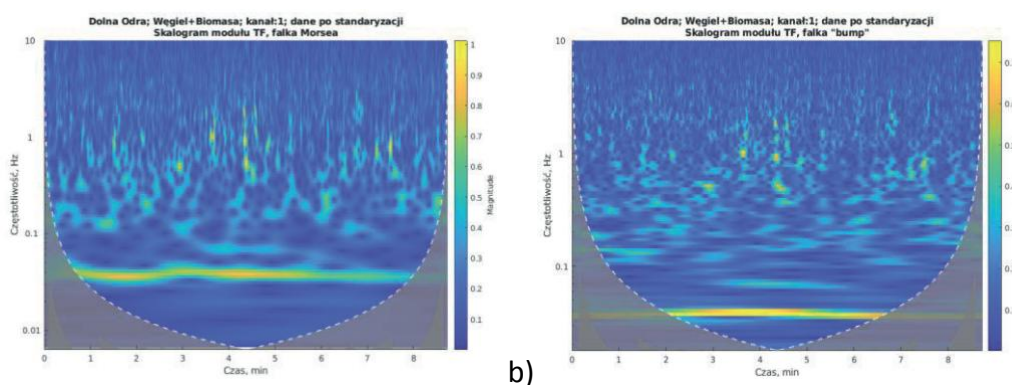
Sygnały rejestrowane za pomocą systemu FMS 01 poddawałem także analizie z wykorzystaniem przekształcenia falkowego. Również w tym przypadku porównywałem spektrogramy szeregów czasowych zarejestrowanych dla przypadku współspalania węgla i biomasy oraz samego pyłu węglowego. Przykładowe wyniki analizy z wykorzystaniem falek przedstawia rys. 4 i 5 (części rys. 5.15). Współspalanie biomasy i pyłu węglowego różni się znacząco tym, że przy współspalaniu pojawiają się składowe o częstotliwościach poniżej 0,1 Hz.

Zastosowanie przekształcenia Fouriera oraz falkowego daje więc narzędzie pozwalające na rozróżnienie rodzaju spalanego paliwa. Należy jednak zaznaczyć, że decyzja

jakie składowe częstotliwościowe powinny być w tym celu analizowane wymagają indywidualnego podejścia.

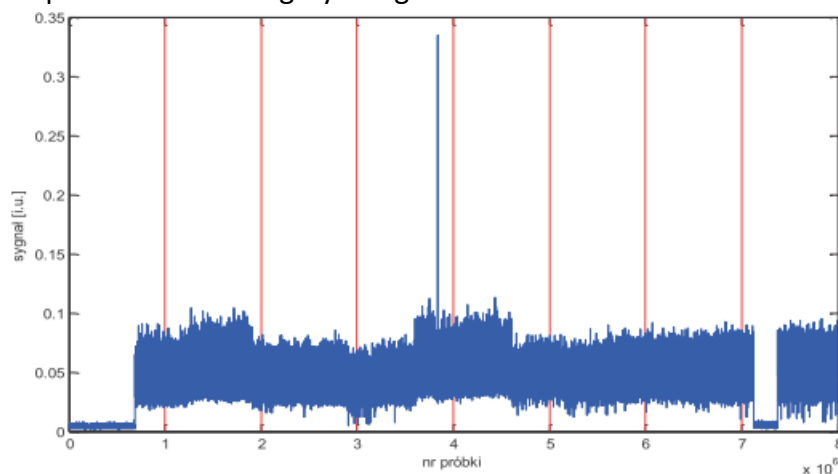


Rys. 4. (część rys. 5.15). Wyniki uzyskane dla spalania tylko węgla i falki Morse'a



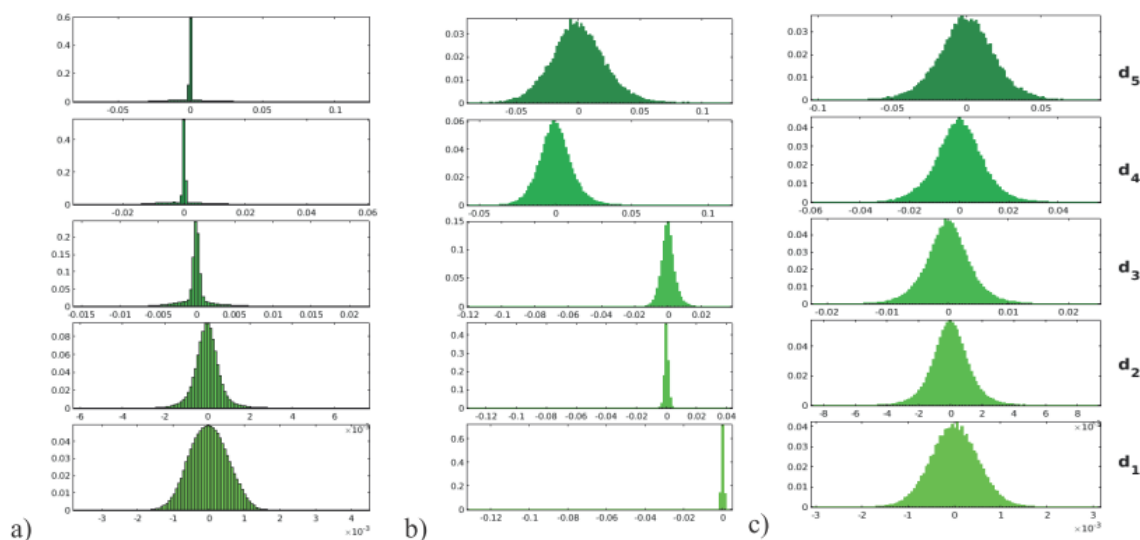
Rys. 5. (część rys. 5.15). Wyniki uzyskane dla współspalania węgla z biomasą i falki: a) Morse'a, b) „bump”

Sygnaly uzyskiwane z systemu FMS 01 poddawane były przede mnie również analizom w celu sprawdzenia wrażliwości na niestabilność procesu spalania. W tym celu przeprowadzone były badania z wykorzystaniem dyskretnego przekształcenia falkowego. Na rys. 6 (rys. 5.9) przedstawiony został przykładowy przebieg sygnału intensywności płomienia dla rozpalania kotła energetycznego.



Rys. 6 (rys. 5.9). Sygnał zarejestrowany podczas rozpalania kotła energetycznego oraz podział na przedziały, dla których zaprezentowano wyniki analiz (częstotliwość próbkowania 1000 próbek na sekundę)

Szereg ten w celu analizy cech został podzielony na równe odcinki, dla których przeprowadzono analizę z wykorzystaniem dyskretnego przekształcenia falkowego z falką Daubechies 2. Sygnał podzieliłem na aproksymację i detale, a następnie wykonałem histogramy znormalizowane dla detali. Analiza histogramów (rys. 7 – część rys. 5.11) pozwala wyróżnić te, które są wrażliwe na zmiany procesu spalania. Na przykład detale 1 i 2 są czułe na występowanie w przebiegu krótkoczasowych wzrostów sygnału (rozbłysków) – przedział IV, detale 4 i 5 wykazują się czułością na zanik płomienia – przedziały I i VI.



Rys. 7 (część rys. 5.11). Histogramy detali dyskretnego przekształcenia falkowego dla wybranych przedziałów szeregu czasowego z rys. 6 (rys. 5.9): a) pierwszego, b) czwartego, c) szóstego

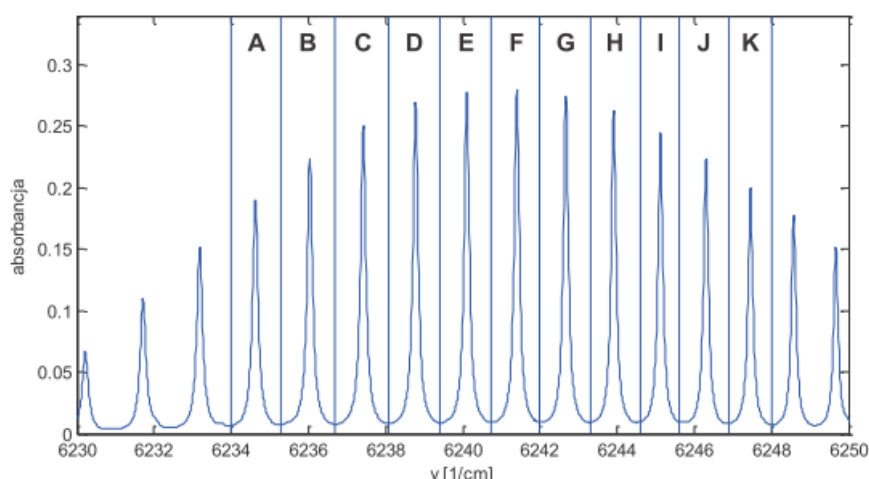
W monografii *Analiza procesu termicznej przeróbki biomasy* analizowałem problem związany z wyznaczaniem zawartości wybranego gazu w mieszaninie. Pomiary gazów są zagadnieniem istotnym z punktu widzenia procesu zgazowania, gdyż dają, na przykład, informację o składzie uzyskanego gazu generatorowego. Podobnie są one istotne przy spalaniu w kotłach energetycznych, na przykład pomiar składu gazów wylotowych, czy pomiar emitowanych zanieczyszczeń. Badania tego rodzaju można wykonywać stosując różne metody spektroskopowe, na przykład opisaną w pracy metodę całkową wielu linii (ang. multiple line integrated), która charakteryzuje się dużym sygnałem wyjściowym, zwiększonym uśrednieniem szumów, ale również niebezpieczeństwem wpływania na wyniki pomiarów widm innych składników mieszaniny.

Tematyka ta towarzyszyła mi już przy realizacji pracy doktorskiej. Przy jej realizacji, zgodnie z tytułem pracy – *Optoelektroniczna metoda detekcji tlenku węgla w mieszaninie gazów* – skupiałem się jednak na wykrywaniu (detekcji) sytuacji przekroczenia określonego poziomu zawartości przez CO. Miało to związek z tym, że zawartość tlenku węgla może być traktowana jako informacja o występowaniu warunków sprzyjających intensyfikacji korozji niskotlenowej ścian kotła energetycznego. Dla zgazowania biomasy należy rozpatrzyć nie przekroczenie umownego progu, a możliwość wyznaczenia zawartości danego gazu (np. CO₂) w spodziewanym zakresie jego zmian.

W związku z tym wykonywałem badania symulacyjne zmierzające do oceny możliwości zastosowania metody całkowej wielu linii w pomiarach zawartości gazów w mieszaninie charakterystycznej dla gazu generatorowego, czy atmosfery wnętrza kotła energetycznego. W badaniach tych przyjąłem, że analizy będą przeprowadzone dla zakresu spektralnego 1500–1600 nm, który jest atrakcyjny z punktu widzenia dużej dostępności elementów optoelektronicznych, gdyż ten zakres wykorzystywany jest w telekomunikacji światłowodowej. Do symulacji widm składników mieszaniny wykorzystałem bazę danych widm gazów HITRAN oraz jej wersję dla wysokich temperatur – HITEMP.

Symulacje rozpoczynałem od analizy widm absorpcyjnych dominujących składników mieszaniny, które wykazują pochłanianie w rozpatrywanym zakresie spektralnym, czyli: CO, CO₂, H₂O, CH₄. Wytypowałem przedział spektralny, w którym widmo analizowanego gazu było najsilniejsze, a zarazem stosunkowo słabo przesłonięte przez widma pozostałych gazów. Przedział ten był przedmiotem dalszych analiz, w których oceniano wpływ widm gazów towarzyszących oraz zmianę temperatury (w zakresie 300–1100 K). Przyjąłem przy tym najczęściej stosowane rozwiązanie wyznaczania zawartości gazu – na podstawie przeliczenia zmierzonego sygnału z wykorzystaniem krzywej kalibracyjnej.

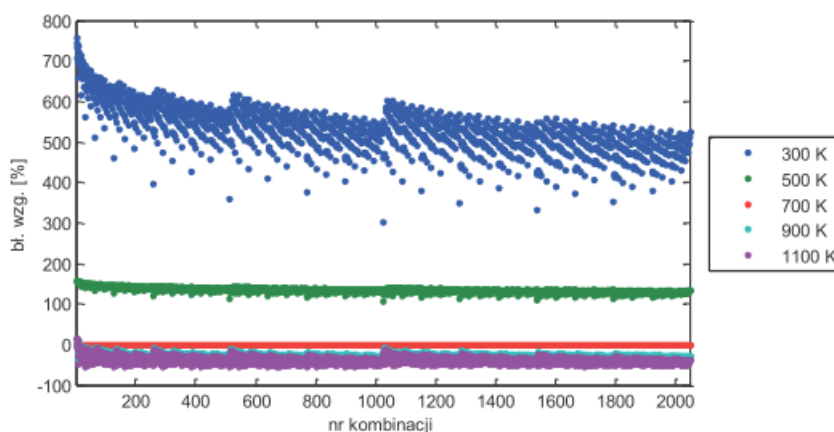
W monografii przedstawiłem wyniki dla wyznaczania zawartości dwutlenku węgla. Modelowanie przeprowadziłem dla zaproponowanej przeze mnie modyfikacji metody całkowej wielu linii, która polega na tym, że wyznaczany sygnał A_s jest równy sumie pól powierzchni wybranych linii pochłaniania oznaczanego gazu. Uwzględniane linie pochłaniania są dobierane z arbitralnie wybranego zestawu i nie muszą leżeć obok siebie. Takie rozwiązanie pozwala uzyskać silny sygnał A_s dla linii, na które nie wpływają widma innych gazów. Przedstawione analizy obejmowały 11 najsilniejszych linii widmowych dla CO₂ w temperaturze 300 K, czyli linie z zakresu 6234–6248 cm⁻¹ (rys. 8 – rys. 6.4).



Rys. 8 (rys. 6.4). Widmo CO₂ z podziałem na kanały poddawane analizie w modyfikowanej metodzie całkowej wielu linii

Widma gazów ulegają zmianie wraz ze zmianą temperatury. Dlatego jednym z czynników, który analizowałem był wpływ wykorzystania linii kalibracyjnej wyznaczonej dla innej temperatury niż ta, w jakiej dokonywano pomiaru. Błędy wynikające z takiego

postępowania silnie zależały od różnicy tych temperatur, ale również różniły się co do wartości w zależności od zestawu analizowanych kanałów (rys. 9 – część rys. 6.11). Najmniejsze błędy wyznaczania zawartości dwutlenku węgla uzyskiwano w przypadku, gdy krzywa kalibracyjna była wykonana dla 700 K, a pomiary – dla tej lub wyższej temperatury.



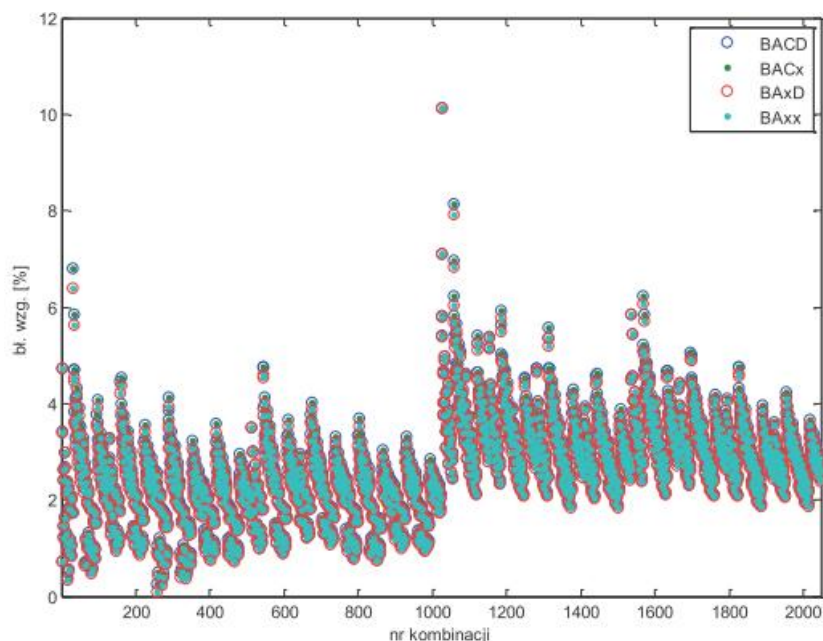
Rys. 9 (część rys. 6.11). Błąd względny wyznaczania stężenia CO_2 gdy stężenie zadane wynosi 15% dla różnych temperatur mieszaniny, gdy krzywą kalibracyjną wyznaczono dla temperatury 700 K (nr kombinacji jest dziesiętną reprezentacją słowa binarnego, w którym każdy bit odpowiada jednemu analizowanemu kanałowi – od K do A, przy czym 1 oznacza uwzględnienie kanału, a 0 sytuację przeciwną)

Dla rozpatrywanych przypadków wytypowałem również kombinacje kanałów, których analiza zmodyfikowaną metodą całkową wielu linii daje najmniejsze wartości błędów względnych. W związku z silnym wpływem różnicy temperatur na wyniki pomiarów, przy pomiarach realizowanych w dużym zakresie zmienności temperatury jedynym rozwiązaniem wydaje się skorzystanie z bazy krzywych kalibracyjnych wykonanych dla różnych temperatur.

Przeprowadzałem ponadto analizy wpływu niejednorodności rozkładu temperatury wzdłuż ścieżki pomiarowej na kształt widm pochłaniania oznaczanego gazu, co ma bezpośredni związek z błędem wyznaczania zawartości tego gazu. W przypadku długich ścieżek pomiarowych istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia niejednorodnych warunków termicznych wzdłuż całej ścieżki pomiarowej. Przeprowadzone badania symulacyjne pokazały, że kształt widma dla niehomogenicznego środowiska jest najbardziej zbliżony do widma uzyskanego dla średniej temperatury wzdłuż ścieżki pomiarowej. Wynika stąd wniosek, że błąd wyznaczania zawartości gazu będzie tym mniejszy im mniej temperatura ośrodka będzie odbiegała od średniej temperatury wzdłuż ścieżki.

Przeprowadziłem również badania symulacyjne określające wpływ widm pozostałych składników mieszaniny na wyniki pomiarów dla różnych kombinacji kanałów oraz dla różnych temperatur. W rozpatrywanym w monografii przypadku przyjąłem następujące warunki: zawartość CO_2 zmienia się z krokiem 1% od 0 do 15%, zawartość pozostałych składników jest stała i wynosi: dla CO 20%, dla CH_4 5%, dla H_2O 5%, długość ścieżki pomiarowej wynosi 10 m,

ciśnienie 1 atm, a temperatura od 300 K do 1100 K z krokiem 200 K. Parametry te dobrałem w taki sposób by odzwierciedlały warunki występujące przy zgazowaniu biomasy.



Rys. 10 (część rys. 6.14). Błąd względny wyznaczania stężenia CO_2 równego 15% dla różnych kombinacji kanałów w obecności gazów zakłócających dla temperatury 300 K (oznaczenia: A – CO_2 , B – CO, C – H_2O , D – CH_4 , x – brak danego gazu)

Dla rozpatrywanej mieszaniny określiłem, że największe błędy wyznaczania zawartości CO_2 powoduje obecność pary wodnej i tlenku węgla (rys. 10 – część rys. 6.14). Wpływ ten jest znacznie silniejszy dla wyższych temperatur, co ma związek z pojawieniem się w tych temperaturach dodatkowych linii pochłaniania, których występowanie pokrywa się z liniami CO_2 . Ponieważ przekrywanie się widm ma charakter addytywny więc możliwa jest minimalizacja wpływu widm gazów towarzyszących poprzez wprowadzenie poprawek uwzględniających zawartość gazów zakłócających, na przykład wyznaczonych identycznymi metodami, ale w innych zakresach spektralnych.

Obok monografii autorskiej, w której zawarłem wyniki moich badań nad analizą procesu termicznej przeróbki biomasy, jestem współautorem 12 artykułów związanych z tą tematyką opublikowanych w czasopiśmie recenzowanych (w tym 4 indeksowane w bazie Web of Science), 40 prac w materiałach konferencyjnych (w tym 16 indeksowanych w bazie Web of Science) oraz jednego materiału niepublikowanego.

Podsumowując, za mój wkład w rozwój dyscypliny „Inżynieria środowiska” uważam:

- opracowanie w zespole oryginalnego urządzenia pomiarowego pozwalającego na monitorowanie płomieni palników kotłów energetycznych,
- wykorzystanie informacji zawartej w zmianach intensywności płomienia do monitoringu i analizy procesu spalania, w tym współspalania biomasy z węglem kamiennym,

- wykorzystanie przekształcenia Fouriera i falkowego do analizy sygnału zmian intensywności płomienia dla różnych warunków przebiegu procesu spalania/współspalania,
- określenie cech sygnału, z wykorzystaniem przekształcenia Fouriera i falkowego, wrażliwych na zmianę stanu procesu, które mogą służyć do monitoringu współspalania biomasy z węglem, a także być wykorzystane w zaawansowanych układach sterowania nim,
- przeprowadzenie oceny wpływu temperatury i widm absorpcyjnych dominujących składników mieszaniny gazów na błąd względny wyznaczania zawartości CO₂ zmodyfikowaną metodą całkową wielu linii dla wybranego zakresu spektralnego,
- wybranie zestawu kanałów optycznych, które z wykorzystaniem zmodyfikowanej metody całkową wielu linii, pozwolą na pomiary zawartości wybranego gazu w mieszaninie,
- wskazanie ograniczeń rozpatrywanej metody wyznaczania zawartości CO₂.

Prace w tematyce analizy procesu przetwarzania termicznego biomasy zwłaszcza na drodze współspalania oraz zgazowania zamierzam kontynuować. Stosowane przeze mnie metody analizy mają, w mojej ocenie, wciąż duży potencjał i możliwe jest ich rozwijanie i udoskonalanie, na przykład poprzez doprecyzowanie i sformalizowanie zaobserwowanych zależności. Ponadto, prognozowane na najbliższe lata zwiększenie udziału biomasy w wytwarzaniu energii spowoduje rozwój metod jej przetwarzania oraz nowych konstrukcji instalacji do realizacji tego procesu. Spowoduje to pojawienie się nowych obszarów badawczych i aplikacyjnych, w których możliwe będzie wykorzystanie zdobytego dotychczas doświadczenia.

Publikacje związane z tematycznie z osiągnięciem naukowym

Czasopisma indeksowane w WoS

1. W. Wójcik, **P. Komada**, V. Firago, I. Manak: Pomiar stężenia CO z wykorzystaniem metod TDLAS w bliskiej podczerwieni. Przegląd Elektrotechniczny 3/2008, 238–240.
2. **P. Komada**, S. Ciężczyk, W. Wójcik: Influence of gas concentration inhomogeneity on measurement accuracy in absorption spectroscopy. Przegląd Elektrotechniczny, 8/2012, vol. 88, 36–38.
3. **P. Komada**, S. Ciężczyk, W. Wójcik: Application of multiple line integrated spectroscopy on CO concentration measurement. Elektronika Ir Elektrotehnika, 9/2013, vol. 19, 46–49.
4. **P. Komada**, S. Ciężczyk, O. Zhirnova, N. Askarova: Optyczna metoda diagnostyki gazu syntezowego z biomasy. Rocznik Ochrona Środowiska, 2016, nr 2, vol. 18, 271–283.

Czasopisma pozostałe

5. W. Wójcik, Z. Gotra, A. Kotyra, **P. Komada**: Rozradka svitlowodnih sensoriv dla kontroliu visokotemperaturnih prociesiw. Vimirowalna tiehnika ta metrologia, 2000, Nr 57, 87–89.
6. O. Gotra, W. Wójcik, C. Wojciechowski, A. Kotyra, **P. Komada**, A. Smolarz, B. Stadnik: Odnosmugowij bagatokanalnyj svitlowodnij sond dla vimirowania temperatury polumia. Vimirowalna tiehnika ta metrologia, 2000, Nr 57, 51–55.
7. W. Wójcik, Z. Gotra, W. Surtel, A. Smolarz, A. Kotyra, **P. Komada**: Diagnostics of combustion processes using optoelectronic systems. Optiko-elektronni informacijno-energeticzni technologii

- (Optoelectronic Information-Power Technologies), Miżnarodnij Naukowo-Technicznij Żurnal, No1, Vinnica, 2001, 260–269.
8. W. Wójcik, I. Manak, A. Kotyra, **P. Komada**, A. Smolarz, T. Golec, M. Kalita: Selection of wavelengths for optoelectronic CO and O₂ concentration analyser. Solid-State Electronics: Theory, Devices and Applications, Wisnik nr 458, 2002, 71–76.
 9. W. Wójcik, **P. Komada**, S. Cięższyk, I. Manak, T. Golec: Optoelectronic CO Concentration Analyser – Wavelength Selection. Journal Electronics and Electrical Engineering. No 1 (50), 2004, 5–8.
 10. W. Wójcik, **P. Komada**, S. Cięższyk, V. Firago, T. Golec: Zastosowanie optycznego pomiaru stężenia tlenu węgla do szacowania szybkości korozji niskotlenowej. Pomiary, Automatyka, Kontrola, Nr 9bis`2005, 311–313.
 11. **P. Komada**, S. Cięższyk, W. Wójcik: Modelowanie wpływu zmian temperatury ośrodka na wyniki pomiarów modyfikowaną metodą korelacyjną. Elektronika: Konstrukcje, Technologie, Zastosowania, 2012, nr 6, 32–34.
 12. **P. Komada**, S. Cięższyk, W. Wójcik: Wpływ niejednorodności środowiska kotła energetycznego na wyniki pomiarów w spektroskopii absorpcyjnej. Przegląd Elektrotechniczny, 4/2013, vol. 89, 317–319.

Materiały konferencyjne indeksowane w WoS

13. A. Smolarz, W. Wójcik, A. Kotyra, **P. Komada**, C. Wojciechowski: Fibreoptic system for monitoring of fuel-oil burners in power boilers. Proceedings of SPIE, 2000, 4239, 127–130.
14. W. Wójcik, A. Smolarz, A. Kotyra, **P. Komada**: Optimisation of optical fibre probe for flame monitoring by application of finite elements method. Proceedings of SPIE, 2000, vol. 4239, 131–137.
15. W. Wójcik, A. Kotyra, A. Smolarz, **P. Komada**, C. Wojciechowski: Application of wavelet transform in detection of flame instabilities. Proceedings of SPIE, 2001, vol. 4516, 277–280.
16. W. Wójcik, W. Surtel, A. Smolarz, A. Kotyra, **P. Komada**: Optical fiber system for combustion quality analysis in power boilers. Proceedings of SPIE, 2001, vol. 4425, 517–522.
17. W. Wójcik, A. Kotyra, A. Smolarz, **P. Komada**: Application of wavelet transform in detection of burned fuels in power boiler. Proceedings of SPIE, 2001, vol. 4425, 523–528.
18. W. Wójcik, A. Kotyra, **P. Komada**: Detection of combustion instabilities using the wavelet transform in industrial conditions. Proceedings of SPIE, 2002, vol. 4887, 72–76.
19. W. Wójcik, A. Kotyra, **P. Komada**, T. Golec: The fiber-optic system detecting the type of burned fuel in power boilers. Proceedings of SPIE, 2003, vol. 5028, 131–135.
20. W. Wójcik, A. Kotyra, **P. Komada**, S. Przyłucki, A. Smolarz, T. Golec: The methods of choosing the proper wavelet for analyzing the signals of the flame monitoring system. Proceedings of SPIE, 2003, vol. 5124, 226–231.
21. W. Wójcik, I. Manak, A. Kotyra, **P. Komada**, A. Smolarz, T. Golec, S. Cieszczyk: Application of absorption spectroscopy in optoelectronic analyzer of oxygen and carbon monoxide concentration. Proceedings of SPIE, 2003, vol. 5124, 252–257.
22. W. Wójcik, A. Kotyra, **P. Komada**, T. Golec: Fiber optic-system detecting the type of burned fuel in power boilers. Proceedings of SPIE, 2003, vol. 5125, 267–272.
23. W. Wójcik, **P. Komada**, I. Manak, V. Firago, T. Golec, S. Cięższyk: Analyzer of CO concentration in the near wall layer of power boilers – concept and results of initial research. Proceedings of SPIE, 2004, vol. 5576, 387–391.
24. W. Wójcik, **P. Komada**, S. Cięższyk, V. Firago, T. Golec: Spectral measurements of carbon monoxide. Proceedings of SPIE, 2005, vol. 5775, 462–465.
25. W. Wójcik, **P. Komada**, S. Cięższyk, V. Firago A. ECTL application for carbon monoxide measurements. Proceedings of SPIE, 2005, vol. 5958, 768–771.

26. W. Wójcik, **P. Komada**, A. Kotyra, T. Ławicki: Laser measurement of carbon monoxide content using the modified correlation method. Proceedings of SPIE, 2007, vol. 6598, 65980T.
27. W. Wójcik, A. Kotyra, **P. Komada**, I. Manak, V. Firago: Determination of CO concentration using the modified laser correlation method. Proceedings of SPIE, 2008, vol. 6936, 69360X.
28. **P. Komada**, S. Ciężczyk: Modeling of determining temperature distribution based on spectral measurements. Proceedings of SPIE, 2014, vol. 9291, 929103.

Materiały konferencyjne pozostałe

29. W. Wójcik, A. Kotyra, A. Smolarz, **P. Komada**, C. Wojciechowski: Zastosowanie transformaty falkowej do wykrywania niestabilności płomienia. Materiały konferencyjne VI Konferencja Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne – COE 2000, Gliwice, 259–263.
30. W. Wójcik, A. Kotyra, A. Smolarz, **P. Komada**: Optical fiber system for combustion quality analysis in power boilers. Proceedings of International Conference on Optoelectronic Information Technologies PHOTONICS – ODS 2000, Vinnica 2000.
31. W. Wójcik, A. Kotyra, A. Smolarz, **P. Komada**: Application of wavelet transform in detection of burned fuels in energetic boilers. Proceedings of International Conference on Optoelectronic Information Technologies PHOTONICS – ODS 2000, Vinnica 2000.
32. W. Wójcik, A. Kotyra, **P. Komada**, T. Golec: Metody analizy sygnałów w światłowodowym systemie monitorowania płomienia. Materiały konferencyjne VIII Konferencja Światłowody i ich zastosowania – Białowieża 2002, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2002, 451–454.
33. W. Wójcik, A. Kotyra, **P. Komada**, T. Golec: Światłowodowy układ do wykrywania rodzaju spalanego paliwa w przemysłowych kotłach energetycznych. Materiały konferencyjne VIII Konferencja Światłowody i ich zastosowania – Białowieża 2002, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2002, 455–458.
34. W. Wójcik, I. Manak, S. Przyłucki, A. Kotyra, **P. Komada**, T. Golec: Optoelektroniczny analizator do pomiaru koncentracji gazów w warstwie przyściennej kotłów energetycznych. Materiały konferencyjne VIII Konferencja Światłowody i ich zastosowania – Białowieża 2002, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2002, 459–462.
35. W. Wójcik, I. Manak, A. Kotyra, **P. Komada**, A. Smolarz, T. Golec, S. Ciężczyk: Wykorzystanie spektroskopii absorpcyjnej w optoelektronicznym analizatorze koncentracji tlenu i tlenku węgla. Materiały konferencyjne VII Konferencja Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne – COE2002, Rzeszów 2002, Tom I, 341–346.
36. W. Wójcik, A. Kotyra, **P. Komada**, S. Przyłucki, A. Smolarz, T. Golec: Metody doboru falek do efektywnej analizy i archiwizacji sygnałów systemu monitorowania płomienia. Materiały konferencyjne VII Konferencja Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne – COE2002, Rzeszów 2002, Tom II, 287–292.
37. W. Wójcik, I. Manak, T. Golec, **P. Komada**, S. Ciężczyk: Optoelectronic CO concentration analyser – wavelength selection. Proceedings of III International Symposium New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation, Zakopane, 2003, 227–229.
38. W. Wójcik, I. Manak, **P. Komada**, T. Golec, S. Ciężczyk, M. Duk: Koncepcja oraz wstępne wyniki badań optoelektronicznego analizatora koncentracji CO w warstwie przyściennej kotłów energetycznych. Materiały konferencyjne IX Konferencja Światłowody i Ich Zastosowania, Krasnobród 2003, Tom 2, 893–898.
39. W. Wójcik, **P. Komada**, A. Kotyra, I. Manak: Spectroscopic measurements of carbon monoxide. Materiały konferencyjne V-th International conference Ion implantation and other applications of ions and electrons ION2004, Kazimierz Dolny 2004, 109–112.
40. W. Wójcik, **P. Komada**, S. Ciężczyk, V. Firago, T. Golec: Detekcja tlenku węgla z wykorzystaniem lasera przestrajalnego 1,5–1,6 mm. Materiały konferencyjne VIII Konferencja Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne – COE2004, Wrocław 2004, 169–172.

41. W. Wójcik, A. Kotyra, A. Smolarz, M. Duk, M. Kalita, **P. Komada**: Światłowodowy system monitorowania i diagnostyki płomienia. III Konferencja Optoelektronika 2004, Oferta Nauki Polskiej Dla Przemysłu, Poznań 2004, 115–117.
42. V. Firago, W. Wójcik, **P. Komada**: Pogrieshnosti nieprerivnogo lazernogo kontrola koncentracji CO v dymovych gazach kotlov. Materiały V miezhdunarozhnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Kvantovaja elektronika", Minsk 2004, 161–165.
43. W. Wójcik, **P. Komada**, V. Firago, S. Ciężczyk: Application of correlation absorption spectroscopy in measurement of carbon monoxide concentration. Materiały konferencyjne X International conference on Physics and Technology of Thin Films ICPTTF–X. Ivano-Frankivs, 2005, T. 1, 159–163.
44. V. Firago, W. Wójcik, **P. Komada**, I. Manak: Metody lazernoj spektroskopii v sredstvach kontrolia nieprerivnogo codierezania O2 i CO v dymovych gazach kotlov. : Proceedings of IV International Symposium New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation, Zakopane 2005, 37–41.
45. W. Wójcik, **P. Komada**, V. Firago, A. Kotyra, M. Duk: Detection of carbon monoxide using 1570 nm ECTL. Proceedings of IV International Symposium New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation, Zakopane 2005, 209–211.
46. V. Firago, W. Wójcik, **P. Komada**, I. Manak: Laser control of O2 and CO concentration in the boilers flue gas. Proceedings of SPIE, 2005, vol. 5954, 179–190.
47. W. Wójcik, **P. Komada**, A. Kotyra, T. Ławicki: Laserowy pomiar zawartości tlenu węgla z wykorzystaniem modyfikowanej metody korelacyjnej. Materiały 8 Sympozjum Techniki Laserowej, Świnoujście 2006, 318–321.
48. **P. Komada**, W. Wójcik, S. Cieszczyk: Absorpcyjne metody pomiaru składu gazów w procesie spalania. Materiały III Kongres Inżynierii Środowiska, tom 3, Lublin 2009, 119–123.
49. W. Wójcik, M. Duk, A. Kociubiński, **P. Komada**: Zastosowanie optycznego systemu monitorowania płomienia w warunkach przemysłowych. Materiały XII Konferencja i II Szkoła Światłowodowy i ich zastosowania TAL 2009, Krasnobród 2009, 454.
50. W. Wójcik, **P. Komada**, T. Golec, S. Ciężczyk: Composition determination of selected gases in a gas mixture using the modified correlation method. 6 Międzynarodowa Konferencja New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation NEET 2009.
51. **P. Komada**, S. Ciężczyk, W. Wójcik: Influence of gas concentration inhomogeneity on measurement accuracy in absorption spectroscopy. Materiały konferencji Conference ELMECO–7 & AoS–10, 2011, 79–80.
52. **P. Komada**, S. Ciężczyk, W. Wójcik: Modelowanie wpływu zmian temperatury ośrodka na wyniki pomiarów modyfikowaną metodą korelacyjną. Materiały konferencyjne XII Konferencja Naukowa Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne – COE2012, Karpacz 2012, 63–63.

Materiały niepublikowane

53. W. Wójcik, A. Kotyra, **P. Komada**, T. Ławicki, T. Zyska, K. Mazuś: SMARTBURN report, WP3: Signal Processing and Data Analysis (RFCR-CT-2008-00009). Materiał niepublikowany, Lublin 2009.

V. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Moje pozostałe ważniejsze osiągnięcia naukowo-badawcze można podzielić na następujące grupy:

- badania i analiza widm emisyjnych [A1–A16],
- wykorzystanie sygnałów światłowodowego systemu monitorowania płomienia w systemach diagnostyki i sterowania procesem spalania [B1–B14],
- optyczne przyrządy i metody pomiarowe [C1–C10].

Poszukiwanie sygnałów diagnostycznych w procesach spalania doprowadziło również do podjęcia tematyki analizy promieniowania emitowanego z wnętrza komory spalania – tak zwane metody pasywne. Promieniowanie emitowane przez ciała o wyższej temperaturze niż temperatura detektora jest źródłem informacji zarówno o promieniującym obiekcie, jak też o ośrodku leżącym na drodze pomiędzy źródłem emisji a miejscem obserwacji. Pomiar tego rodzaju nie wymagają ingerencji w badany ośrodek, a jedynie rejestracji i analizy emitowanego promieniowania. Przeprowadzono szereg rejestracji takiego promieniowania z wykorzystaniem spektrometru FTIR o otwartej ścieżce pomiarowej, który rejestruje widmo z zakresu 2000–2500 cm^{-1} . Prowadzone pomiary i analizy dotyczyły widma promieniowania emitowanego z wnętrza komory spalania. Źródłem rejestrowanego widma był płomień spalanej paliwa, ale także rozgrzane elementy komory. W widmie widoczne są również pasma absorpcyjne gazów występujących na drodze pomiędzy źródłem promieniowania a spektrometrem.

Analiza otrzymywanych widm miała na celu wyznaczenie informacji na temat składu gazów, temperatury źródła promieniowania, a także wzdłuż ścieżki pomiarowej. Z tego powodu rozwiązywano zagadnienie odwrotne, dla którego zagadnieniem prostym było modelowanie widma emisyjnego dla danego zestawu składników, temperatury oraz parametrów ścieżki pomiarowej. Przeprowadzano między innymi analizę wpływu na uzyskiwane wyniki parametrów spektrometru, niejednorodności temperatury i/lub zmiany koncentracji gazów wzdłuż ścieżki pomiarowej.

Jestem także współautorem prac dotyczących tematyki wykorzystania sygnałów z systemu monitorowania płomienia do diagnostyki pracy palnika. Sygnały intensywności płomienia poddawano analizie metodami sztucznej inteligencji w celu ich klasyfikacji oraz ekstrakcji cech świadczących o stanie procesu, a także o odstępstwach od założonych warunków. Na bazie tych wyników zaproponowano rozwiązania neuronowego regulatora pracy palnika pyłowego oraz zamodelowano jego działanie. Wykorzystywały one sygnał optyczny do estymacji zawartości wybranych gazów (np. NO_x , CO).

Prace związane z ostatnią z wymienionych grup są tematycznie różnorodne. Prowadziłem analizy nad możliwością wykorzystania systemu monitorowania płomienia jako pirometru dwubarwowego. Przy wyznaczeniu jego funkcji przetwarzania uwzględniane były parametry elementów składowych systemu. Przeprowadzone były również próby

wykorzystania go w pomiarach temperatury płomienia w kotle energetycznym. Brałem udział także w pracach nad wykorzystaniem obrazu płomienia w celach diagnostycznych. Z wykorzystaniem szybkiej kamery i wysokotemperaturowego boroskopu rejestrowane były obrazy płomienia podczas pracy kotła energetycznego. W obrazie wyodrębniany był kształt jądra płomienia i wyznaczane zostały różne wielkości opisujące go. Została również przeprowadzona analiza możliwości wykorzystania wielkości opisujących kształt płomienia do oceny jego stabilności, czy przemieszczania. Prowadziłem również prace polegające na oznaczaniu metodami optycznymi węgla całkowitego w popiele lotnym będącym pozostałością spalania węgla kamiennego i biomasy. Opracowywana metoda zmierzała do pomiaru online tego parametru. Podstawą metody była analiza widma promieniowania odbitego od warstwy pyłu. Podobna metoda została użyta w pracach nad metodą diagnostyki skóry. Jej celem była ocena stanu skóry na podstawie widma promieniowania rozproszonego i zaabsorbowanego obejmującego zakres spektralny od ultrafioletu po bliską podczerwień.

W obszarze moich zainteresowań są również czujniki światłowodowe różnych wielkości fizycznych. Stąd uczestniczyłem w pracach nad modyfikacją światłowodowego żyroskopu o zmniejszonej czułości na czynniki ograniczające jego dokładność. Uczestniczyłem również w pracach nad sposobem i układem pomiaru rozkładu naprężenia liniowego wykorzystującym światłowodowe siatki Bragga i analizę uzyskanych widm optycznych, co zaowocowało zgłoszeniem patentowym. Tematyka ta jest kontynuowana przez doktorantów, w przewodach doktorskich których pełnię rolę promotora pomocniczego.

Publikacje dotyczące pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Badania i analiza widm emisyjnych

- A1. W. Wójcik, S. Ciężczyk, T. Golec, **P. Komada**, M. Duk: Pasywne czujniki optyczne do pomiaru stężenia gazów w procesach spalania. Materiały konferencyjne IX Konferencja Światłowodowy i Ich Zastosowania, Krasnobród 2003, Tom 2, 854–863.
- A2. W. Wójcik, T. Golec, A. Kotyra, S. Ciężczyk, M. Duk, **P. Komada**: Zastosowanie światłowodowego układu monitorowania płomienia do analizy emisyjnego płomienia w warunkach przemysłowych. Materiały konferencyjne IX konferencji Światłowodowy i ich zastosowania, Krasnobród 2003, Tom 2, 881–885.
- A3. W. Wójcik, S. Ciężczyk, **P. Komada**, I. Manak: Modelowanie promieniowania płomienia przez absorbujące warstwy gazów w kotle energetycznym. Materiały konferencyjne VIII Konferencja Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne – COE2004, Wrocław 2004, 519–522.
- A4. W. Wójcik, S. Ciężczyk, T. Golec, **P. Komada**, M. Duk: Passive optical gas concentration sensor in industrial boilers. Proceedings of SPIE, 2004, vol. 5576, 367–372.
- A5. W. Wójcik, T. Golec, A. Kotyra, S. Ciężczyk, M. Duk, **P. Komada**: Application of flame monitoring system for flame spectrum analysis in industrial conditions. Proceedings of SPIE, 2004, vol. 5576, 377–380
- A6. W. Wójcik, S. Ciężczyk, **P. Komada**: Diagnostyka procesu spalania pasywnymi metodami optycznymi. Pomiary, Automatyka, Kontrola, Nr 9bis`2005, 314–316.

- A7. W. Wójcik, S. Ciężczyk, P. Kisała, **P. Komada**: Wyznaczanie parametrów niehomogenicznego środowiska gazowego na podstawie jego promieniowania w średniej podczerwieni. Materiały konferencyjne IX Konferencja Naukowa Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne – COE2006, Kraków 2006, 17–20.
- A8. W. Wójcik, S. Ciężczyk, T. Golec, **P. Komada**, A. Kotyra, P. Kisała: Pomiary widma promieniowania procesów spalania do celów diagnostycznych w zakresie średniej podczerwieni. J. Korbicz (red.): Diagnostyka procesów i systemów. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2007, 271–276.
- A9. W. Wójcik, S. Ciężczyk, P. Kisała, **P. Komada**: Pomiary widm procesów spalania z wykorzystaniem spektrometru FTIR. Elektronika: Konstrukcje, Technologie, Zastosowania (XLIX), nr 6/2008, 230–231.
- A10. W. Wójcik, S. Ciężczyk, P. Kisała, **P. Komada**: Widmo promieniowania procesów spalania w zakresie średniej podczerwieni jako sygnał diagnostyczny. Ceramika/Ceramics vol. 108, 2008, 173–178.
- A11. W. Wójcik, S. Ciężczyk, P. Kisała, **P. Komada**: Analiza widm emisyjnych procesów spalania jako zagadnienie odwrotne w pomiarach pośrednich. Pomiary Automatyka Kontrola, nr 2/2009, 121–125.
- A12. W. Wójcik, S. Ciężczyk, **P. Komada**: Wyznaczanie informacji z pomiarów spektralnych jako zagadnienie odwrotne. Przegląd Elektrotechniczny 10/2010, 13–16.
- A13. S. Ciężczyk, **P. Komada**, W. Wójcik: Wyznaczanie zawartości CO metodą NDIR z algorytmiczną kompensacją temperatury gazów. Materiały konferencyjne XII Konferencja Naukowa Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne – COE2012, Karpacz 2012, 45–45.
- A14. S. Ciężczyk, **P. Komada**, W. Wójcik: Wyznaczanie zawartości CO metodą NDIR z algorytmiczną kompensacją temperatury gazów. Elektronika: Konstrukcje, Technologie, Zastosowania, 2012, nr 6, vol. 53, 41–42.
- A15. S. Ciężczyk, **P. Komada**: Neural network fusion and inversion model for NDIR sensor measurement. Proceedings of SPIE, 2015, vol. 9816, 98160R.
- A16. S. Ciężczyk, **P. Komada**, A. Akhmetova, A. Mussabekova: Metoda analizy widm mierzonych z wykorzystaniem spektrometrów OP-FTIR w monitorowaniu powietrza atmosferycznego oraz gazów w procesach przemysłowych. Rocznik Ochrona Środowiska, 2016, nr 2, vol. 18, 218–234.

Wykorzystanie sygnałów światłowodowego systemu monitorowania płomienia w systemach diagnostyki i sterowania procesem spalania

- B1. W. Wójcik, T. Golec, **P. Komada**, A. Kotyra, A. Smolarz, S. Przyłucki: Koncepcja neuronowego regulatora pracy palnika pyłowego. Materiały konferencyjne VII Konferencja Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne – COE2002, Rzeszów 2002, Tom II, 363–368.
- B2. W. Wójcik, T. Golec, **P. Komada**, S. Przyłucki, A. Smolarz: Neural Network Controller for Pulverised Coal Burner. Proc. of PHOTONICS – ODS 2002, Vinnica 2002.
- B3. W. Wójcik, Z. Hotra, T. Golec, **P. Komada**, A. Kotyra, A. Smolarz: Neural network controller for individual pulverised coal burner. Solid-State Electronics: Theory, Devices and Applications, Wisnik nr 458, 2002, 44–51.
- B4. W. Wójcik, T. Golec, **P. Komada**, A. Kotyra, A. Smolarz: Stabilisation of NO_x emission of pulverised coal burner. Proceedings of III International Symposium New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation, Zakopane, 2003, 237–239.

- B5. W. Wójcik, T. Golec, A. Kotyra, **P. Komada**, M. Kalita, A. Smolarz: Regulator pracy palnika pyłowego. Materiały konferencyjne IX Konferencja Światłowodowy i Ich Zastosowania, Krasnobród 2003, Tom 2, 886–892.
- B6. W. Wójcik, T. Golec, **P. Komada**, S. Przyłucki, A. Smolarz, W. Surtel, M. Duk: Concept of application of signals from fiber optic system for flame monitoring to control separate pulverized coal burner. Proceedings of SPIE, 2003, vol. 5124, 291–298.
- B7. W. Wójcik, T. Golec, A. Kotyra, A. Smolarz, **P. Komada**, M. Kalita: Optoelectronic Controller for Pulverized Coal Burner. Proceedings of the International Conference TCSET'2004 Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Lviv-Slavsko, Ukraine, 2004, 507–509.
- B8. W. Wójcik, T. Golec, A. Smolarz, A. Kotyra, **P. Komada**: Estymacja wybranych parametrów pojedynczego palnika na podstawie sygnałów optycznych. Materiały konferencyjne VIII Konferencja Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne – COE2004, Wrocław 2004, 173–176.
- B9. W. Wójcik, T. Golec, A. Kotyra, A. Smolarz, **P. Komada**, M. Kalita: Controller for pulverized coal burner. Proceedings of SPIE, 2004, vol. 5576, 381–386.
- B10. W. Wójcik, T. Golec, A. Kotyra, A. Smolarz, **P. Komada**, M. Kalita: Concept of application of signals from fiber optic system for flame monitoring to control separate pulverized coal burner. Proceedings of SPIE, 2004, vol. 5484, 427–431.
- B11. W. Wójcik, T. Golec, I. Manak, A. Smolarz, A. Kotyra, **P. Komada**, M. Kalita: Optoelectronic method of estimation of chosen combustion parameters of an individual pulverised coal burner. Journal of Lviv Polytechnic National University "Solid-state electronics: theory, devices and applications" 510/2004, 73–77.
- B12. W. Wójcik, T. Golec, A. Kotyra, A. Smolarz, **P. Komada**, M. Kalita: Estimation of chosen combustion parameters of an individual pulverized coal burner based on optical signals. Proceedings of SPIE, 2005, vol. 5775, 343–347
- B13. W. Wójcik, T. Golec, A. Smolarz, A. Kotyra, **P. Komada**, M. Kalita: Estimation of chosen combustion parameters of an individual pulverised coal burner based on optical signals. Proceedings of IV International Symposium New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation, Zakopane 2005, 254–257.
- B14. A. Smolarz, W. Wójcik, K. Gromaszek, **P. Komada**, V. Lytvynenko, N. Mussabekov, L. Yesmakhanova, A. Toigozhinova: Artificial intelligence methods in diagnostics of coal-biomass blends co-combustion in pulverised coal burners. M. Pawłowska, L. Pawłowski (red.), Environmental engineering V, Boca Raton CRC Press-Taylor & Francis Group, 2017, 311–317.

Optyczne przyrządy i metody pomiarowe

- C1. A. Smolarz, W. Wójcik, A. Kotyra, **P. Komada**, C. Wojciechowski: Pirometr światłowodowy. Materiały konferencyjne VI Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne COE 2000, Gliwice, 370–376.
- C2. W. Wójcik, A. Kotyra, A. Smolarz, **P. Komada**: Two-band optical fiber pyrometer. Proceedings of International Conference on Optoelectronic Information Technologies PHOTONICS – ODS 2000, Vinnica 2000.
- C3. A. Smolarz, W. Wójcik, A. Kotyra, **P. Komada**, C. Wojciechowski: Optical fiber doubleband pyrometer. Proceedings of SPIE, 2001, vol. 4425, 510–516.

- C4. W. Wójcik, Z. Hotra, O. Hotra, **P. Komada**, A. Kotyra, A. Smolarz, B. Stadnyk: Mikro i optoelektroniczne czujniki w pomiarach procesów cieplnych. Wydawnictwo Lubelskiego Towarzystwa Naukowego, Lublin 2001.
- C5. A. Kotyra, W. Wójcik, T. Golec, **P. Komada**: Ocena stabilności płomienia na podstawie cech jego kształtu. Materiały X Konferencja Światłowodów i Ich Zastosowania, Krasnobród 2006, T. II, 578–582.
- C6. A. Kotyra, W. Wójcik, T. Golec, **P. Komada**: Assessment of flame stability based on its image features. Proceedings of SPIE, 2007, vol. 6608, 66081F.
- C7. W. Wójcik, S. Ciężczyk, **P. Komada**, P. Popiel: Optyczna metoda oznaczania węgla całkowitego w popiele lotnym przy współspalaniu biomasy z pyłem węglowym. Elektronika: Konstrukcje, Technologie, Zastosowania, 2010, nr 6, 105–107.
- C8. I. Makara, O. Kozhukhar, **P. Komada**, S. Dussembayeva: Diagnostic opto-electronic system for measuring physical and biological characteristics of the skin in vivo. Proceedings of SPIE, 2015, vol. 9816, 98161P.
- C9. S. Y. Tuzhanskyi, A. M. Sakhno, **P. Komada**, G. Kashaganova: Fiber optic gyroscope based on the registration of the spatial interference pattern. Proceedings of SPIE, 2015, vol. 9816, 98160Z.
- C10. W. Wójcik, **P. Komada**, P. Kisała: Sposób i układ pomiaru rozkładu naprężenia liniowego: BIULETYN URZĘDU PATENTOWEGO, 2012, vol. 40, 26 (1017), 51–51.

Komada Paweł