

Załącznik 3

do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego
dr inż. Wojciech Karpiuk

Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Wojciech Karpiuk

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

- 23.03.2011 r. Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu – doktor nauk technicznych, praca pt. *Badanie przydatności paliw alternatywnych do silników o zapłonie samoczynnym w różnych warunkach wtrysku paliwa*, dziedzina: nauki techniczne, dyscyplina: budowa i eksploatacja maszyn, obrona 14.03.2011 r.
- 03.07.2006 r. Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny – magister inżynier, kierunek: budowa i eksploatacja maszyn, specjalność: samochody i ciągniki, końcowa ocena na dyplomie: bardzo dobry.

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

01.11.2010 – obecnie	Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu (wcześniej Wydział Inżynierii Transportu, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu), Instytut Silników Spalinowych i Napędów (wcześniej Instytut Silników Spalinowych i Transportu), Zakład Silników Spalinowych, pl. Marii Skłodowskiej-Curie 5, 60 – 965 Poznań:
01.10.2012 – obecnie	Adiunkt
01.11.2010 – 30.09.2012	Asystent
01.03.2021 – 31.01.2022	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych "TABOR" w Poznaniu, ul. Warszawska 181, 61 – 055 Poznań, Doradca Naukowo-Techniczny, Specjalista ds. Zarządzania Projektami

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.).

Jako osiągnięcie naukowe, stanowiące istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej *inżynieria mechaniczna*, wskazuję monografię naukową, cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych oraz zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe. Tytuł osiągnięcia naukowego:

Innowacyjne rozwiązania projektowe i konstrukcyjne mające zastosowanie w układach wtryskowych silników spalinowych

Cykl ten tworzy autorska monografia habilitacyjna (P.1), 6 powiązanych tematycznie artykułów naukowych (P. 2 – 7) oraz 5 zrealizowanych oryginalnych osiągnięć projektowych, na potwierdzenie których przedstawiam przyznane patenty (P. 8 – 12).

Monografia

- P.1 *Studium konstrukcji pompy wtryskowej o napędzie hipocykloidalnym* / Wojciech Karpiuk // Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2022, ISBN 978-83-7775-662-1 // liczba stron: 170, okładka twarda
Publikacja stanowi załącznik **5** do wniosku.

Powiązane tematycznie artykuły naukowe

- P.2 *Cavitating Fuel Flows in Hypocycloid Pump from the Perspective of Applying the Effect of Gas Desorption from The Solution with Nucleation of Gas Bubbles* / Wojciech Karpiuk // Advances in Science and Technology Research Journal – 2020, vol. 14, no. 2, s. 56 – 66
Artykuł naukowy recenzowany (100 pktów wg MNiE)
Publikacja stanowi załącznik **6** do wniosku.
Mój wkład procentowy w powstanie publikacji wyniósł 100%.

- P.3 *Use of Gas Desorption Effect in Injection Systems of Diesel Engines* / Maciej Bajerlein, Wojciech Karpiuk, Rafał Smolec // Energies – 2021, vol. 14, no. 1, s.1 – 22
Artykuł naukowy recenzowany (140 pktów wg MNiE)
Publikacja stanowi załącznik **7** do wniosku.
Byłem głównym współautorem artykułu (kolejność autorów alfabetyczna) oraz pomysłodawcą badań. Opracowałem hipotezę badawczą dotyczącą możliwości poprawy wskaźników pracy silnika przy wykorzystaniu w pompie o napędzie hipocykloidalnym efektu desorpcji gazu z roztworu z nukleacją pęcherzy gazowych, która w artykule została potwierdzona. Byłem głównym wykonawcą badań oraz osobą odpowiedzialną za analizę wyników. Byłem ponadto odpowiedzialny za przygotowanie publikacji i jej procedowanie w czasopiśmie

(np. odpowiedzi do recenzentów). Artykuł powstał w ramach projektu, którym kierowałem (m.in. pozyskałem fundusze na jego publikację).
Mój wkład procentowy w powstanie publikacji wyniósł 70%.

P.4 *Application of Gas Dissolved in Fuel in the Aspect of a Hypocycloidal Pump Design* / Maciej Bajerlein, Wojciech Karpiuk, Rafał Smolec // *Energies* – 2022, vol. 15, iss. 23, s. 1 – 18

Artykuł naukowy recenzowany (140 pktów wg MNiE)

Publikacja stanowi załącznik 8 do wniosku.

Byłem głównym współautorem artykułu (kolejność autorów alfabetyczna) oraz pomysłodawcą wykonania badań. W artykule, na podstawie przeprowadzonych badań, określiłem współczynniki rozpuszczalności różnych stężeń CO₂ w oleju napędowym oraz wpływ ilości spalin rozpuszczonych w oleju napędowym na moduł sprężystości objętościowej roztworu. Wraz ze współautorami dowiodłem dobrej rozpuszczalności dwutlenku węgla w paliwie. Współczynniki rozpuszczalności i ściśliwości roztworu oleju napędowego ze spalinami wyznaczyłem zakładając, że owe procesy przebiegają w warunkach izotermicznych i kwazistatycznych. Artykuł, poza opisem zastosowanej metody i wynikami bezpośrednich pomiarów, prezentuje nieopisane do tej pory w literaturze wyniki pomiarów współczynnika rozpuszczalności różnych stężeń spalin w oleju napędowym. Poza ww. byłem główną osobą odpowiedzialną za przygotowanie publikacji i jej procedowanie w czasopiśmie (np. odpowiedzi do recenzentów). Pozyskałem fundusze na publikację artykułu.

Mój wkład procentowy w powstanie publikacji wyniósł 70%.

P.5 *Strength analysis of critical components of high-pressure fuel pump with hypocycloid drive* / Maciej Bajerlein, Mateusz Bor, Wojciech Karpiuk, Rafał Smolec, Mikołaj Spadło // *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences* – 2020, vol. 68, no. 6, s. 1341 – 1350

Artykuł naukowy recenzowany (100 pktów wg MNiE)

Publikacja stanowi załącznik 9 do wniosku.

Byłem głównym współautorem artykułu (kolejność autorów alfabetyczna) oraz pomysłodawcą wykonania symulacji. Przygotowałem trójwymiarowe modele obliczeniowe wykorzystane w symulacjach. Miałem udział w wyborze regul wniosku wykorzystanych w symulacji oraz przypadków obciążeniowych, które były rozpatrzone w analizie wyników. Współtworzyłem analizę wyników. Byłem główną osobą odpowiedzialną za przygotowanie publikacji i jej procedowanie w czasopiśmie (np. odpowiedzi do recenzentów). Artykuł powstał w ramach projektu, którym kierowałem (m.in. pozyskałem fundusze na jego publikację).

Mój wkład procentowy w powstanie publikacji wyniósł 40%.

P.6 *Volumetric losses of the compression process in a hypocycloidal pump in the light of the gas desorption effect* / Maciej Bajerlein, Marek Idzior, Wojciech Karpiuk, Rafał Smolec, // *Combustion Engines*, 2021 no.3 (186), s. 72 – 79

Artykuł naukowy recenzowany (70 pktów wg MNiE)

Publikacja stanowi załącznik 10 do wniosku.

Byłem głównym współautorem artykułu (kolejność autorów alfabetyczna) oraz pomysłodawcą badań pozwalających określić istotny, z punktu widzenia efektu desorpcji, współczynnik rozpuszczalności gazu w oleju napędowym. Byłem twórcą symulacji dynamicznej wykonanej w programie Autodesk Inventor, dzięki której scharakteryzowałem straty objętościowe procesu sprężania w pompie o napędzie hipocykloidalnym. Byłem główną osobą odpowiedzialną za przygotowanie publikacji i jej procedowanie w czasopiśmie (np. odpowiedzi do recenzentów). Pozyskałem fundusze na publikację artykułu. **Mój wkład procentowy w powstanie publikacji wyniósł 80%.**

- P.7 *Modeling of selected design characteristics of cam and hypocycloidal drives of high-pressure fuel pumps* / Mateusz Bor, Tomasz Borowczyk, Wojciech Karpiuk, Rafał Smolec // *Advances in Science and Technology Research Journal* – 2018, vol. 12, no. 2, s. 128 – 136

Artykuł naukowy recenzowany (10 pktów wg MNiSW)

Publikacja stanowi załącznik **11** do wniosku.

Byłem głównym współautorem artykułu (kolejność autorów alfabetyczna) oraz pomysłodawcą badań. Współtworzyłem symulacje mające na celu porównanie wybranych parametrów ruchu tłoczka, w pompach wykorzystujących napęd krzywkowy i hipocykloidalny. Moją rolą było również wykonanie analizy wyników. Byłem główną osobą odpowiedzialną za przygotowanie publikacji i jej procedowanie w czasopiśmie (np. odpowiedzi do recenzentów). Artykuł powstał w ramach projektu, którym kierowałem (m.in. pozyskałem fundusze na jego publikację).

Mój wkład procentowy w powstanie publikacji wyniósł 60%.

Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe

- P.8 Oryginalnym osiągnięciem projektowym, konstrukcyjnym i technologicznym jest stworzenie od podstaw idei i konstrukcji **wysokociśnieniowej pompy wtryskowej wykorzystującej napęd hipocykloidalny.**

Rozwiązanie to zostało opatentowane (*Pompa wysokociśnieniowa do zasilania silnika*, PL 232500, Wojciech Karpiuk, Rafał Smolec, Tomasz Borowczyk – udzielony w 2019).

Publikacja stanowi załącznik **12** do wniosku.

Byłem głównym współautorem koncepcji. Moją rolą było zvalidowanie pomysłu. Przygotowałem ponadto opis patentowy. Rozwiązanie powstało w ramach projektu kierowanego przeze mnie, byłem odpowiedzialny za pozyskanie funduszy umożliwiających publikację.

Mój wkład procentowy w powstanie publikacji wyniósł 50%.

- P.9 Oryginalnym osiągnięciem projektowym i konstrukcyjnym jest stworzenie od podstaw idei i konstrukcji **wzmacniacza ciśnienia paliwa**.
Rozwiązanie to zostało opatentowane (*Wzmacniacz ciśnienia paliwa do zasilania silnika*, PL 230358, Wojciech Karpiuk, Rafał Smolec, Mateusz Bor, Tomasz Borowczyk – udzielony w 2018).
Publikacja stanowi załącznik **13** do wniosku.
Byłem głównym współautorem koncepcji. Moją rolą było zwalidowanie pomysłu. Przygotowałem ponadto opis patentowy. Rozwiązanie powstało w ramach projektu kierowanego przeze mnie, byłem odpowiedzialny za pozyskanie funduszy umożliwiających publikację.
Mój wkład procentowy w powstanie publikacji wyniósł 50%.
- P.10 Oryginalnym osiągnięciem projektowym jest stworzenie od podstaw idei **podciśnieniowego układu uszczelnienia sekcji tłoczącej wysokociśnieniowej pompy paliwa** do silników o zapłonie samoczynnym.
Rozwiązanie to zostało opatentowane (*Podciśnieniowy układ uszczelnienia sekcji tłoczącej wysokociśnieniowej pompy paliwowej*, PL 233347, Wojciech Karpiuk, Rafał Smolec, Mateusz Bor, Tomasz Borowczyk – udzielony w 2019).
Publikacja stanowi załącznik **14** do wniosku.
Byłem głównym współautorem koncepcji. Moją rolą było zwalidowanie pomysłu. Przygotowałem ponadto opis patentowy. Rozwiązanie powstało w ramach projektu kierowanego przeze mnie, byłem odpowiedzialny za pozyskanie funduszy umożliwiających publikację.
Mój wkład procentowy w powstanie publikacji wyniósł 50%.
- P.11 Oryginalnym osiągnięciem projektowym i konstrukcyjnym jest stworzenie od podstaw idei i konstrukcji **wysokociśnieniowej pompy wtryskowej wykorzystującej napęd desmodromiczny**.
Rozwiązanie to zostało opatentowane (*Pompa wysokociśnieniowa do zasilania silnika*, PL 230359, Wojciech Karpiuk, Rafał Smolec, Mateusz Bor, Tomasz Borowczyk – udzielony w 2018).
Publikacja stanowi załącznik **15** do wniosku.
Byłem głównym współautorem koncepcji. Moją rolą było zwalidowanie pomysłu. Przygotowałem ponadto opis patentowy. Rozwiązanie powstało w ramach projektu kierowanego przeze mnie, byłem odpowiedzialny za pozyskanie funduszy umożliwiających publikację.
Mój wkład procentowy w powstanie publikacji wyniósł 50%.
- P.12 Oryginalnym osiągnięciem projektowym jest stworzenie od podstaw idei **układu do oceny szczelności sekcji tłoczących pomp wtryskowych**.
Rozwiązanie to zostało opatentowane (*Układ do oceny szczelności sekcji tłoczących pomp wtryskowych*, PL 237674, Wojciech Karpiuk, Rafał Smolec, Tomasz Borowczyk, Mateusz Bor – udzielony w 2021).
Publikacja stanowi załącznik **16** do wniosku.
Byłem głównym współautorem koncepcji. Moją rolą było zwalidowanie pomysłu. Przygotowałem ponadto opis patentowy. Rozwiązanie powstało w ramach

projektu kierowanego przeze mnie, byłem odpowiedzialny za pozyskanie funduszy umożliwiających publikację.

Mój wkład procentowy w powstanie publikacji wyniósł 50%.

Potwierdzenie współautorów dotyczące mojego merytorycznego oraz procentowego wkładu w powstanie poszczególnych publikacji stanowi załącznik 17.

4.1 Problem badawczy i cel pracy

Geneza

Do najpoważniejszych wad, którymi charakteryzują się współczesne silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym zaliczyć należy nadmierną emisję szkodliwych związków w spalinach. Problem ten rozwiązuje się wieloaspektowo, poczynając od optymalizacji procesu spalania przez zastosowanie pozasilnikowych układów oczyszczania spalin, bądź paliw alternatywnych, skończywszy na znaczących modyfikacjach konstrukcji, a nawet zastępowaniu klasycznych silników spalinowych silnikami elektrycznymi. Niewątpliwie jednak kluczową rolę w powyższych zagadnieniach stanowią układy wtrysku. Obecnie, szczególnie w pojazdach samochodowych z silnikami o zapłonie samoczynnym, przeważają układy typu common rail (CR), które wyparły z rynku systemy wykorzystujące pompę rozdzielaczową oraz pompowtryskiwacze.

Systemy typu common rail umożliwiają osiągnięcie ciśnienia wtrysku do 300 MPa, co przyczynia się do uzyskania małych średnich średnic kropli paliwa. Poprawia się tym samym warunki samozapłonu, jednocześnie umożliwiając podanie dużej dawki, niezbędnej do osiągnięcia mocy maksymalnej ponad 100 KM z 1 dm³ objętości skokowej silnika. Najnowsze wtryskiwacze piezoelektryczne wykorzystywane w układach typu common rail umożliwiają podzielenie dawki paliwa nawet na 10 części, co znacząco przyczynia się do redukcji emisji spalin oraz umożliwia poprawną współpracę z pozasilnikowymi systemami oczyszczania spalin.

Najważniejszym podzespołem systemu odpowiedzialnym za proces tworzenia dużego ciśnienia paliwa jest pompa wtryskowa. Rozwój konstrukcji pomp wtryskowych na przestrzeni ostatnich 25 lat był bardzo intensywny. Mimo tego zarówno pompy wysokiego ciśnienia, jak i – w ogólności – całe systemy wtryskowe, nie są pozbawione wad. Tendencją, którą od wielu lat obserwuje się w tego typu układach, jest podwyższanie ciśnienia wtrysku. Jest to podyktowane przede wszystkim koniecznością spełnienia rygorystycznych norm emisyjnych i nie pozostaje bez wpływu na trwałość zarówno pomp wtryskowych, jak i całych układów zasilania. Zawodność opisywanych konstrukcji jest jednak bardziej złożoną kwestią, niezwiązaną jedynie z podwyższaniem ciśnienia wtrysku. Za uzasadnione uznałem zatem usystematyzowanie podstawowych problemów, które dotyczą układów typu common rail, tak by móc zaproponować ulepszone rozwiązanie.

Problemy użytkowe i tendencje rozwojowe pomp wtryskowych

Zdefiniowanie zarówno podstawowych, jak i złożonych problemów użytkowych wykonałem na podstawie przeanalizowania rozwiązań konstrukcyjnych wykorzystywanych we współczesnych układach zasilania, wytwarzanych przez wiodących producentów (Bosch, Continental, Delphi itd.). Szczegółowe dane na ten temat zawarłem w monografii (P.1). Za

jedną z podstawowych przyczyn defektów pomp uznałem niedostateczną jakość paliw. Należy przy tym wspomnieć, że wspólną cechą wysokociśnieniowych pomp stosowanych w samochodach osobowych wszystkich wiodących producentów jest wykorzystanie paliwa jako środka smarującego. Paliwo podczas pracy pompy jest dostarczane zarówno do sekcji tłoczących, jak i układu napędowego (wałek–krzywka). Niezbędne jest zatem zapewnienie właściwych parametrów smarnych, które pozwolą na wytworzenie filmu olejowego i tym samym separację powierzchni współpracujących.

Jakość paliwa, będącą podstawowym czynnikiem wpływającym na uszkodzenia pomp wtryskowych, podzieliłem ponadto na jakość pierwotną i wtórną. Przyjąłem, że jakość pierwotna to ta, która występuje w chwili zatankowania do zbiornika paliwa pojazdu z dystrybutora na stacji paliw. Kontrolowana jest zgodnie z odpowiednimi normami uwzględniającymi m.in. parametry smarnościowe paliwa. Jakość wtórna to ta, którą ma paliwo dostarczane bezpośrednio do wysokociśnieniowej części układu paliwowego (po przepłynięciu przez pompę zasilającą oraz filtr paliwa). Dla właściwej pracy pomp ma ponadto znaczenie kilka parametrów jakościowych, m.in. zawartość wody i zanieczyszczeń, lepkość czy wspomniana smarność. Należy przy tym pamiętać, że nowe technologie produkcji, związane z procesem odsiarczania, powodują zmniejszenie lepkości i gęstości oleju napędowego, co też w skrajnych sytuacjach może wpływać na działanie układu wtryskowego. Z kolei zbyt duża zawartość wody doprowadza do korozji układu paliwowego i powstania rdzy, czyli trwałych wytrąceń, które powodują szybsze zapchanie filtra paliwowego, a w konsekwencji wnikają w obszar działania ruchomych elementów pompy (między parą precyzyjne tłoczek–cylinderka, tłoczki zaworów sterujących, przylganie zaworów), intensyfikując erozję ścierną. Analogiczne zjawiska występują przy zbyt dużej zawartości zanieczyszczeń.

Analiza poszczególnych konstrukcji układów wtryskowych zawarta w monografii (**P.1**), doprowadziła mnie z kolei do wniosku, że czynnikiem sprzyjającym powstawaniu i postępowaniu uszkodzeń układów wtryskowych jest niewłaściwa konstrukcja zarówno pompy zasilającej (niskociśnieniowej), jak i wysokociśnieniowej. Tym samym pod względem użytkowym ważne jest to, aby zwiększone siły występujące w układzie napędowym pompy nie przekładały się na zwiększenie zużycia w parze precyzyjnej cylinderka i tłoczka oraz w obszarze krzywki i popychacza. Analiza problemu doprowadziła mnie do wniosku, że najczęstsze z wad konstrukcyjnych dotyczą napędu tłoczka pompy (np. pękające talerzyki w pompie Bosch CP1, obracające się rolki popychacza w pompie Bosch CP4 czy wycierający się pierścień krzywkowy w konstrukcjach Delphi), ale równie często możemy się spotkać z uszkodzeniami zaworów nisko- i wysokociśnieniowych odpowiedzialnych za zapewnienie odpowiedniego smarowania elementów pompy.

Przeprowadzone analizy pozwoliły mi na usystematyzowanie przyczyn uszkodzeń pomp wtryskowych stosowanych w systemach typu common rail. Wyróżniłem w tym zakresie cztery grupy: a) związane z jakością paliwa, b) wynikające z wad konstrukcyjnych, c) wynikające z błędów w naprawie, d) stanowiące uszkodzenia złożone (rys. 1).



Rys. 1. Przyczyny uszkodzeń pomp wtryskowych w systemach typu common rail

W toku opisanych powyżej analiz doszedłem do wniosku, że zwiększenie trwałości pomp można osiągnąć m.in. przez:

- a) zapewnienie niezależnego smarowania układu napędu sekcji,
- b) zmianę lub modyfikację dotychczas stosowanego układu krzywkowego w celu zmniejszenia wpływu zastosowanego środka smarnego,
- c) podjęcie prób wykorzystania nowoczesnych materiałów o dużej odporności na pracę w warunkach zwiększonego tarcia (np. materiały z grupy ceramik inżynierskich).

Stwierdziłem jednocześnie, że aby móc zaproponować nowe rozwiązania konstrukcyjne, powinienem ponadto przeanalizować tendencje rozwojowe w wysokociśnieniowych pompach. Nie ograniczałem się przy tym jedynie do pomp paliwowych. Analizując ten aspekt, zauważyłem w najnowszych rozwiązaniach dążenie do zmniejszania liczby sekcji tłoczących do jednej, przy równoczesnej redukcji rozmiarów zewnętrznych. Osiąga się dzięki temu dwa zasadnicze cele. Po pierwsze w sposób znaczący zmniejsza się powierzchnia styku elementów współpracujących, dzięki czemu zredukowane jest tarcie wewnętrzne, to zaś sprawia, że ograniczona zostaje moc pobierana przez pompę. Może ona wynosić nawet do 5 kW, co stanowi istotną część mocy generowanej przez silnik pojazdu. Drugim celem redukcji liczby sekcji tłoczących jest ułatwienie synchronizacji procesu tłoczenia z procesem wtrysku.

Wychodząc naprzeciw problemom związanym z niewystarczającą jakością paliwa, producenci podejmują kroki zmieniające system smarowania wnętrza pompy. W zagadnieniu tym dużym wyzwaniem jest zapewnienie właściwej szczelności sekcji tłoczących. Innowacyjne podejście do tego tematu zaprezentował Bosch w prototypowym rozwiązaniu CP4i. Pompa ma być urządzeniem typu plug-in, wyposażonym we własną krzywkę, napędzanym wałkiem rozrządu lub nawet wałem korbowym silnika. koncepcja przypomina rozwiązania stosowane w pompowtryskiwaczach, co również w rozumieniu zastosowania systemów mieszanych, uznać należy za trend w ewolucji konstrukcji pomp wtryskowych. Producent tym samym

zrezygnował ze stosowania typowej obudowy pompy, przewidując jej montaż bezpośrednio w bloku silnikowym. Wykorzystanie zaawansowanego systemu uszczelnień pozwala według deklaracji producenta utrzymać niekorzystne przecieki oleju napędowego do oleju silnikowego na poziomie nie większym niż 1 ml na milion cykli pracy przy sprawności hydraulicznej 95%.

Przy okazji trendów, jakie pojawiają się w najnowszych konstrukcjach układów wtryskowych, warto wspomnieć o tym, że w celu zwiększenia sprawności pomp producenci przewidują również zmianę sposobu sterowania wydatkiem paliwa. Nowa koncepcja zakłada bezpośrednie sterowanie wypełnieniem sekcji dla każdego cyklu pracy. W fazie ssania zawór jest otwarty i pozwala na całkowite wypełnienie sekcji tłoczącej. Po przejściu tłoka przez dolne skrajne położenie zawór jest zamykany dopiero w chwili, gdy w sekcji znajduje się wymagana ilość paliwa. Podczas wzniosu tłoka nadmiar paliwa powraca kanałem dolotowym do przewodu zasilającego. Zalet tego rozwiązania należy się doszukiwać przede wszystkim w możliwości sterowania pompą w czasie rzeczywistym. Możliwe jest dowolne zwiększenie lub ograniczenie wydatku w następujących po sobie cyklach sprężania, co w połączeniu z synchronizacją położenia wałka pompy z wałem korbowym może być wykorzystane do redukcji szkodliwej objętości zasobnika.

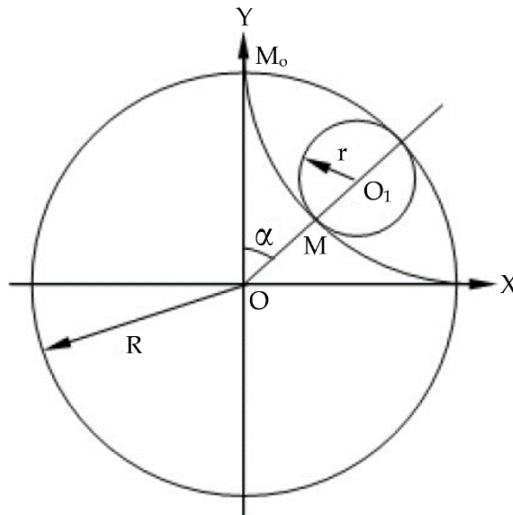
Cel pracy

Przeprowadzenie analizy odnoszącej się zarówno do typowych uszkodzeń najpopularniejszych modeli pomp, jak i tendencji rozwojowych współczesnych układów wtryskowych stanowiło zatem dobry wstęp do zaproponowania nowatorskich idei. Tym samym cel główny pracy zdefiniowałem w sposób ogólny następująco: **opracowanie rozwiązań do układów wtryskowych polepszających ich pracę.**

4.2 Główne osiągnięcia naukowe

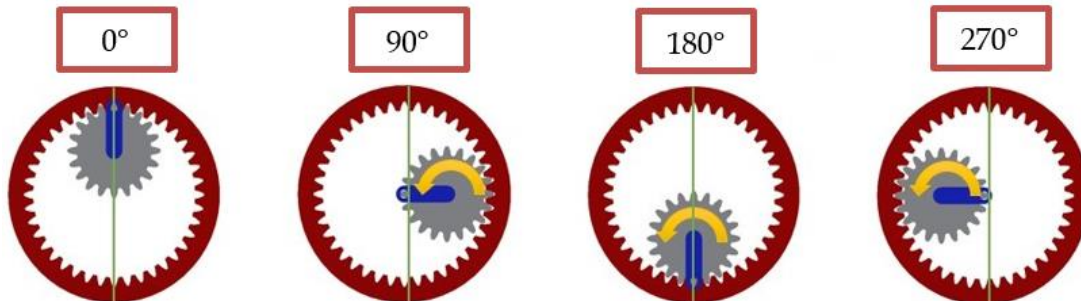
Rozwiązanie opisanych problemów postanowiłem wykonać przez zaproponowanie autorskiej konstrukcji pompy opierającej się na napędzie hipocykloidalnym. Jest to całkowicie innowacyjne podejście nieproponowane nigdy wcześniej w odniesieniu do pomp. Najistotniejszymi pracami w moim dorobku, odnoszącymi się do tego zagadnienia jest publikacja **P.1** tj. monografia *Studium konstrukcji pompy wtryskowej o napędzie hipocykloidalnym* oraz patent (**P.8**) *Pompa wysokociśnieniowa do zasilania silnika*.

Przekładnia hipocykloidalna wykorzystana w konstrukcji składa się z dwóch kół, z których większe (R) ma zazębienie wewnętrzne, a mniejsze (r) – uzębienie zewnętrzne. Moment obrotowy jest doprowadzony do koła mniejszego i wprawia je w ruch obrotowy, natomiast duże koło nie obraca się względem osi. Koło mniejsze porusza się po obwodzie koła większego, a wybrany punkt na promieniu koła mniejszego zakreśla krzywą zwaną hipocykloidą. W celu stworzenia napędu wykonawczego pompy została wykorzystana przekładnia hipocykloidalna o stosunku promieni kół zębatach $R/r = 2$. Taki dobór kół umożliwia uzyskanie wypadkowego ruchu prostoliniowego. Na rysunku 2 przedstawiono założenia teoretyczne mechanizmu, natomiast na rysunku 3 zaprezentowano koncepcję ruchu, tj. schemat pracy przekładni, zaznaczono też prostą, po której porusza się element wodzący mechanizmu.



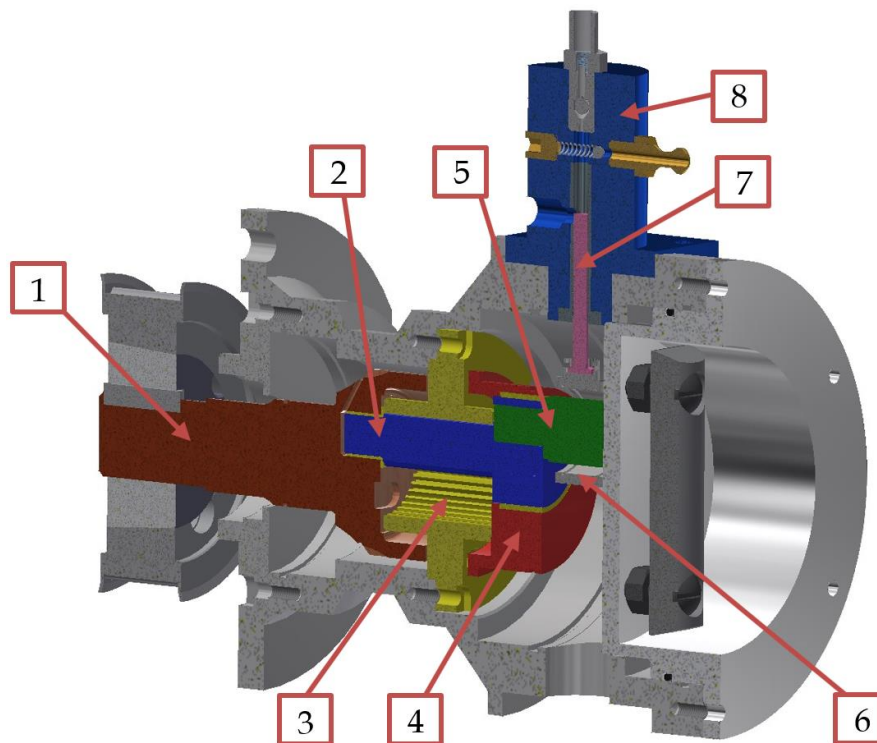
Rys. 2. Założenia teoretyczne mechanizmu hipocykloidalnego

Podstawowa zasada działania rozpatrywanego przypadku przekładni hipocykloidalnej, z której wynika wyeliminowanie sił bocznych w złożeniu tloczek–cylinderek, wykazuje duże możliwości aplikacyjne. Rozwiązanie to jest odpowiedzią na większość opisanych powyżej problemów, ponadto ma potencjał rozwoju w wielu innych ciekawych obszarach dotyczących układów wtryskowych, takich jak np. zastosowanie paliw nietypowych. Z powyższych względów podjąłem próbę zaaplikowania rozwiązania w konstrukcji pompy wtryskowej, mogącej być substytutem m.in. dla pomp wykorzystywanych w układach typu common rail.



Rys. 3. Zasada działania przekładni hipocykloidalnej

Wykonanie obliczeń wstępnych pozwoliło na sporządzenie rysunków konstrukcyjnych. W najprostszym wariantcie z jedną sekcją tłoczącą (rys. 4) pompa jest wyposażona w wał główny (1), do którego doprowadzany jest napęd. W wale tym osadzono mimośrodowo wał pośredni (2) w taki sposób, że możliwy jest wzajemny obrót obu elementów. Na wale pośrednim wykonane jest koło zębate o zębach zewnętrznych, które współpracuje z kołem zębatym (3) zamocowanym nieruchomo do obudowy pompy. Podpora (4) jest natomiast elementem, który współpracuje z wałem pośrednim od strony sekcji tłoczącej. W wale pośrednim jest ponadto zamontowany mimośrodowo trzpień (5), który przy wykorzystaniu łożyska współpracuje z oprawą (6). Do oprawy umocowany jest tłoczek, alternatywnie nurnik (7) wraz z elementem prowadzącym, umieszczonym suwliwie w cylindrze sekcji tłoczącej (8). Wał główny, podpora i trzpień są wyposażone w łożyska.



Rys. 4. Uproszczony model pompy hipocykloidalnej prezentujący najważniejsze elementy konstrukcji; 1 – wał główny, 2 – wał pośredni, 3 – koło zębate, 4 – podpora, 5 – trzpień, 6 – oprawa, 7 – tłoczek (nurnik), 8 – sekcja tłocząca

Jedną z najważniejszych korzyści wynikających z budowy pompy jest duży skok elementu roboczego, równy średnicy podziałowej dużego koła zębatego. W tradycyjnych pompach typu common rail skok elementu roboczego jest nie większy niż 7–8 mm. Dla założonego modułu przekładni oraz liczby zębów 40 skok elementu wykonawczego wynosi 40 mm. Zwielokrotnienie skoku tłoczka przy zachowaniu jego średnicy umożliwia uzyskanie znacznie większego wydatku na jeden cykl pracy.

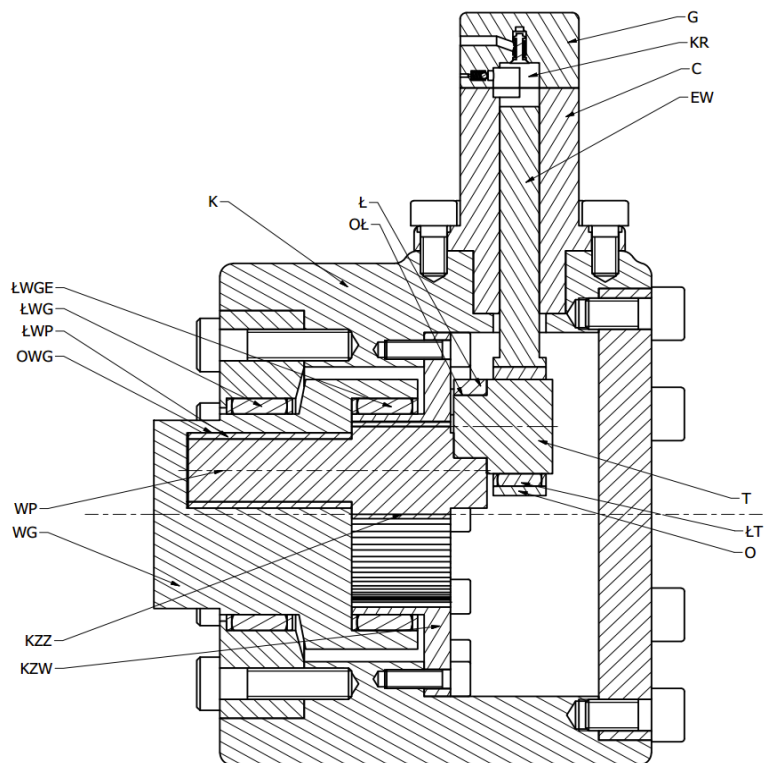
W praktyce rozwiązanie to może prowadzić do osiągnięcia dwóch korzyści:

- uzyskania bardzo małych wymiarów pompy względem wydatku w porównaniu z konwencjonalnymi pompami krzywkowymi,
- znacznego obniżenia sił występujących w mechanizmie pompy dzięki wykorzystaniu dużego wydatku do generowania dużych ciśnień za pomocą mechanicznego wzmacniacza hydraulicznego.

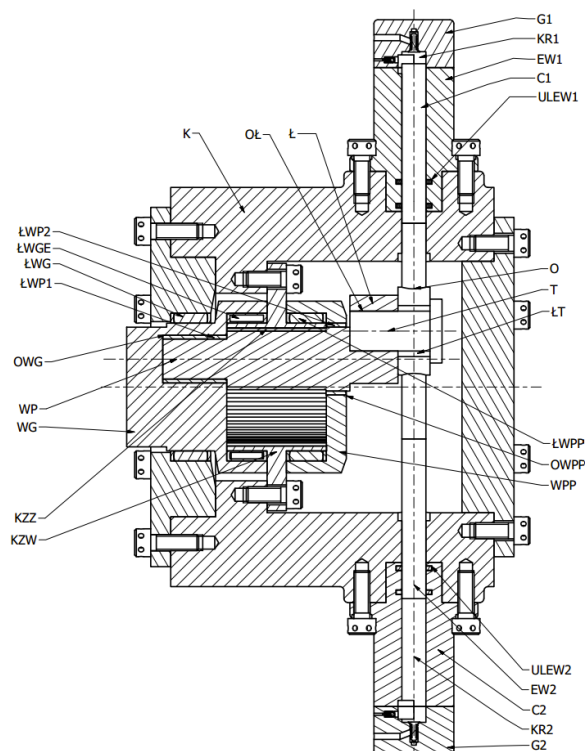
W ramach prac projektowych powstało kilka wariantów rozwiązania (najważniejsze z nich przedstawiono na rysunkach 5–8):

- wariant podstawowy – jedna sekcja tłocząca (rys. 5),
- wariant drugi – dwie sekcje tłoczące, wykorzystanie ceramiki inżynierskiej, uszczelnienia liniowe (rys. 6),
- wariant trzeci – dwie sekcje tłoczące, układ przeciwsobny z podwójnymi wałami pośrednimi i podwójnymi kołami zębatymi (rys. 7),
- wariant czwarty – cztery sekcje tłoczące wyposażone w zawory umożliwiające doprowadzenie gazu do realizacji efektu desorpcji (rys. 8).

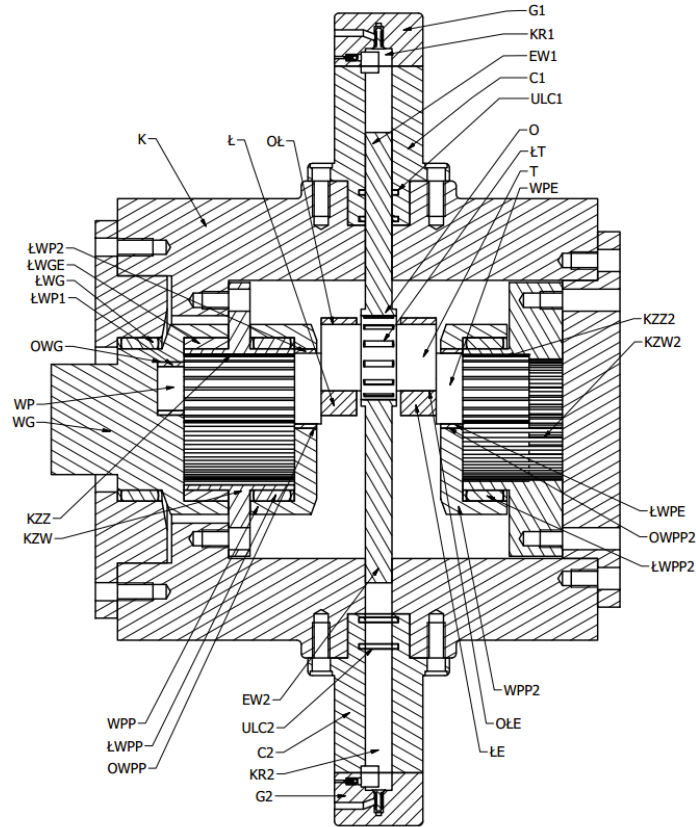
Charakterystykę poszczególnych wariantów pompy przedstawiono w opisie patentowym **P.8**.



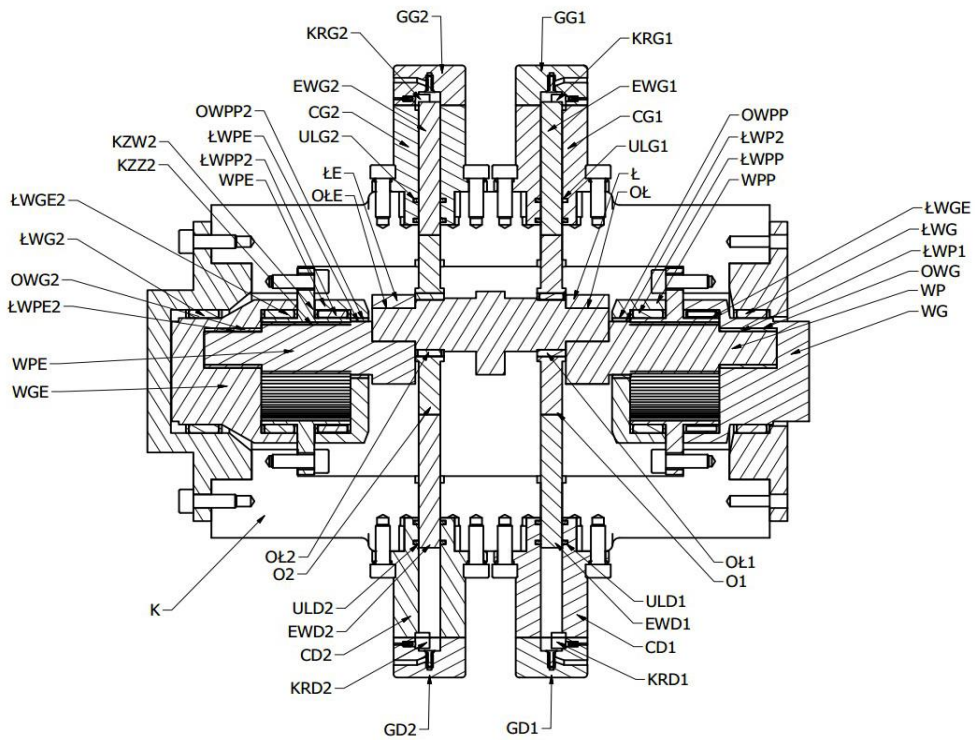
Rys. 5. Pompa wykorzystująca mechanizm hipocykloidalny w wariancie pierwszym
(znaczenie skrótów objaśniono w załączniku 12)



Rys. 6. Pompa wykorzystująca mechanizm hipocykloidalny w wariancie drugim
(znaczenie skrótów objaśniono w załączniku 12)



Rys. 7. Pompa wykorzystująca mechanizm hipocykloidalny w wariacie trzecim (znaczenie skrótów objaśniono w załączniku 12)



Rys. 8. Pompa wykorzystująca mechanizm hipocykloidalny w wariacie czwartym (znaczenie skrótów objaśniono w załączniku 12)

Szczegóły prac nad pompą zostały przedstawione w monografii. Poza powyższymi, do moich osiągnięć naukowych opisanych w **P.1** zaliczam m.in.:

1. wykonanie obliczeń pompy,
2. szczegółowe porównanie wariantu jedno- i dwusekcyjnego pompy,
3. przeanalizowanie rozkładu sił – wykonanie porównania z klasycznym układem krzywkowym (opisane ponadto w publikacji **P.7**),
4. zrealizowanie analizy możliwości wykorzystania ceramiki na elementy sekcji tłoczącej (analiza w oparciu o MES),
5. opracowanie koncepcji niezależnego układu smarowania pompy pozwalającej na użycie w pompie paliw nietypowych.

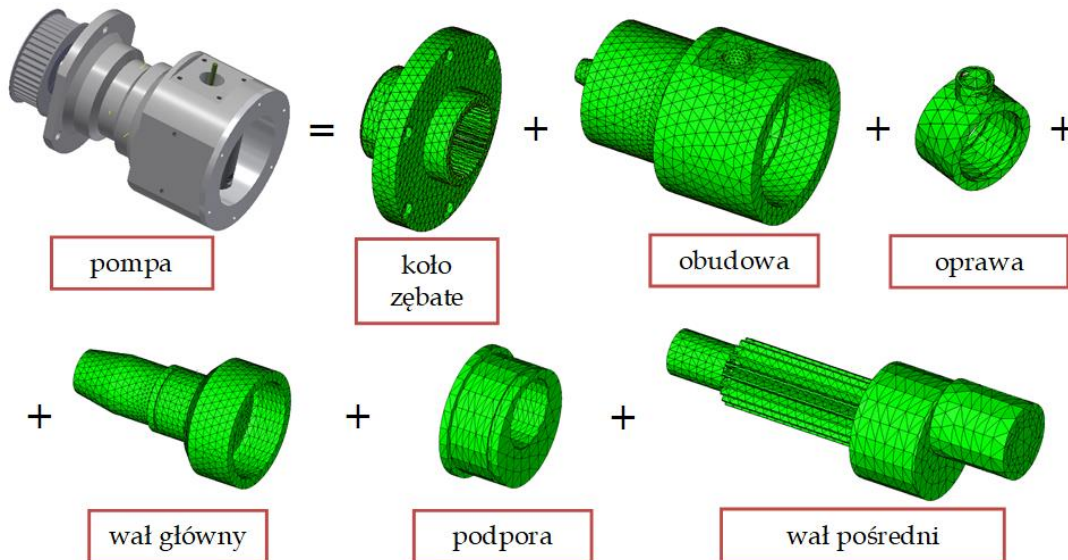
W ramach prowadzonego grantu wraz z zespołem projektowym wykonałem ponadto analizę wytrzymałościową konstrukcji pompy. Prace te zostały ujęte w publikacji **P.5**. Ocenę taką przeprowadzono z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES). Umożliwiło to poznanie naprężeń dopuszczalnych w elementach podzespołu, co na kolejnych etapach tworzenia konstrukcji pozwoliło na właściwy dobór materiałów konstrukcyjnych. Analiza została przeprowadzona dla najważniejszych części pompy, natomiast w publikacji skupiono się na dwóch najbardziej obciążonych elementach: wale pośrednim i oprawie.

Pierwszy z elementów, tj. wał pośredni (rys. 4 i 9), jest częścią pompy odpowiedzialną za przeniesienie napędu – łączy wał główny pompy z sekcją tłoczącą. Wał pośredni pompy, ze względu na złożony stan naprężeń (skręcanie, zginanie) i obciążenie maksymalną siłą będącą efektem spiętrzania paliwa, w największym stopniu jest narażony na uszkodzenie. Obciążenie sekcji tłoczącej wynika z zakładanego maksymalnego ciśnienia paliwa, określonego na poziomie 160 MPa. Obliczona, wynikająca ze średnicy tłoka siła działająca na denko wynosi 5300 N.

Drugi z analizowanych elementów, tj. oprawa (rys. 4 i 9), osadzony jest na wale pośrednim i odpowiada za przekazywanie siły bezpośrednio na tłoczek pompy. Oprawa składa się z pierścienia (współpracującego z wałem pośrednim) oraz obsady, w której zamocowany jest tłoczek. Tłoczek opiera się o podstawę obsady podczas fazy tłoczenia, natomiast w fazie zasysania paliwa jest on ciągnięty w dół przez zawleczkę umocowaną w wycięciu obsady. Można zatem założyć, że największe obciążenie oprawa będzie przenosiła w suwie sprężania paliwa.

W celu oszacowania występujących sił wykonano model MES elementów, określono stany obciążenia przy różnych wariantach luzu (brak, 0,05 mm oraz 0,1 mm) między elementami i dokonano obliczeń wytrzymałościowych elementów, co z uwagi na innowacyjność rozwiązania stanowi moje osiągnięcie naukowe. Za takowe uznać można również wnioski płynące z analizy. Wraz ze współautorami dowiodłem, że głównym czynnikiem determinującym zmianę naprężeń była obecność luzów. Wykonana analiza jednoznacznie dowodzi, że ryzyko uszkodzeń zmęczeniowych będzie wzrastać przy zwiększaniu się luzów, co wywoła jeszcze większe zużycie. Luzy mają negatywny wpływ zwłaszcza na przekładnię – ich wystąpienie skutkuje przenoszeniem obciążeń przez wałek pośredni, a nie przez podporę, która z nim współpracuje. Może to powodować zużycie cierne zębów prowadzące do

niewłaściwej pracy przekładni. Przeprowadzona analiza wykazała ponadto, że dla właściwej pracy przekładni niezbędne jest poprawne wykonanie obróbki powierzchni elementów oraz zachowanie odpowiednich tolerancji wymiarowych – umożliwi to długotrwałą, niezawodną pracę podzespołu. Symulacje potwierdziły, że oprawa pod względem wytrzymałościowym wykonana została właściwie – maksymalne naprężenia osiągają wartość 84 MPa. Pozwala to na użycie mniej wymagających materiałów konstrukcyjnych.

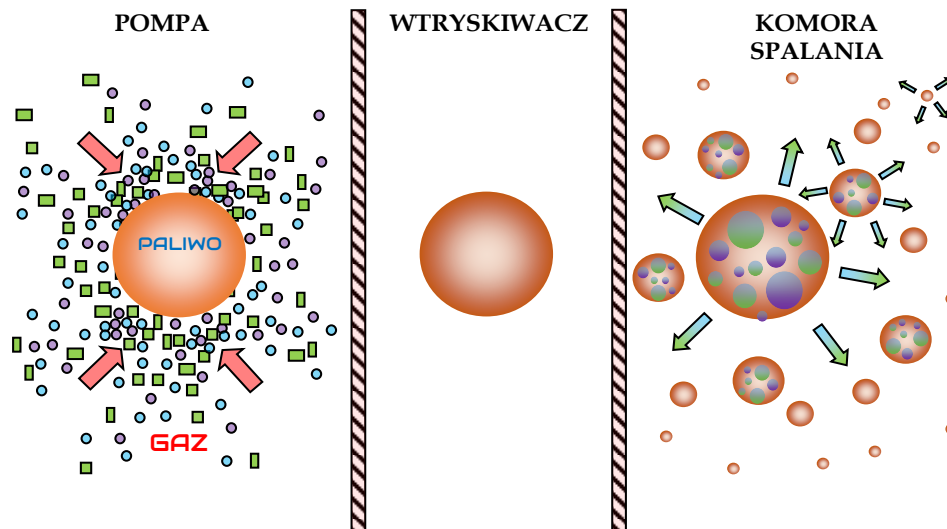


Rys. 9. Uproszczone elementy obliczeniowe pompy wraz z siatką

Inna grupa osiągnięć związanych z pracami nad konstrukcją dotyczy wykorzystania w pompie efektu desorpcji gazu z roztworu z nukleacją pęcherzy gazowych (w skrócie „efekt desorpcji”). Należy przy tym podkreślić, że zagadnienie to stanowi najważniejszą z cech charakteryzujących zaproponowane rozwiązanie.

Istota koncepcji, której autorem jest Władysław Kozak z Politechniki Poznańskiej, zakłada wprowadzenie do paliwa odpowiedniej ilości gazu (np. spalin), który jest następnie w paliwie rozpuszczany – przy założonym ciśnieniu wtrysku uzyskuje się wówczas stan równowagowy. W kolejnym kroku następuje wykorzystanie efektu towarzyszącego procesowi uwalniania się rozpuszczonego gazu podczas wtrysku do komory spalania, kiedy pojawi się silne zakłócenie stanu równowagowego. Wynika to z cechy takiego roztworu – przy obniżaniu ciśnienia nadwyżka gazu rozpuszczonego w cieczy samorzutnie uwalnia się jednocześnie z całej objętości. Obniżeniu ciśnienia towarzyszy sprzężone z nim obniżenie równowagowego potencjału termodynamicznego. Zatem ujemny gradient ciśnienia jest bodźcem termodynamicznym, wywołującym uwalnianie się gazu z roztworu. Szybkość uwalniania się gazu związana jest z szybkością zmian bodźca. W proponowanej koncepcji celem jest uzyskanie rozpylenia paliwa co najmniej jakościowo porównywalnego z wytwarzanym przez układy wysokociśnieniowe przy zachowaniu stosunkowo małych wartości ciśnienia wtrysku. Zakłada się wykorzystanie pobieranych bezpośrednio z kolektora wydechowego spalin. Jest to korzystne zwłaszcza zważywszy na fakt, że spaliny są łatwo dostępne w silniku i zawierają znaczne ilości CO₂, które bardzo dobrze rozpuszcza się w cieczach.

W koncepcji tej, zilustrowanej na rysunku 10, przyjęto, że w części wysokociśnieniowej układu zasilania (od pompy wtryskowej aż do otworków rozpylacza) ciśnienie powinno być utrzymywane na takim poziomie, aby gaz nie mógł uwolnić się z roztworu. Tym samym paliwo z gazem powinno stanowić jednorodny roztwór. Desorpcja gazu z roztworu połączona z nukleacją pęcherzy gazowych powinna rozpoczynać się poza rozpylaczem. Dopiero wówczas stanowić będzie mechanizm wspomagający rozpad kropeł.



Rys. 10. Ilustracja koncepcji wspomagania rozpylenia przez gaz rozpuszczony w paliwie

Analizy, które przeprowadziłem w tym zakresie dowiodły, że uzyskanie efektu desorpcji nie jest możliwe w pompach wtryskowych, które wykorzystują wały napędowe z krzywkami, a dotyczy to zdecydowanej większości modeli dostępnych obecnie na rynku. Gdyby bowiem gaz i paliwo były doprowadzane do sekcji tłoczącej pompy w czasie suwu ssania, a proces rozpuszczania w paliwie zachodził podczas sprężania, pompa taka musiałaby mieć radykalnie inne proporcje w porównaniu z istniejącymi. Konieczne zatem okazało się użycie pompy wyporowej typu tłoczkowego o zasadzie działania podobnej do konwencjonalnych sekcji tłoczących, jednak o zdecydowanie innych proporcjach ze względu na obecność gazu. Wszystkie powyższe cechy i założenia spełnia pompa wtryskowa z napędem hipocykloidalnym, która dzięki m.in. dużemu skokowi tłoczka oraz specjalnie do tego celu zaprojektowanej sekcji tłoczącej, idealnie wpisuje się w założenia koncepcji. Ważnym aspektem podczas projektowania pompy było ustalenie wymiarów sekcji tłoczących, w których zachodzi rozpuszczanie spalin w oleju napędowym. Do tego celu kluczowe okazało się wyznaczenie współczynnika rozpuszczalności oraz modułu sprężystości objętościowej roztworu oleju napędowego z gazem. Rozważania te podjąłem w badaniach, których wyniki zostały opisane w publikacji **P.4**. Cel badań wynikał z tego, że w literaturze istnieją jedynie dane na temat wartości współczynników rozpuszczalności związków czystych chemicznie. Niestety, zarówno paliwo pełniące rolę rozpuszczalnika, jak i spaliny czy powietrze, będące gazem rozpuszczanym, stanowią konglomerat związków chemicznych. Realizacja tak postawionego zadania możliwa była dzięki użyciu zbudowanego od podstaw stanowiska, które umożliwiło badanie współczynnika rozpuszczalności i ściśliwości spalin w oleju napędowym. Wyniki badań pozwoliły określić współczynnik rozpuszczalności różnych stężeń CO₂ w oleju napędowym oraz wpływ ilości spalin rozpuszczonych w oleju napędowym na moduł

sprężystości objętościowej roztworu – stanowi to podstawowe osiągnięcie naukowe, zważywszy na fakt, że tego typu wyniki nie były do tej pory prezentowane w literaturze.

Analizę możliwości wykorzystania efektu desorpcji w pompie z napędem hipocykloidalnym przeprowadziłem wraz ze współautorami w publikacji **P.3**. W pierwszej części artykuł zawiera teoretyczne podstawy koncepcji wspomagania procesu wtrysku paliwa oraz analizę termodynamiczną procesu. W drugiej części skupiliśmy się na wynikach badań silnikowych, które potwierdziły znaczną redukcję PM – przy dużych obciążeniach redukcja ta wynosiła nawet 90%. W przypadku pomiarów emisji CO, redukcja emisji oscylowała wokół 20% dla wysokich obciążeń. Z kolei emisja HC została zredukowana o około połowę. Pomimo wzrostu emisji NO_x, wyniki pomiarów emisji PM, CO i HC uległy znacznej poprawie, co potwierdziło bardzo korzystny wpływ efektu desorpcji na pracę silnika i emisję zanieczyszczeń.

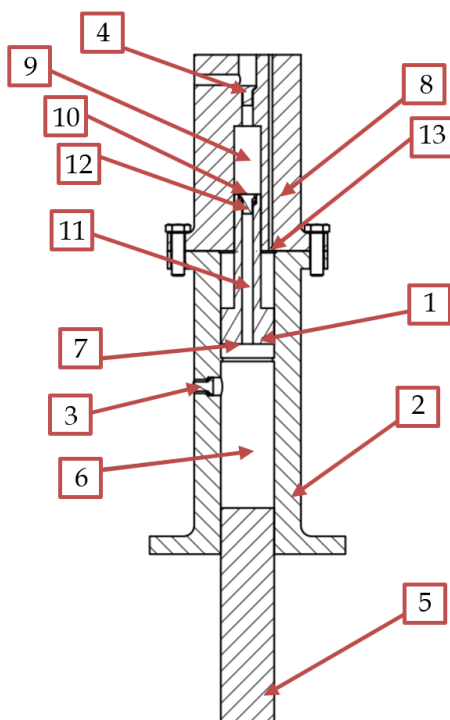
Kolejne zagadnienie związane z efektem desorpcji, którego podjąłem się w pracach nad pompą, dotyczyło zweryfikowania trwałości konstrukcji. Należało bowiem pamiętać o niekorzystnych warunkach w jakich pracują układy wtryskowe. Niewłaściwe zaprojektowanie podzespołów oraz nieodpowiednia jakość paliwa mogą prowadzić do przyspieszonego zużycia zwłaszcza w obrębie par precyzyjnych (sekcji tłoczących pompy, iglic rozpylacza). Analizując to zagadnienie, uznałem, że jedną z podstawowych przyczyn zużycia elementów pomp jest kawitacja. Proces ten rozprzestrzenia się, poczynając od miejsc zarodkowania mikropęcherzyków, w których powietrze zawarte w paliwie odparowuje. Zagadnienie to, z uwagi na jego znaną powszechnie uciążliwość, odniosłem do pompy z napędem hipocykloidalnym. Wynikiem prac jest w tym przypadku autorski artykuł stanowiący publikację **P.2**, w którym analizowałem możliwość pojawienia się ognisk kawitacji w potencjalnie najbardziej obciążonym elemencie pompy tj. zaworze zwrotnym. Wykonane symulacje dla standardowych ciśnień wtrysku przy pełnym obciążeniu potwierdziły brak ognisk kawitacji. Pojawiły się one dla drugiej analizowanej fazy, tj. fazy rozruchu silnika. Na podstawie porównania z mechanizmem kawitacji występującym w rozpylaczach, stwierdziłem, że w tym przypadku zjawisko to uznać można za bezpieczne, zwłaszcza biorąc pod uwagę potencjał optymalizacji konstrukcji zaworu tłocznego. Taki stan uznać można również za bezpieczny, z punktu widzenia efektu desorpcji – nie dojdzie do utracenia potencjału termodynamicznego przez roztwór powietrze-olej napędowy wewnątrz pompy w trakcie „pełnej” pracy silnika na skutek dławienia zaworem.

Z efektem desorpcji związany jest również artykuł stanowiący publikację **P.6**, dotyczący strat objętościowych procesu sprężania w pompie hipocykloidalnej. W pompie przystosowanej do rozpuszczenia gazu w oleju napędowym występować będą straty wynikające z jej charakterystyki pracy, a przede wszystkim ze sprężania obu ww. płynów – konieczne zatem było określenie ich ściśliwości. Straty te determinować będą wartości uzyskiwanej przez silnik mocy. Złożoność przypadku wynika stąd, że płyn rozumiany jest tu jako gaz i ciecz, będące odrębnymi mediami, oraz roztwór powstały z ich połączenia. Aby powstał roztwór paliwa z gazem potrzebne jest dostarczenie pracy do układu, co w pompie uzyskuje się przez ruch tłoka. Proces sprężania cieczy można opisać charakteryzującym go parametrem – w pracy określono zatem moduł sprężystości objętościowej B , będący odwrotnością współczynnika ściśliwości. Wraz ze współautorami artykułu określiłem ponadto współczynnik rozpuszczalności q gazu w

oleju napędowym. Pozwoliło to na scharakteryzowanie strat objętościowych, które wynikają ze ściśliwości zarówno gazu jak i oleju napędowego. Wykorzystano do tego symulację dynamiczną pracy zespołu pompy wykonaną w programie Autodesk Inventor, co pozwoliło uzyskać parametry wejściowe do obliczeń. Z kolei określenie start objętościowych wydajności pompy na jeden obrót wałka pompy przeprowadzono na podstawie modeli dostępnych w literaturze, które były dostosowane, tak by uwzględnić efekt desorpcji. W rezultacie obliczeń i symulacji za osiągnięcie naukowe wynikające z ww. publikacji przyjmuję określenie strat objętościowych sprężania gazu i oleju napędowego. Praca dowiodła, że zwiększenie udziału objętości gazu w sekcji tłoczącej pompy powoduje większe straty wydajności wynikające ze ściśliwości, niż straty wydajności w przypadku, gdy cała objętość sekcji wypełniona jest jedynie olejem napędowym (dla przypadku pełnego wydatku).

Oryginalnym osiągnięciem naukowym, w którym miałem wiodący udział jest stworzenie od podstaw idei i konstrukcji wzmacniacza ciśnienia paliwa. Rozwiązanie to zostało opatentowane – osiągnięcie to jest oznaczone jako **P.9**. Jest to konstrukcja, która zakłada wykorzystanie dużego wydatku pompy o napędzie hipocykloidalnym w celu uzyskania znacznego ciśnienia paliwa, zgodnie z prawem Pascala. Siła F wywierana na tłok o powierzchni S przy zadanym ciśnieniu p jest równa iloczynowi ciśnienia i powierzchni. Można zatem stwierdzić, że jeśli w układzie naczyń połączonych na tłok o większej średnicy zadziała się dana siła i będzie on połączony za pomocą cieczy z tłokiem mniejszym, to w celu zachowania równowagi do tłoka mniejszego trzeba przyłożyć wyższe ciśnienie. Możliwe jest zatem multiplikowanie ciśnienia poprzez zmianę stosunku geometrycznego obu zespołów tłok-cylinder tworzących wspomniany układ. Cecha ta jest szczególnie korzystna ze względu na obniżenie siły przykładanej do tłoka dużego, dzięki czemu obniża się siły działające w układzie napędzającym tłoczka, co umożliwi również zastosowanie napędu elektrycznego.

Idea funkcjonowania wzmacniacza (rys. 11) realizuje się w tym, że tłok cylindra połączony z układem napędowym, wykonuje ruch posuwisto-zwrotny wewnątrz cylindra. Wskutek wzniosu tłoka cylindra, w komorze roboczej – z jednej strony ograniczonej przez powierzchnię czołową większej średnicy tłoka głowicy i powierzchni czołowej tłoka cylindra, powstaje ciśnienie powodujące przepływ paliwa przez kanał w tłoku głowicy i zawór zwrotny oraz napełnienie komory głowicy – ograniczonej z jednej strony przez głowicę z zaworem sterującym i powierzchnię mniejszej średnicy tłoka głowicy z drugiej strony. Dodatkowo w chwili uzyskania równowagi ciśnień w komorach roboczej i głowicy następuje zamknięcie zaworu zwrotnego. Ze względu na różnicę rozmiarów powierzchni czołowych większej średnicy tłoka i powierzchni czołowej mniejszej średnicy tłoka, skutkuje to działaniem większej siły na powierzchnię czołową większej średnicy tłoka. Powoduje to tym samym wznios tłoka głowicy w kierunku górnego położenia, czego konsekwencją jest dalsze spiętrzanie paliwa w komorze głowicy. Proces ten trwa aż do momentu otwarcia zaworu sterującego i osiągnięcia przez tłok cylindra górnego skrajnego położenia, następnie wskutek opadania tłoka. Szczegółowa charakterystyka rozwiązania z rysunku 11 została przedstawiona w opisie patentowym (zał. 13).

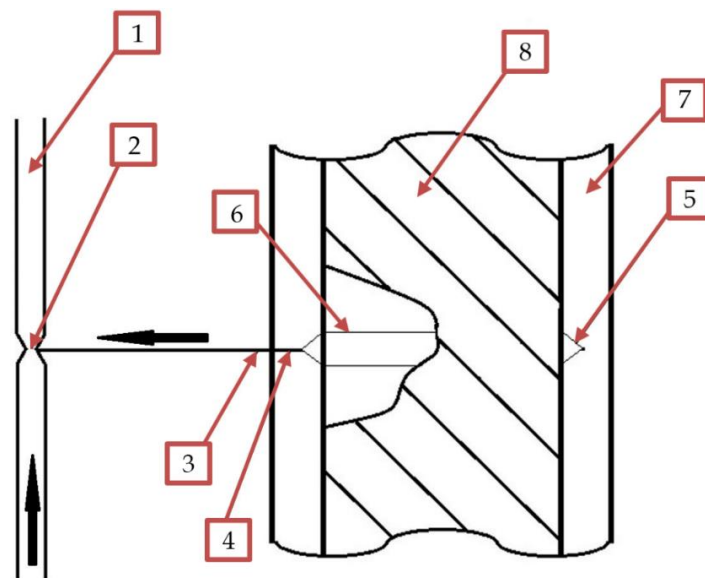


Rys. 11. Wzmacniacz hydrauliczny; 1 – tłoczek głowicy, 2 – cylinder, 3 – zawór zasilający, 4 – zawór sterujący, 5 – tłoczek cylindra, 6 – komora robocza, 7 – większa średnica tłoczka, 8 – głowica, 9 – komora głowicy, 10 – mniejsza średnica tłoczka, 11 – kanalik, 12 – zawór zwrotny, 13 – kanalik drenujący

Oryginalnym osiągnięciem naukowym, w którym również miałem wiodący udział jest stworzenie od podstaw idei podciśnieniowego układu uszczelnienia sekcji tłoczącej wysokociśnieniowej pompy paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. Rozwiązanie to zostało opatentowane – osiągnięcie to jest oznaczone jako **P.10**. Problematyka, którą podejmuje rozwiązanie dotyczy smarności paliw w kontekście uszkodzenia pomp lub przedwczesnego ich zużycia. Jednym z prostych i skutecznie realizowanych rozwiązań w tym obszarze jest zastosowanie w pompie smarowania olejem silnikowym lub przekładniowym. Praktyka eksploatacyjna w tym zakresie wykazała, iż pompy te mają wspólną, bardzo niekorzystną cechę. Ze względu na wysokie ciśnienia panujące w komorze spiętrzającej paliwo, pompy te charakteryzował bardzo duży przeciek paliwa do mechanizmów smarowanych z wykorzystaniem oleju. Medium smarujące, w połączeniu z paliwem w dużej mierze traciło swoje właściwości i nie zapewniało właściwej ochrony współpracujących elementów. Zjawisko to było szczególnie niekorzystne w pompach, które wykorzystywały obieg olejowy silnika spalinowego. Jak widać rozwiązanie to stanowi odpowiedź na najistotniejsze problemy użytkowe, jakie przedstawiłem we wstępie Autoreferatu. Jest to ponadto rozwiązanie mające zastosowanie w sekcjach tłoczących – nie ogranicza się jedynie do zastosowania w pompie z napędem hipocykloidalnym.

Zaproponowane rozwiązanie projektowe (rys. 12) opiera się na zastosowaniu oryginalnego systemu uszczelnienia sekcji tłoczącej wraz z odprowadzeniem ewentualnych przecieków z przestrzeni uszczelniającej. Istotą wynalazku jest podciśnieniowy układ uszczelnienia sekcji tłoczącej wysokociśnieniowej pompy paliwowej, w postaci obwodowych uszczelnień

liniowych utworzonych na powierzchni cylindra sekcji tłoczącej. Są one połączone kanałem zbiorczym stanowiącym drenaż, który jest połączony z przewodem połączonym z układem generującym podciśnienie, umożliwiającym odprowadzenie przecieków paliwa z uszczelnień liniowych. Przedstawiony układ pozwala na sprawne i skuteczne odprowadzenie przecieków paliwa, a wykorzystując korzystną cechę podłączenia przewodu ciśnieniowego do przewodu paliwowego uzyskuje się minimalizację niezbędnych elementów i brak konieczności stosowania dodatkowej pompy podciśnieniowej. W rozwiązaniu tym w istotny sposób zostało zredukowane zjawisko przetłaczania paliwa do korpusu pompy. Szczegółowa charakterystyka rozwiązania z rysunku 12 została przedstawiona w opisie patentowym (zał. 14).

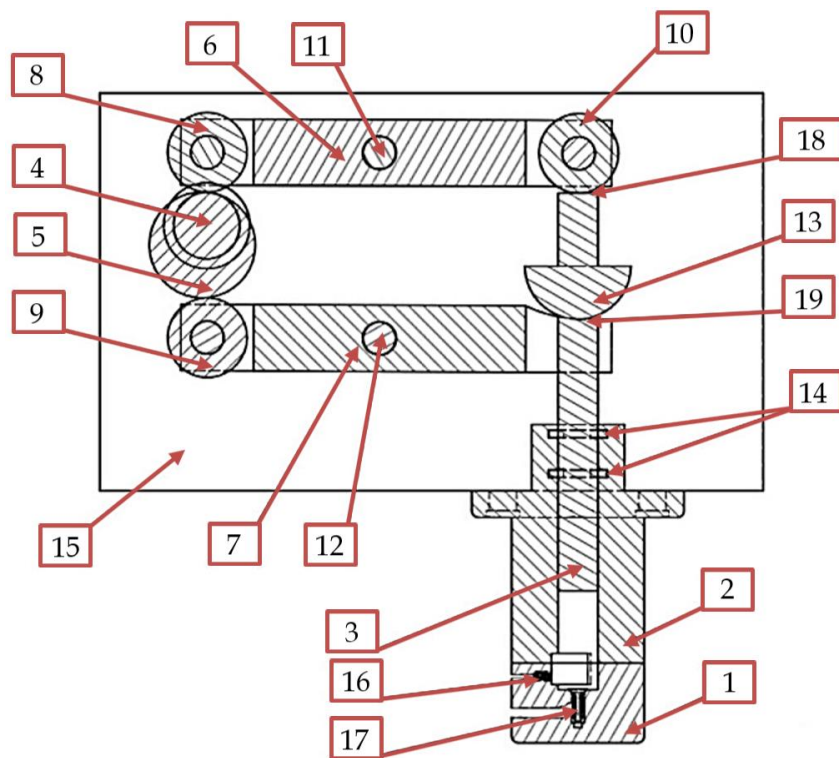


Rys. 12. Schemat ideowy sposobu uszczelnienia wysokociśnieniowej sekcji tłoczącej; 1 – przewód odsysający, 2 – zwężka Venturiego, 3 – przewód podciśnieniowy, 4 – drenaż, 5 – kanał zbiorczy, 6 – uszczelnienie liniowe, 7 – cylinder sekcji tłoczącej, 8 – tłoczek

Podobnie jak w przypadku obu ww. rozwiązań, również w przypadku osiągnięcia naukowego oznaczonego jako **P.11** miałem wiodący udział. Dotyczy ono stworzenia od podstaw idei i konstrukcji wysokociśnieniowej pompy wtryskowej wykorzystującej napęd desmodromiczny. Wykorzystanie tego typu mechanizmu jest rzeczą powszechną w układach rozrządu wysokoobrotowych silników spalinowych. Jego główną zaletą, stanowiącą o zastosowaniu w układzie rozrządu był brak konieczności stosowania sprężyny powrotnej, co eliminowało wynikającą z budowy klasycznego układu rozrządu bezwładność i opóźnienie zamknięcia zaworu. Korzystnymi cechami, decydującymi o możliwości jego zastosowania w opracowanym mechanizmie napędu pompy są: występowanie niewielkiej, w stosunku do siły osiowej, siły bocznej oraz brak konieczności stosowania sprężyny powrotnej. To rozwiązanie zdaje się być szczególnie korzystne ze względu na generowane straty energii w klasycznych układach, związane z pokonywaniem siły reakcji sprężyny. Mechanizm desmodromiczny charakteryzuje się tym, że do poruszania elementów wykorzystuje się osobne układy dla każdego kierunku. Oznacza to, że przy wykonywaniu wzniosu, element (w przypadku pompy

– tłoczek) jest poruszany poprzez jedną dźwignię, natomiast ruch w kierunku przeciwnym odbywa się z wykorzystaniem przeciwdziałającej dźwigni. Zależnie od rozwiązania i pożądanej charakterystyki układ może być napędzany poprzez jedną lub dwie krzywki. Z punktu widzenia tribologicznego bardzo istotne jest znaczne obniżenie tarcia związanego z siłą boczną. Korzystna ze względu na trwałość pompy jest również możliwość zastosowania zewnętrznego układu smarującego, co w dużej mierze przyczynia się do wyeliminowania zagrożenia związanego z potencjalnymi zanieczyszczeniami w paliwie, jako medium smarującym.

Proponowany mechanizm (rys. 13) działa w oparciu o jedną krzywkę sterującą. W korpusie, w którym ułożyskowany jest wałek z mimośrodową krzywką utwierdzone są również dźwignie, które za pomocą rolek współpracują z krzywką. Zależnie od kąta obrotu krzywki obie dźwignie, o takich samych wymiarach charakterystycznych są poruszane w górę lub w dół. Drugi koniec obu dźwigni jest oparty o dolną część tłoka. W ten sposób, za pomocą układu dźwigniowego tłok jest poruszany w cylindrze w górę lub w dół. Zależnie od wzniosu krzywki i stosunku odległości tłok-utwierdzenie-rolka można zmniejszać lub zwiększać skok tłoka. Szczegółowa charakterystyka rozwiązania z rysunku 13 została przedstawiona w opisie patentowym (zał. 15).

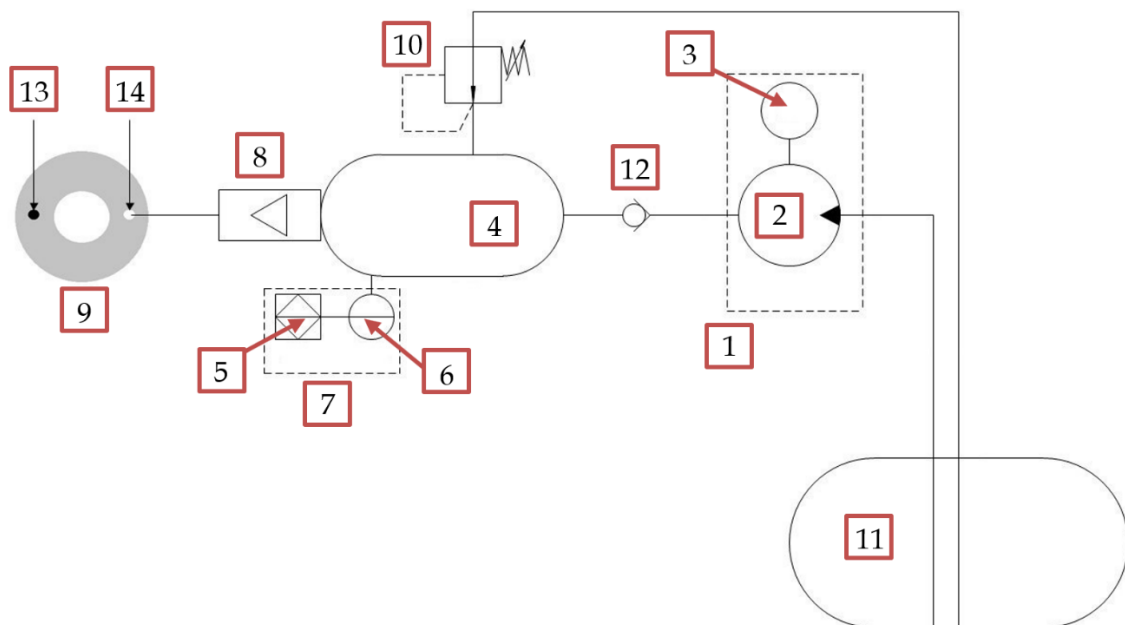


Rys. 13. Schemat ideowy pompy wtryskowej o napędzie desmodromicznym; 1 – głowica, 2 – cylinder, 3 – tłok, 4 – wałek, 5 – krzywka napędowa, 6 – dźwignia 1, 7 – dźwignia 2, 8 – rolka 1, 9 – rolka 2, 10 – rolka 3, 11 – trzpień 1, 12 – trzpień 2, 13 – krzywka tłoka, 14 – uszczelnienie liniowe, 15 – korpus, 16 – zawór zasilający, 17 – zawór tłoczny, 18 – powierzchnia górna tłoka, 19 – powierzchnia dźwigni

Ostatnim osiągnięciem naukowym, jakie przedstawiam w niniejszym Autoreferacie, jest stworzenie od podstaw idei układu do oceny szczelności sekcji tłoczących pomp wtryskowych. W pracach nad tym opatentowanym rozwiązaniem miałem wiodący udział. Osiągnięcie to,

oznaczone jako **P.12**, jest ogólnego zastosowania – nie odnosi się wyłącznie do pompy z napędem hipocykloidalnym.

Istotą wynalazku jest układ (rys. 14) do oceny szczelności sekcji tłoczących pomp wtryskowych składający się z układu generującego i akumulującego paliwo pod wysokim ciśnieniem oraz wysokoczęstotliwościowego układu pomiarowego rejestrującego jego wartość. Jako generator ciśnienia wykorzystywany jest układ składający się, z co najmniej jednej powszechnie znanej pompy wysokociśnieniowej, połączony za pomocą przewodów wysokociśnieniowych z akumulatorem ciśnienia. System przewodów wysokociśnieniowych wyposażony jest w zawór kierunkowy, zapobiegający wypływowi medium roboczego z akumulatora ciśnienia. Medium robocze dystrybuowane jest za pomocą przewodu wysokociśnieniowego poprzedzonego elektrozaworem do adaptera. Istotną cechą adaptera jest to, że doprowadza on medium robocze pod wysokim ciśnieniem do komory roboczej sekcji tłoczącej oraz jednocześnie blokuje kanał wyjściowy z sekcji tłoczącej sprawiając, że jedynym



Rys. 14. Schemat ideowy układu do oceny szczelności sekcji tłoczących pomp wtryskowych;
 1 – układ generujący ciśnienie, 2 – pompa wysokociśnieniowa, 3 – silnik elektryczny,
 4 – akumulator ciśnienia, 5 – jednostka rejestrująca, 6 – czujnik ciśnienia, 7 – układ
 rejestrujący, 8 – zawór sterujący, 9 – adapter, 10 – programowalny zawór regulujący,
 11 – zbiornik, 12 – zawór zwrotny, 13 – trzpień blokady kanału wejściowego, 14 – kanał
 zasilający adaptera

ujściem medium roboczego są nieszczelności w parze precyzyjnej sekcji. Układ generujący ciśnienie podaje medium robocze do akumulatora ciśnienia do momentu otwarcia zaworu regulującego ciśnienie, który posiada programowalną charakterystykę otwarcia umożliwiającą dopasowanie maksymalnego ciśnienia do badanego układu. Ciśnienie, przy którym następuje otwarcie zaworu sterującego zależne jest od maksymalnego ciśnienia pracy testowanej pompy. Układ pomiarowy w momencie zarejestrowania stabilizacji ciśnienia, wyłącza układ generujący ciśnienie i rejestruje spadek ciśnienia w akumulatorze ciśnienia. Szczegółowa

charakterystyka rozwiązania z rysunku 14 została przedstawiona w opisie patentowym (zał. 16).

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

Moja współpraca z innymi uczelniami i instytucjami dotyczy przede wszystkim: realizacji wspólnych badań, organizacji konferencji, tworzenia publikacji, przygotowywania i realizacji projektów badawczych, a także wymiany doświadczeń (również dydaktycznych). Poniżej przedstawiam podmioty, z którymi prowadziłem lub prowadzę współpracę i jej zakres:

1. Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu – od 2017 r., realizacja prac badawczo-rozwojowych dotyczących nowoczesnych układów napędowych stosowanych w pojazdach szynowych i dwudrogowych (2018). Ponadto współpraca dotyczy działalności konferencyjnej (wystąpienia/uczestnictwo w cyklicznych seminariach) oraz realizacji, przygotowywania i prowadzenia projektów. W IPS TABOR zrealizowałem ponadto staż (01.01.2020 – 28.02.2021). Staż miał charakter wymiany naukowej i dotyczył udziału w pracach badawczo-konstruktorskich w ramach 2 projektów. Pierwszy z nich obejmował opracowanie dokumentacji modernizacji lokomotywy EU/EP 07. Drugi dotyczył opracowania platformy lokomotyw z zaawansowanymi spalinowo-elektrycznymi (wielosystemowymi) układami napędowymi (projekt realizowany we współpracy z Pojazdy Szynowe PESA Bydgoszcz S.A. Holding).
2. Politechnika w Bukareszcie – realizacja stażu (11.02 – 12.03.2015), prowadzenie wspólnych prac badawczych w tamtejszych laboratoriach, udział w wykładach, wymiana doświadczeń naukowych, dydaktycznych i organizacyjnych itd.
3. Innovative Ideas LLC, Ukraina, Sumy, (instytucja naukowo-badawcza utworzona przez pracowników Państwowego Uniwersytetu w Sumach) – od 2019 r., byłem głównym inicjatorem i sygnatariuszem umowy o współpracy w badaniach naukowych pomiędzy ww. instytucją a Instytutem Silników Spalinowych i Transportu. W ramach tej współpracy realizowane są badania dotyczące cyklu Maisotsenki (M-Cycle) – rewolucyjnego cyklu termodynamicznego, który w sposób dowiedziony pozwala na znaczne zwiększanie sprawności systemów klimatyzacji i chłodzenia, nagrzewnic i rekuperatorów, pomp ciepła, turbin, itp. Prace skupiają się nad jednymi z najbardziej obiecujących aplikacji, w których M-Cycle może być wykorzystany, tj. tych dotyczących silników spalinowych, pomp ciepła, rekuperatorów.
4. Politechnika Lubelska – realizacja stażu (13 – 27.10.2014 oraz 12 – 26.11.2014). Staż miał charakter wymiany naukowej ze szczególnym naciskiem położonym na wykonanie wspólnych prac badawczych z pracownikami Katedry Pojazdów Samochodowych. Staż pozwolił na zainicjowanie stałej współpracy dotyczącej wspólnych artykułów naukowych, uczestnictwa w pracach redakcyjnych czasopisma Advances in Science and Technology Research Journal (ASTRJ) mającego siedzibę na Wydziale Mechanicznym PL, oraz przygotowania wspólnych projektów badawczo-rozwojowych.

5. Sieć Badawcza Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu – 2013 r., realizacja badań nad paliwami alternatywnymi (estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego).
6. Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej – 2017 r. współorganizacja konferencji.
7. Politechnika Warszawska – (2012 – 2017) realizacja projektów badawczo-rozwojowych.

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

6.1 Zajęcia dydaktyczne realizowane w Politechnice Poznańskiej.

Od 2006 roku prowadzę zajęcia dydaktyczne w Politechnice Poznańskiej na Wydziale Inżynierii Lądowej i Transportu dla słuchaczy studiów stacjonarnych i niestacjonarnych. Zaczynałem od prowadzenia zajęć laboratoryjnych, a z czasem moja działalność obejmowała również realizację ćwiczeń, projektów i wykładów, w tym wykładów prowadzonych w języku angielskim dla zagranicznych studentów uczestniczących w programie LLP Erasmus. Obecnie jestem opiekunem sześciu przedmiotów: *Wybrane metody obliczania układów silników spalinowych* (przedmiot obligatoryjny dla studentów II stopnia o specjalności Silniki spalinowe), *Grafika komputerowa* (przedmiot obligatoryjny dla studentów I stopnia na kierunku Lotnictwo i Kosmonautyka), *Elektronika w środkach transportu* (przedmiot obligatoryjny dla studentów I stopnia na kierunku Transport), *Przygotowanie do prowadzenia badań naukowych* (przedmiot obligatoryjny dla studentów I stopnia na kierunku Lotnictwo i Kosmonautyka), *Historia postępu lotniczego i kosmicznego* (przedmiot obligatoryjny dla studentów I stopnia na kierunku Lotnictwo i Kosmonautyka), *Komputerowe wspomaganie projektowania* (przedmiot obligatoryjny dla studentów I stopnia na kierunku Konstrukcja i Eksploatacja Środków Transportu oraz kierunku Transport).

Poniżej przedstawiam nazwy przedmiotów, które realizowałem (ze względu na prowadzone zmiany organizacyjne, przyjąłem nowe nazwy wydziałów i kierunków):

1. *Wybrane metody obliczania układów silników spalinowych – wykład i ćwiczenia*, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Konstrukcja i Eksploatacja Środków Transportu, II stopień.
2. *Grafika komputerowa – laboratorium*, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Lotnictwo i Kosmonautyka, I stopień.
3. *Elektronika w środkach transportu – laboratorium*; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Transport, I stopień.
4. *Przygotowanie do prowadzenia badań naukowych – wykład*, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Lotnictwo i Kosmonautyka, I stopień.
5. *Historia postępu lotniczego i kosmicznego – wykład*, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Lotnictwo i Kosmonautyka, I i II stopień. W ramach przedmiotu organizuję dla studentów coroczne wycieczki do Muzeum Lotnictwa Polskiego w Krakowie.

6. *Komputerowe wspomaganie projektowania – wykład i laboratorium*, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Konstrukcja i Eksploatacja Środków Transportu oraz Transport, I stopień.
7. *Internal Combustion Engines* – wykład w języku angielskim prowadzony dla studentów uczestniczących w programie LLP Erasmus.
8. *Environment and Ecology* – wykład w języku angielskim, Wydział Inżynierii Mechanicznej, wykład prowadzony dla studentów uczestniczących w programie LLP Erasmus.
9. *Fuels in Transport* – wykład w języku angielskim, Wydział Inżynierii Mechanicznej, wykład prowadzony dla studentów uczestniczących w programie LLP Erasmus.
10. *Tłokowe silniki lotnicze – wykład*, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Konstrukcja i Eksploatacja Środków Transportu, I stopień.
11. *Techniki informatyczne – laboratorium*, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Konstrukcja i Eksploatacja Środków Transportu oraz Transport, I stopień.
12. *Ochrona środowiska w transporcie – laboratorium*; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Transport, I stopień.
13. *Środowisko i ekologia – laboratorium*; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Konstrukcja i Eksploatacja Środków Transportu, I stopień.
14. *Paliwa alternatywne w transporcie – laboratorium*; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Transport, I stopień.
15. *Silniki spalinowe – wykład, laboratorium*; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunki: Konstrukcja i Eksploatacja Środków Transportu oraz Transport, I stopień.
16. *Silniki spalinowe trakcyjne – laboratorium*; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunki: Konstrukcja i Eksploatacja Środków Transportu oraz Transport, I stopień.
17. *Budowa silników tłokowych – laboratorium*, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Lotnictwo i Kosmonautyka, I stopień.
18. *Silniki trakcyjne – laboratorium*; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Transport, I stopień.
19. *Praca przejściowa – projekt*; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, kierunek: Konstrukcja i Eksploatacja Środków Transportu, Lotnictwo i Kosmonautyka, Transport, I i II stopień.

6.2. Działalność promotorska i recenzencka

W swojej działalności naukowej po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych byłem promotorem 37 prac dyplomowych inżynierskich i magisterskich. Pełniłem także rolę recenzenta dla 28 prac inżynierskich i 15 magisterskich. Jestem również promotorem pomocniczym w 3 przewodach doktorskich:

1. mgr inż. Rafał Smolec: *Analiza konstrukcji i niezawodności wysokociśnieniowej pompy paliwowej o napędzie hipocykloidalnym*, przewód doktorski otwarty w 2016 roku, planowany termin obrony: 09.2023, realizacja: Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu Politechniki Poznańskiej.
2. mgr inż. Mateusz Bor: *Wybrane aspekty konstrukcji sekcji tłoczącej wysokociśnieniowej pompy paliwa o napędzie hipocykloidalnym*, przewód doktorski otwarty w 2018 roku,

planowany termin obrony: 09.2023, realizacja: Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu Politechniki Poznańskiej.

- mgr inż. Edward Czaplinski: *Ocena stanu ekologicznego pojazdów na podstawie badań kontrolnych emisji spalin*, przewód doktorski otwarty w 2018 roku, planowany termin obrony: 2024, realizacja: Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu Politechniki Poznańskiej.

6.3. Działalność organizacyjna oraz popularyzująca naukę

Od początku studiów, jeszcze na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej, byłem zaangażowany w życie organizacji studenckich. Przykładem jest aktywne członkostwo w Kole Naukowym Samochodziarzy (m.in. organizacja cyklicznych studenckich sympozjów naukowych). Po rozpoczęciu studiów doktoranckich na Politechnice Poznańskiej, dostałem zaszczytu wyboru na Przewodniczącego Samorządu Doktorantów ówczesnego Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu. W tym czasie zainicjowałem organizację konferencji naukowej dla młodych naukowców InterTech, będąc jednocześnie Przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego dwóch edycji tego wydarzenia. Konferencja ta odniosła duży sukces – w pierwszym organizowanym spotkaniu udział wzięło ponad 100 uczestników, w drugim ponad 140 (około 15% uczestników stanowili goście z zagranicy). Cechą charakterystyczną konferencji było położenie dużego nacisku na zaproszenie wybitnych profesorów głoszących wykłady otwierające. W tym czasie byłem ponadto członkiem Rady Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych dostałem kolejnego zaszczytu – zostałem wybrany na członka Senatu Politechniki Poznańskiej, z ramienia przedstawicieli pozostałych nauczycieli akademickich. Funkcję tę pełniłem przez dwie kadencje Senatu (2012 – 2016 i 2016 – 2020). Jednocześnie w pierwszej z kadencji byłem Członkiem Senackiej Komisji ds. Budżetu i Finansów. Podczas drugiej kadencji Senatu byłem Członkiem Senackiej Komisji ds. Ustaw, Statutu i Regulaminów, co zważywszy na wchodzącą w tym czasie w życie „Konstytucję dla Nauki”, było wyjątkowo wymagającym zajęciem.

Do mojej działalności organizacyjnej zaliczyć można ponadto oddolne zorganizowanie w 2017 roku do Laboratorium Silników Spalinowych dwóch całkowicie nowych silników marki Toyota. Silniki pochodziły z fabryki Toyota Motor Manufacturing Poland w Wałbrzychu i do tej pory wykorzystywane są w laboratorium w ramach prowadzonych zajęć dydaktycznych, jak również realizowanych prac badawczych.

Od szeregu lat zajmuję się tworzeniem od podstaw i administrowaniem stronami internetowymi. W ten sposób powstało około 8 stron związanych z popularyzacją nauki (w większości strony dot. realizowanych projektów naukowych). Najważniejsze strony, które stworzyłem i na bieżąco nimi zarządzam: www.ptnss.pl (dwujęzyczna), www.cel.put.poznan.pl (w języku angielskim). W ramach działalności popularyzatorskiej w 2021 roku zrealizowałem film promocyjny Zakładu Silników Spalinowych. Film stworzyłem samodzielnie (rejestracja, scenariusz, tekst, montaż). Film jest dostępny pod adresem:

<https://www.youtube.com/watch?v=qFihCHv8Gss>

W ramach zajęć dydaktycznych i popularyzujących naukę, jako prowadzący przedmiot „Historia postępu lotniczego i kosmicznego – wykład” organizuję dla studentów coroczne wycieczki do Muzeum Lotnictwa Polskiego w Krakowie.

Wśród pozostałej działalności organizacyjnej i popularyzującej naukę należy wymienić:

- Zainicjowanie współpracy pomiędzy Samsung Electronics Poland Manufacturing z siedzibą we Wronkach a Politechniką Poznańską, mającej na celu m.in. realizację projektów B+R współfinansowanych ze środków krajowych i zagranicznych (2023).
- Referat wygłoszony w siedzibie Centralnego Biura Konstrucyjnego PKP Cargo w Poznaniu dla pracowników Biura i studentów Wydziału Inżynierii Transportu: *Zastosowanie pompy o napędzie hipocykloidalnym do silnika A8C22* (2019).
- Referat wygłoszony w Akademii Morskiej w Szczecinie dla pracowników i studentów Wydziału Mechanicznego AM: *Pompy paliwa wysokiego ciśnienia* (2019).
- Referat wygłoszony w siedzibie Sieć Badawcza Łukasiewicz – IPS TABOR dla pracowników Instytutu: *Wybrane aspekty użytkowe koncepcyjnej pompy wysokiego ciśnienia o napędzie hipocykloidalnym* (2018).
- Udział w organizacji imprez Politechniki Poznańskiej m.in.: *Noc Naukowców, Drzwi otwarte* itp. (2011 – 2019).
- Organizacja wykładów dla uczniów Technikum Energetycznego im. Henryka Zygalskiego w Poznaniu (2011).
- Uczestnictwo w promocji Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu na Targach Edukacji organizowanych na Międzynarodowych Targach Poznańskich (2011).

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

7.1. Najważniejsze, odbyte po doktoracie szkolenia, kursy, praktyki związane z wykonywaną pracą zawodową

okres	nazwa instytucji	tematyka, charakter	uzyskany dokument
24 – 25.05.2021	Inprogress	AgilePM® Foundation metody zwinnego zarządzania projektami, szkolenie	certyfikat ukończenia akredytowanego przez APM Group szkolenia
11 – 15.02.2019	EMT Systems Centrum Szkoleń Inżynierskich, Gliwice	Programowanie mikrokontrolerów AVR i ARM z wykorzystaniem platformy Arduino i Atmel Studio, szkolenie, 35 h	certyfikat ukończenia nr 38488
28 – 30.01.2019	PROCAD S.A. – autoryzowane centrum szkoleniowe Autodesk	Autodesk Inventor – poziom II, szkolenie, 21 h	certyfikowany przez Autodesk dyplom ukończenia szkolenia nr EM05240985848

14 – 18.01.2019	EMT Systems Centrum Szkoleń Inżynierskich, Gliwice	Programowanie w C/C++, szkolenie, 35 h	certyfikat ukończenia nr 38000
05.2018	Koło naukowe SENSOR oraz Extronic, Politechnika Poznańska	Podstawy elektroniki, kurs, 15 h	zaświadczenie ukończenia kursu
05.2018	Koło naukowe SENSOR oraz Extronic, Politechnika Poznańska	Elektronika cyfrowa, kurs, 15 h	zaświadczenie ukończenia kursu
22.06.2017	Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	Ocena wniosków POIR 2014 – 2020 szkolenie	certyfikat ukończenia
4.04.2016	Mahle	Rozwój technologii seryjnych silników spalinowych, szkolenie	świadcstwo uczestnictwa
16 – 19.06.2015	Centrum Szkolenia Motoryzacji "Autoelektronika Kędzia"	Budowa i działanie systemów common rail firm Bosch, Delphi, Continental, Denso szkolenie 32 h	dypłom ukończenia
17 – 18.02.2015	Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	Zarządzanie projektami badawczymi, szkolenie	dypłom ukończenia
15.01.2015	Mahle	Rozwój technologii układów doładowania silników spalinowych, szkolenie	świadcstwo uczestnictwa
27 – 29.08.2014	PROCAD S.A. – autoryzowane centrum szkoleniowe Autodesk	Autodesk Inventor – poziom I, szkolenie, 21 h	certyfikowany przez Autodesk dypłom ukończenia szkolenia nr EM0524299435
11.12.2013	Wielkopolski Instytut Kształcenia Przedmedycznego	Podstawowa pierwsza pomoc w miejscu pracy, kurs	zaświadczenie o ukończeniu kursu
17 – 18.05.2013	Cybid	Wykorzystanie programu V-Sim wersja 3,0 w rekonstrukcji zdarzeń drogowych, szkolenie, 24 h	zaświadczenie o ukończeniu szkolenia nr 7/V/05/2013
26 – 28.04.2013	Poznański Akademicki Inkubator Przedsiębiorczości	Komercjalizacja wiedzy oraz ochrona własności intelektualnej, szkolenie, 24 h	certyfikat ukończenia nr 61

15 – 16.02.2013 15 – 16.03.2013 05 – 06.04.2013	Akademicki Inkubator Przedsiębiorczości Politechniki Poznańskiej	Komercjalizacja wiedzy, zarządzanie projektami B+R, finansowanie innowacji i działalności B+R oraz z ochrona własności intelektualnej, szkolenie, 60h	certyfikat ukończenia
12.12.2011	Ministerstwo Właściwe ds. Transportu, Stowarzyszenia Rzeczoznawców Techniki Samochodowej i Ruchu Drogowego	4 letnia praktyka rzeczoznawcza zakończona egzaminem w zakresie specjalności: A – technika pojazdów samochodowych C – kalkulacja warsztatowa	zaświadczenie o wpisaniu na listę rzeczoznawców nr 843

7.2. Stypendia

1. Stypendium w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, Priorytet VIII. Regionalne kadry gospodarki, Działanie 8.2 Transfer wiedzy, Poddziałanie 8.2.1 Wsparcie dla współpracy sfery nauki i przedsiębiorstw. Stypendium w programie "Staż Sukcesem Naukowca – II edycja" umożliwiające odbycie stażu w wybranym przedsiębiorstwie badawczo-naukowym. Staż odbyty w przedsiębiorstwie „Jetpol” zajmującym się produkcją miniaturowych silników turbodrzutowych. Stypendium realizowane w okresie 05 – 11. 2013 r.
2. Stypendium w ramach programu naukowego Kapitał Ludzki, Narodowa Strategia Spójności UE, w ramach działania IV, poddziałania 4.2 Programu Operacyjnego na podstawie umowy nr UDK-POKL.04.02.00-00-123/11-00. Stypendium w programie „Staże i szkolenia drogą do komercjalizacji wiedzy” umożliwiające odbycie stażu i szkoleń. Stypendium realizowane w okresie 11.2012 – 05.2013 r.

7.3. Nagrody

1. Nagroda JM Rektora Politechniki Poznańskiej za osiągnięcia naukowe / 2020
2. Nagroda JM Rektora Politechniki Poznańskiej za osiągnięcia naukowe / 2016
3. Nagroda Polskiego Towarzystwa Naukowego Silników Spalinowych za szczególne zaangażowanie w działalność Towarzystwa / 2015
4. Nagroda JM Rektora Politechniki Poznańskiej za aktywne i skuteczne działania na rzecz pozyskiwania środków na badania naukowe / 2015
5. Pierwsze miejsce w kategorii Zrównoważony rozwój 2013 przyznana przez magazyn Busplaner dla pojazdu Solaris Urbino Electric – przedsięwzięcie realizowane w ramach konsorcjum złożonego z: Instytutu Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej oraz Solaris Bus & Coach S.A., 2013. Udział w projekcie jako wykonawca.
6. Medal Targów Kielce na X Międzynarodowych Targach Transportu Zbiorowego Transexpo dla pojazdu Solaris Urbino 12 Electric – przedsięwzięcie realizowane w ramach konsorcjum złożonego z: Instytutu Silników Spalinowych i Transportu

Politechniki Poznańskiej oraz Solaris Bus & Coach S.A., 10.2012. Udział w projekcie jako wykonawca.

7. *EBUS AWARD 2012* Pierwsze miejsce w kategorii autobusy elektryczne dla autobusu elektrycznego marki Solaris – przedsięwzięcie realizowane w ramach konsorcjum złożonego z: Instytutu Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej oraz Solaris Bus & Coach S.A., przyznana przez kapitułę konkursu EBUS, Stowarzyszenie Niemieckich Firm Transportowych (VDV) oraz firmę ubezpieczeniową DEVK i objęta patronatem niemieckiego Ministra Transportu, 09.2012. Udział w projekcie jako wykonawca.
8. Pierwsze miejsce w konkursie organizowanym przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości w kategorii innowacyjny projekt: *Pierwszy w Europie polski autobus elektryczny firmy Solaris* – przedsięwzięcie realizowane w ramach konsorcjum złożonego z: Instytutu Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej oraz Solaris Bus & Coach S.A., 05.2012. Udział w projekcie jako wykonawca.
9. Nagroda w Konkursie Marszałka Województwa Wielkopolskiego i – *Wielkopolska – Innowacyjni dla Wielkopolski dla: Niskoemisyjny, energooszczędny autobus miejski z szeregowym napędem hybrydowym* – przedsięwzięcie realizowane w ramach konsorcjum złożonego z: Instytutu Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej oraz Solaris Bus & Coach S.A., 03.2011. Udział w projekcie jako wykonawca.



.....
(podpis wnioskodawcy)