

# Autoreferat

## 1. Imię i Nazwisko.

Dr inż. Jacek Andrzej Czarnigowski

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

- |      |   |
|------|---|
| 1994 | technik mechanik specjalność: obróbka skrawaniem, Technikum Mechaniczne w Radzynie Podlaskim ukończone z najwyższą średnią  |
| 1999 | magister inżynier: Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, kierunek: Mechanika i Budowa Maszyn, specjalność: Samochody i Ciągniki. Uzyskany 12 stycznia 1999 roku z oceną ogólną bardzo dobrą. Praca dyplomowa na temat „System badawczy układu silnik-sterownik”. Średnia ocen z całego toku studiów 5,08      |
| 2000 | kwalifikacje pedagogiczne: Studium Pedagogiczne Politechnika Lubelska, uzyskane 5.07.2000 z oceną celującą  |
| 2003 | stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn uzyskany 12 marca 2003 na Politechnice Lubelskiej, Wydział Mechaniczny, praca p.t.: „Badania silnika o zapłonie iskrowym w aspekcie sterowania prędkością obrotową biegu jałowego”, promotor: dr hab. inż. Mirosław Wendeker, prof. PL |

## 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

### Miejsce zatrudnienia:

Politechnika Lubelska,  
Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn  
Ul. Nadbystrzycka 36,  
20-618 Lublin

**Historia zatrudnienia:**

02.1998 – 02.1999 asystent-stażysta w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Lubelskiej

1.04.1999 – 30.09.2003 asystent w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Lubelskiej

Od 1.10.2003 adiunkt w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Lubelskiej

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):**

**a) Osiągnięcie naukowe**

Moje osiągnięcie naukowe w rozumieniu Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, art. 16 pkt 2. stanowi autorska monografia pt.: **Teoretyczno-empiryczne studium modelowania impulsowego wtryskiwacza gazu**, Monografie, Politechnika Lubelska, Lublin 2012.

**b) Omówienie celu naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.**

Podstawowym kierunkiem prac naukowych w dziedzinie rozwoju silników spalinowych jest redukcja emisji zanieczyszczeń, rozumiana nie tylko jako obniżenie toksyczności spalin, ale także zmniejszenie emisji dwutlenku węgla. Jednym z proponowanych i szeroko rozwijanych rozwiązań jest zastosowanie paliw o zmniejszonej zawartości węgla, w tym przede wszystkim paliw gazowych. Użycie paliwa gazowego w silniku projektowanym jako zasilany paliwem ciekłym wymaga przeprowadzenia optymalizacji procesu tworzenia i spalania mieszanki paliwowo powietrznej. Aby uzyskać mieszankę o wymaganym składzie i pożądanym rozmieszczeniu jej w komorze spalania konieczna jest znajomość charakterystyk masowych i czasowych elementu wykonawczego, jakim jest impulsowy wtryskiwacz gazu. Pozwoli to na określenie odpowiedniego czasu trwania impulsu sterującego oraz jego czasowego usytuowania w cyklu silnikowym.

W odróżnieniu od impulsowych wtryskiwaczy paliw płynnych, impulsowe wtryskiwacze gazu charakteryzują się znacznie większymi (o większej masie i wymiarach) elementami zaworowymi, poruszającymi się w większym zakresie skoku, dlatego charakteryzują się większą masową bezwładnością i opóźnieniem działania. Wpływa to istotnie zarówno na charakterystykę czasową jak i masową takich wtryskiwaczy. W literaturze naukowej występuje niedostatek publikacji opisujących w sposób wyczerpujący tę tematykę.

Celem poznawczym mojej monografii pt.: **Teoretyczno-empiryczne studium modelowania impulsowego wtryskiwacza gazu** (Monografie, Politechnika Lubelska, Lublin 2012) było wyznaczenie, określenie i kategoryzacja wewnętrznych (konstrukcja) i zewnętrznych (warunki pracy) czynników

wpływających na wielkości opóźnień i przesunięć czasowych mających miejsce podczas działania impulsowych wtryskiwaczy gazowych.

Celem empirycznym pracy było opracowanie wyjaśniającego modelu matematycznego impulsowego wtryskiwacza gazu, pozwalającego na zrozumienie i opisanie zależności czasowych pomiędzy impulsem sterującym generowanym przez sterownik, ruchem elementu zaworowego i wynikowym przepływem gazu. Model uwzględnia warunki pracy wtryskiwacza (ciśnienie zasilania gazu, napięcie zasilania elektrycznego, parametry impulsu sterującego) oraz konstrukcję wtryskiwacza (parametry elektryczne cewki, rodzaj i wielkość elementu zaworowego, sposób regulacji wydatku).

Przeprowadziłem badania na sześciu odmiennych konstrukcjach impulsowego wtryskiwacza gazu, wykazując istotną zależność charakterystyk czasowych i masowych od cech konstrukcyjnych wtryskiwacza, ciśnienia zasilania, czasu impulsu sterującego, napięcia zasilania oraz od parametrów sygnału sterującego (parametrów sterowania modulowanego). Opisanymi badaniami wykazałem, że:

1. Podczas działania impulsowego wtryskiwacza gazu występują znaczące przesunięcia czasowe między impulsem sterującym a rzeczywistym wypływem gazu. Obejmują one zarówno opóźnienie wypływu gazu w stosunku do początku impulsu sterującego jak też przedłużenie wypływu gazu po zakończeniu impulsu sterującego.
2. Czasy opóźnień przy otwieraniu i zamykaniu impulsowego wtryskiwacza gazu nie są sobie równe co powoduje, że czas trwania rzeczywistego wypływu gazu jest różny od czasu trwania impulsu sterującego. Skutkuje to przesunięciem charakterystyki masowej względem osi czasu tak, że jej linia aproksymacji nie przechodzi przez środek układu współrzędnych charakterystyki masowej.
3. Spośród czynników zewnętrznych największy wpływ na charakterystykę masową i czasową impulsowych wtryskiwaczy gazu ma przyjęte ciśnienie zasilania. Duży wpływ mają także parametry ich sterowania: napięcie zasilania oraz parametry impulsu modulowanego.
4. Spośród czynników wewnętrznych (cech konstrukcyjnych impulsowych wtryskiwaczy gazu) największy wpływ na ich charakterystyki ma sposób kalibracji. Wtryskiwacze kalibrowane skokiem wykazują się znacznie mniejszymi opóźnieniami w stosunku do wtryskiwaczy kalibrowanych średnicą otworu.

Wszystkie w/w wnioski zostały poparte sformułowanymi zależnościami empirycznymi, stanowiącymi elementy modelu.

Do ważniejszych rezultatów uzyskanych w monografii należy także zaliczyć:

1. Dokonanie przeglądu i klasyfikacji konstrukcji impulsowych wtryskiwaczy gazu.
2. Określenie zakresu zmienności wielkości wejściowych do modelu (zmiennych niezależnych) w czasie eksploatacji na podstawie badań pojazdowych.
3. Opracowanie metody pomiaru zależności czasowych między impulsem sterującym a ruchem elementu zaworowego na stanowisku pozasilnikowym.
4. Opracowanie metody symulacji przepływu gazu w stanach nieustalonych przez impulsowy wtryskiwacza gazu z wykorzystaniem komputerowego modelowania mechaniki płynów na modelach trójwymiarowych ze zmienną geometrią w czasie symulacji.

Opracowany model może zostać użyty jako narzędzie wspomagające proces projektowania konstrukcji wtryskiwacza oraz proces projektowania algorytmu sterującego wtryskiwaczem. Następnym sposobem wykorzystania modelu jest opracowywanie koncepcji badań jakościowych i produkcyjnych, uwzględniających różną wrażliwość charakterystyk dynamicznych wtryskiwacza na rozrzut produkcyjny elementów składowych konstrukcji (cewki elektromagnetycznej, dyszy wtryskowej itp.).

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.**

Moja działalność naukowa rozpoczęła się jeszcze w okresie studiów: byłem zaangażowany w realizację dwóch projektów badawczych realizowanych przez Katedrę Podstaw Konstrukcji Maszyn oraz Katedrę Silników Spalinowych. Prace te zaowocowały trzema referatami wygłoszonymi na Sympozjum Studenckich Kół Naukowych w 1998 i 1999 roku [Wykaz dorobku: D11, D12, D13], publikacją jednej pracy w polskim czasopiśmie naukowym [D1] oraz pracą magisterską obronioną w 1999 roku.

Po ukończeniu studiów kontynuowałem prace naukowe pod kierunkiem dr inż. Mirosława Wendekera oraz prof. dr hab. inż. Krzysztofa Wituszyńskiego, pracując jako asystent w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn. Prowadzone przeze mnie prace naukowe związane były z układami sterowania silnikami spalinowymi. Zawierały w sobie zarówno prace eksperymentalne jak i prace modelowe. Koncentrowały się one na układach sterowania zapłonem oraz ilością powietrza podczas pracy silnika na biegu jałowym. W latach 1999 – 2003 prowadziłem prace w ramach dwóch projektów badawczych realizowanych w Katedrze Silników Spalinowych, a ich wyniki pozwoliły mi na opracowanie rozprawy doktorskiej pt. „Badania silnika o zapłonie iskrowym w aspekcie sterowania prędkością obrotową biegu jałowego” prowadzonej pod kierunkiem dr hab. inż. Mirosława Wendekera. Pracę doktorską obroniłem 12 marca 2003 roku na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej. Aktywność naukowa podjęta w tym okresie zaowocowała także jedenastoma pracami naukowymi opublikowanymi w polskich i zagranicznych czasopismach naukowych oraz wygłoszonymi na konferencjach naukowych [D2 – D10, D14 – D16].

Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałem prace w zespole badawczym prowadzonym przez dr hab. inż. Mirosława Wendekera. Moje prace koncentrowały się wokół sterowania silnikami spalinowymi i dotyczyły optymalizacji układów zasilania paliwem tłokowych silników spalinowych. Prace te prowadzone były w ramach kolejnych trzech projektów badawczych:

1. Projekt badawczy Komitetu Badań Naukowych: 5 T12D 014 22 „Sterowanie i diagnostyka procesu spalania tłokowego silnika spalinowego w oparciu o sygnał światłowodowego czujnika ciśnienia typu side-hole”, 2002 – 2004.
2. Projekt badawczy Komitetu Badań Naukowych: 4 T12D 034 28 „Widmo rozruchu silnika spalinowego o zapłonie iskrowym jako nowe kryterium oceny warunków eksploatacji samochodu”, 2005 – 2006.
3. Projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Zasilanie wodorem silników spalinowych” umowa nr 4519/B/T02/2010/39, 2010 – 2012.

We wszystkich tych projektach uczestniczyłem jako główny wykonawca, lokując swoje działania w kierunku dalszego rozwoju algorytmów sterowania silnikami spalinowymi. Szczególną uwagę skoncentrowałem na przygotowaniu, przeprowadzaniu i analizie wyników badań stanowiskowych w celu identyfikacji parametrów algorytmów sterowania oraz ich optymalizacji. Prace te zaowocowały szeregiem publikacji o tematyce algorytmów sterowania, w tym jedna w czasopiśmie wyróżnionym w Journal Citation Reports [H7], dwóch artykułów w czasopismach recenzowanych o zasięgu międzynarodowym [H29, H32] oraz osiem w wydawnictwach konferencyjnych [H41, H42, H43, H45, H46, H47, H48, H49].

Analizując wyniki zwróciłem szczególną uwagę na niestabilność i niepowtarzalność pracy silnika jako obiektu sterowania. Podjąłem szereg prac mających za zadanie opisanie tychże zjawisk oraz określenie ich przyczyn. Ten zakres prac naukowych przyniósł siedem publikacji w czasopismach wyróżnionych w Journal Citation Reports [H1, H2, H3, H4, H5, H6, H9] oraz dwie w wydawnictwach konferencyjnych [H51, H53].

Osiągnięcia teoretyczne i praktyczne zespołu naukowego, którego jestem członkiem, w obszarze zaawansowanych technologii, zwróciły uwagę przemysłu motoryzacyjnego i lotniczego. Pierwszym projektem realizowanym we współpracy z przemysłem był projekt celowy Ministerstwa Nauki i Informatyzacji: nr 03642/CT12-6/2005 „Układ sterowania sekwencyjnym wtryskiem gazu LPG do silników o zapłonie iskrowym” 2005 – 2006, w którym pracowałem jako główny wykonawca. W projekcie tym moim zadaniem było prowadzenie prac badawczych w zakresie identyfikacji parametrów algorytmów sterowania, analizą zjawisk związanych z działaniem układów zasilania oraz testowaniem opracowanych algorytmów na pojazdach. Wynikiem projektu były dwa wdrożenia, których jestem współautorem: układu drugiej generacji zasilania silników gazem LPG – DETEC Basic, oraz układu czwartej generacji GasTech. Oba układy zostały wprowadzone do produkcji w 2006 roku przez firmę DT Gas System z Lublina. W ramach wdrażania obu tych systemów gazowych zostałem także w 2004 roku zatrudniony w firmie DT Gas System na stanowisku kierownika Działu Badawczo-Rozwojowego, gdzie zajmowałem się badaniami opracowanej konstrukcji w wybranych pojazdach oraz przygotowaniem i przeprowadzeniem badań homologacyjnych opracowanych systemów.

Osiągnięcia uzyskane w ramach tego projektu zostały wysoko ocenione nie tylko przez partnera przemysłowego, ale także przez Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Zaowocowało to realizacją dalszych prac rozwojowych:

1. Projekt rozwojowy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego: nr 0434/T02/2006/01 „Układ sterowania sekwencyjnym wtryskiem gazu CNG do silników o zapłonie iskrowym”, 2006 – 2009.
2. Projekt rozwojowy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego: nr 0506/R/T02/2009/06 „System wodorowego wspomaganie spalania w silnikach samochodowych”, 2009 – 2011.
3. Projekt badawczo-rozwojowy Ministerstwa Rozwoju Regionalnego Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka WND-POIG.01.03.01-00-036/08-00: „Zasilanie wodorem silnika Wankla”, 2009 – 2011.

We wszystkich tych projektach pełniłem rolę głównego wykonawcy.

Moja praca koncentrowała się wokół analiz tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej w silnikach zasilanych paliwami gazowymi. Początkowo prowadziłem stanowiskowe badania wpływu

umiejscowienia punktu podawania paliwa gazowego do kolektora dolotowego oraz wpływu kąta wyprzedzenia wtrysku na parametry pracy silnika. Prace na ten temat opublikowałem w czasopismach o zasięgu międzynarodowym [H13, H18, H20], jako rozdział monografii [H37, H38] oraz w wydawnictwach konferencyjnych [H44, H55, H56].

Kolejnym etapem prowadzonych przeze mnie analiz były badania symulacyjne wykorzystujące metodę trójwymiarowej numerycznej mechaniki płynów (CFD). W tym celu ukończyłem szkolenia w zakresie modelowania maszyn przepływowych przy wykorzystaniu trzech systemów symulacyjnych: StarCD, AVL Fire oraz ANSYS Fluent. Pozwoliło to na prowadzenie przeze mnie prac symulacyjnych, których wyniki zaprezentowano w czasopismach o zasięgu międzynarodowym [H14, H19, H27, H31] oraz w rozdziale monografii [H39].

Badania te zwróciły moją uwagę na najważniejszy element wykonawczy układu sterowania zasilania paliwem gazowym silników spalinowych: impulsowy wtryskiwacz gazu. Prowadzone prace, zarówno badawcze jak i wdrożeniowe, wykazały, że wtryskiwacz jest kluczowym elementem układu, znacząco wpływającym na jakość jego pracy. Dlatego też rozpocząłem prace mające na celu opis działania impulsowego wtryskiwacza gazu oraz wyjaśnienia zjawisk w nim występujących. Prace swoje skoncentrowałem na:

- a) opracowaniu metod pomiaru parametrów charakterystyki czasowej impulsowego wtryskiwacza gazu [H11, H33];
- b) badaniach stanowiskowych wpływu wybranych parametrów pracy impulsowego wtryskiwacza gazu na jego charakterystyki [H24, H26, H30, H34];
- c) badaniach symulacyjnych opisujących zjawiska zachodzące wewnątrz impulsowych wtryskiwaczy gazu [H21, H22, H40, H52].

Prowadzone przeze mnie badania wpisują się w jeden z głównych kierunków wskazanych w Krajowym Programie Badań ustanowionym uchwałą nr 164/2011 przez Radę Ministrów dnia 16 sierpnia 2011 roku. Zgodnie z tym programem, badania naukowe powinny wspierać Narodowy Program Rozwoju Gospodarki Niskoemisyjnej poprzez, między innymi, rozwijanie technologii wykorzystujących niekonwencjonalne surowce energetyczne, takie jak paliwa gazowe. W związku z tym moje dotychczasowe osiągnięcia oraz założenia dalszych prac zostały docenione przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w formie przyznania środków na realizację projektu badawczego habilitacyjnego pt. „Model impulsowego wtryskiwacza gazu do silników spalinowych” nr umowy: 4839/B/T02/2010/39. Wynikiem tego projektu jest monografia stanowiąca podstawę niniejszego wniosku.

Kolejnym efektem moich prac w tej dziedzinie było opracowanie i wdrożenie do seryjnej produkcji wtryskiwacza paliwa gazowego WGs, którego jestem współtwórcą. Produkcja wtryskiwaczy została uruchomiona w 2011 roku przez firmę BD Plus Andrzej Przyowicz z Lublina. Ponadto, jestem współautorem dwóch unikatowych stanowisk badawczo-produkcyjnych wtryskiwaczy gazowych wykonanych w 2011 roku na zamówienie producenta wtryskiwaczy.

Prowadzone przeze mnie prace w zakresie rozwoju układów wtrysku paliwa gazowego zaowocowały także trzema zgłoszeniami patentowymi. Wszystkie zgłoszenia dokonane były we współautorstwie. Dwa zgłoszenia złożono w 2008 roku:

- „Urządzenie dozowania gazu, zwłaszcza do silników spalinowych” - zgłoszenie patentowe nr P-385861 z dnia 11.08.2008 autorzy Mirosław Wendeker, Jacek Czarnigowski, Piotr Jakliński
- „Układ i sposób zasilania paliwem gazowym silników spalinowych” - zgłoszenie patentowe nr P-385860 z dnia 11.08.2008 autorzy Mirosław Wendeker, Jacek Czarnigowski, Piotr Jakliński (patent przyznany – nr P-385860).

Trzecie zgłoszenie pt. „Reduktor ciśnienia gazu, zwłaszcza do systemów zasilania silników spalinowych” - zgłoszenie patentowe nr P.393248 z dnia 13.12.2010 r. którego autorami są Mirosław Wendeker, Jacek Czarnigowski, Mariusz Duk, Konrad Pietrykowski, Rafał Sochaczewski, Marcin Szlachetka, Michał Biały, Paweł Magryta, Jakub Klimkiewicz, zostało nagrodzony na targach WIPO – World Intellectual Property Organization w Kielcach 11 maja 2012 roku.

Równolegle do prac prowadzonych w zakresie układów zasilania silników spalinowych paliwami gazowymi, prowadziłem wraz z zespołem badania nad opracowanie, optymalizacją oraz certyfikacją układów wtrysku paliwa do tłokowych silników lotniczych. Prace te prowadzone były w ramach trzech projektów:

1. Projekt celowy Ministerstwa Nauki i Informatyzacji: nr 03605/CT12-6/2005 „Opracowanie i wdrożenie elektronicznego układu sterowania pracą lotniczego silnika tłokowego dużej mocy K9-E”, 2005 – 2009.
2. Projekt celowy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego: nr 04305/C.ZR6-6/2008 „Wielopaliwowy system zasilania silnika ASz-62IR”, 2009 – 2011.
3. Projekt z 7 Programu Ramowego Unii Europejskiej Clean Sky nr SP1-JTI-CS-2010- 5-GRC-04-003: „Integration studies of an optimal Diesel engine matching the ideal light rotorcraft platform characteristics”, 2011-2013.

W wszystkich powyższych projektach pełniłem funkcję głównego wykonawcy lub kierownika zespołu. Wyniki badań zostały opublikowane w czasopismach wyróżnionych w Journal Citation Report [H8, H10], czasopismach o zasięgu międzynarodowym [H15, H17, H23, H25, H28] oraz w wydawnictwach konferencyjnych [H53]. Głównym problemem badawczym projektów było opracowanie zaawansowanej technologii pod kątem jej wdrożenia do produkcji. Efektem tych prac było trzecie wdrożenie, którego jestem współautorem: układ sterowania silnika lotniczego ASz-62IR produkowany przez firmę WSK „PZL Kalisz” S.A. z Kalisza. Układ ten został wprowadzony do produkcji w 2010 roku.

W ramach współpracy z firmą WSK „PZL Kalisz” S.A. z Kalisza opracowałem i wykonałem układ nadzoru i automatycznej rejestracji sygnałów pomiarowych na stanowisku prób produkcyjnych tłokowych silników lotniczych. Istniejące stanowisko badawczo-produkcyjne zostało zmodernizowane w celu zwiększenia automatyzacji procesu prób produkcyjnych oraz znaczącego zwiększenia możliwości prób badawczych. Moim zadaniem w tej pracy było zarządzanie projektem oraz opracowanie i oprogramowanie układów pomiarowych wraz z metodą automatycznej rejestracji wyników.

Podsumowując moje osiągnięcia naukowo-badawcze chciałbym podkreślić, że w okresie od zakończenia doktoratu:

- a) opublikowałem łącznie 57 prac naukowych (w tym 8 samodzielnych) z czego 11 w czasopiśmie zagranicznych wyróżnionych w Journal Citation Reports (w tym 2 samodzielne);
- b) zostałem współautorem 4 wdrożeń;
- c) zostałem współautorem 1 patentu i 2 zgłoszeń patentowych.

Wyniki swoich prac badawczych przedstawiałem na dwunastu konferencjach naukowych, w tym na czterech zagranicznych (Society of Automotive Engineering: w roku 2000 w Detroit, USA, w 2003 i 2005 roku na Capri, Włochy, w 2007 roku w Kyoto, Japonia) i ośmiu międzynarodowych odbywających się na terenie Polski (KONES 1999, 2001, 2002, Kongres PTNSS 2005, 2007, 2009 i 2011 oraz Silniki gazowe 2010). Prezentowałem je także na zagranicznych uniwersytetach w ramach programów wymiany międzynarodowej pracowników uczelni: University of Brighton, Wielka Brytania 2005, Università Degli Studi di Trieste, Włochy: 2005, 2008, 2009, 2011 oraz w czasie seminarium w firmie „AVL Simulation Tools – Practical Applications” AVL, Graz, Austria.

Za działalność naukową trzykrotnie otrzymałem nagrodę Rektora Politechniki Lubelskiej: nagrodę zespołową I-go stopnia w 2001 roku oraz nagrody zespołowe II-go stopnia w 2004 i 2011 roku.

Jack Garaiński