

## INTERAKTYWNE STANOWISKO EDUKACYJNE I BADAWCZE SYSTEMÓW SEKWENCYJNEGO WTRYSKU GAZU LPG

### Streszczenie

*W artykule omówione zostało interaktywne stanowisko edukacyjne i badawcze systemów sekwencyjnego wtrysku gazu LPG. Przedstawiono podejście do wspomaganego komputerowo projektowania maszyn. Wykonano modele wszystkich komponentów systemu oraz ich złożenie. Na podstawie projektu 3D wykonano rzeczywiste stanowisko. Zostało ono zasilone prądem elektrycznym i wyposażone w symulator pracy silnika spalinowego. Następnie przedstawiono szereg badań symulacyjnych wykonanych na stanowisku badawczym.*

### WSTĘP

Systemy zasilania LPG pojazdów są obecne na rynku polskim od ponad 20 lat. We wczesnych latach ekspansji dominowały prawie wyłącznie systemy produkcji włoskiej i holenderskiej [5]. Jednakże po roku 2000 kilka polskich firm [4], zazwyczaj we współpracy z jednostkami badawczymi, rozwinęło własne technologie zasilania gazem pojazdów wszystkich generacji. Ze względu na możliwość zaoszczędzenia znacznych kosztów związanych z zasilaniem paliwem pojazdów, jak i bardzo dobre własności jezdne oraz kulturę pracy, zasilanie LPG pojazdów osobowych jak i użytkowych jest bardzo popularne zarówno w Polsce, Europie jak i wybranych krajach na całym świecie [1]. Istnienie dużego rynku LPG wymaga szkolenia kadry pracowniczej warsztatów montażu systemów gazowych. Kształcenie młodzieży na I i II stopniu uczelni technicznych bardzo często obejmuje przedmioty takie jak np.: Zasilanie pojazdów paliwami alternatywnymi. Zajęcia takie wymagają zdecydowanie formy praktycznej (laboratorium) w celu prezentacji zasady działania poszczególnych komponentów, techniki ich montażu oraz przedstawienia pracy. Doskonale służy do tego celu zaprojektowane i wykonane stanowisko demonstracyjno-badawcze. Może służyć także jako stanowisko badawcze wykorzystywane do rozwoju algorytmów sterowania wtryskiem gazu, badania stabilności firmware i software sterującego oraz sporządzania charakterystyk pracy systemu w warunkach laboratoryjnych.

### 1. CEL I ZAKRES PRACY

Pierwszy etap prac obejmował zaprojektowanie w 3D koncepcji stanowiska. Następnie dokonano zakupu niezbędnych materiałów i wykonano fizycznie interaktywne stanowisko. Wszystkie komponenty systemu sekwencyjnego wtrysku gazu LPG dostarczyła firma produkująca systemy gazowe. Stanowisko wykonano w ramach przedmiotu Projekt zespołowy – V semestr studiów niestacjonarnych na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn. Wynikiem projektu jest realizacja praktycznego stanowiska badawczo-demonstracyjnego wykorzystywanego w dydaktyce na uczelni oraz na targach i szkoleniach przez firmę partnerską.

### 2. MODELOWANIE 3D STANOWISKA BADAWCZEGO

#### 2.1. Podejście rapid-prototyping

System zasilania gazem IV generacji zawiera szereg komponentów, są to komponenty mechaniczne jak i elektroniczne. Komponenty mechaniczne odpowiadają za odpowiednie przygotowanie (rozprężenie oraz podgrzanie gazu i regulację jego temperatury)

oraz dozowanie gazu do silnika (precyzyjne realizowanie procesu wtrysku paliwa). Są to, zatem komponenty wysoce precyzyjne zarówno przy ich projektowaniu w zakładzie jak w badaniach często wykorzystywane są nowoczesne urządzenia do modelowania brylowego 3D. Coraz bardziej popularne skanery i drukarki 3D przyczyniają się do skrócenia czasu projektowania, generowania dokumentacji technicznej potrzebnej do wykonania danej części oraz modyfikacji związanych z oprawą i rozwojem poszczególnych komponentów. Komponenty systemu gazowego są zazwyczaj urządzeniami elektromechanicznymi składającymi się z wielu (nawet kilkudziesięciu) części. Zarówno sam proces złożenia jak i modyfikacji działania jest bardzo skomplikowany. Wydruki 3D najważniejszych komponentów systemu mogą być pomocne w dydaktyce osób zajmujących się projektowaniem i rozwijaniem komponentów tego typu a także dla zwykłych instalatorów systemów gazowych w pojazdach. Łatwość generowania przekrojów komponentów umożliwia wizualizację całej zawartości skomplikowanego środka urządzenia. Takie podglądanie nie jest możliwe w wyniku demontażu wszystkich komponentów danego urządzenia np. reduktora gdyż nie pozwala na obserwację podstawowych zasad działania poszczególnych elementów. Wydruki 3D umożliwiają wykonanie w krótkim czasie i w rozsądnej cenie bardzo skomplikowanych a zarazem bardzo potrzebnych w dydaktyce najważniejszych komponentów systemu gazowego. Podejście takie umożliwia redukcję kosztów w wyniku zachowania bez konieczności ciecienia gotowych elementów reduktora czy wtryskiwacza. Zatem wszystkie użyte komponenty mogą być ponownie użyte i wykorzystane w pojeździe. Uzyskane modele poszczególnych części mogą zostać wydrukowane w dowolnej ilości zarówno, jako osobne komponenty jak i złożenia funkcjonalne interesujących nas zespołów. Wydruk kolorowy umożliwia nadawanie dowolnych kolorów modelowanym komponentom w związku, z czym możliwe jest zaznaczenie innym kolorem elementów metalowych, gumowych, pracujących przy niskim czy wysokim ciśnieniu. Także możliwość wydruku w dowolnym powiększeniu czy pomniejszeniu będzie bardzo przydatne w dydaktyce. Możliwość współpracy zawansowanego oprogramowania do projektowania 3D z dowolną drukarką 3D stanowi już bardzo ciekawe zagadnienie dydaktyczne ze względu na coraz częstsze stosowanie tego podejścia również w branży zasilania gazem pojazdem.

#### 2.2. Modele 3D komponentów systemu gazowego

Pierwszym etapem prac było wykonanie modeli geometrycznych najważniejszych komponentów samochodowej instalacji gazowej. Zostały one opracowane w programie do modelowania brylowego. Elementy wykonano w module Part Design z wykorzystania

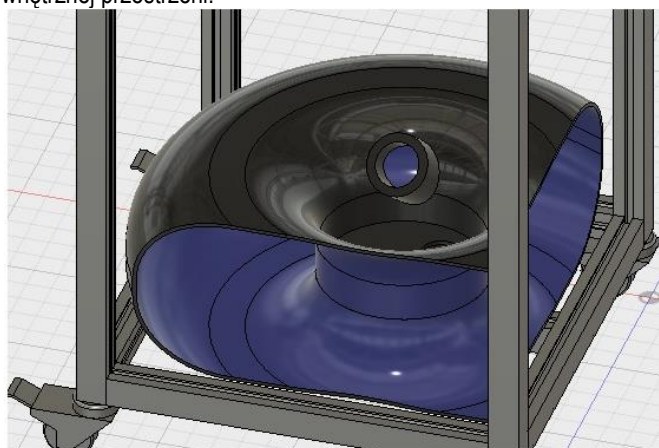
niem podstawowych funkcji modelowania trójwymiarowego. Projekt zawiera wszystkie komponenty sekwencyjnego systemu wtrysku gazu LPG do silnika.

Model 3D jednostki sterującej systemem wtrysku gazu został pobrany z Internetu w formacie \*.step. Elektroniczną jednostkę sterującą (ECU) przedstawia **rysunek 1**.



Rys. 1. Model 3D ECU

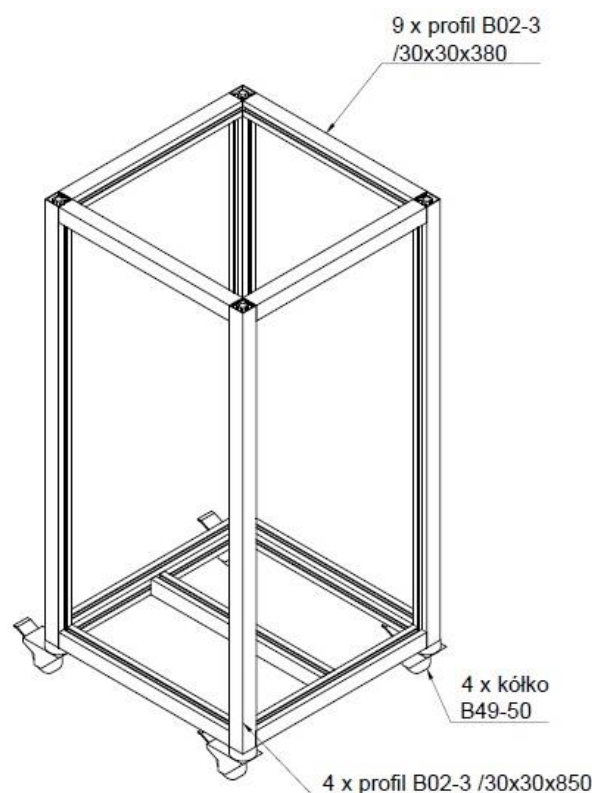
Model zbiornika gazu (**rysunek 2**), został wykonany samodzielnie na przykładzie zbiornika toroidalnego wewnętrznego 600x200. Projekt obejmował zamodelowanie pełnego zbiornika a następnie wycięcie jego części dla lepszej wizualizacji jego wewnętrznej przestrzeni.



Rys. 2. Model 3D toroidalnego zbiornika gazu

### 2.3. Projekt wózka jeźdźnego

Grupa projektu zespołowego odpowiedzialna za modelowanie 3D ustaliła koncepcję stanowiska badawczo-edukacyjnego. Jednym z podstawowych założeń było zbudowanie stanowiska mobilnego. Projekt wymagała zatem zaprojektowania kompaktowego i lekkiego wózka jeźdźnego. Wózek jeźdźny został zaprojektowany z profili aluminiowych Kanya. Rama wózka została osadzona na 4 obrotowych kółkach z hamulcem. Projekt koncepcyjny wózka jeźdźnego przedstawiony został na rysunku 3. Zakładał odnalezienie w sieci gotowych modeli profili aluminiowych Kanya, wydłużenie ich na odpowiednią długość oraz złożenie w programie 3D modelowania 3D.



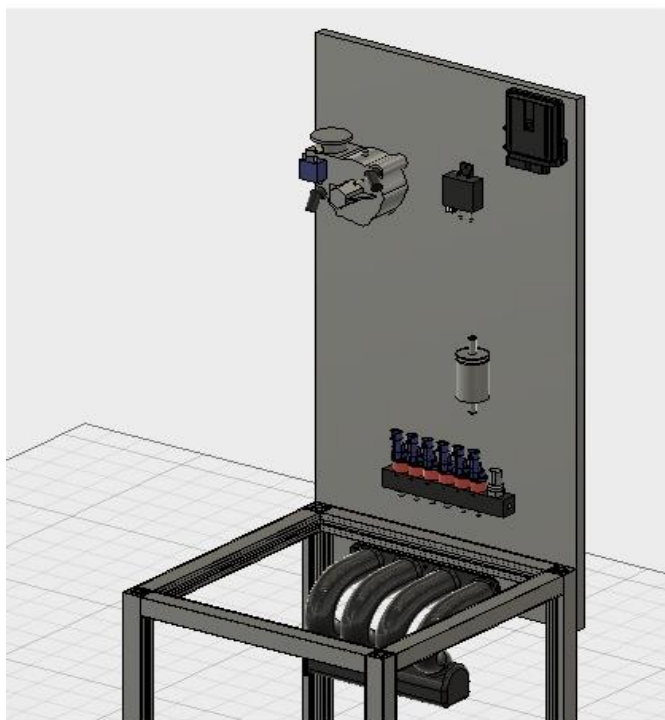
Rys. 3. Rysunek złożeniowy wykonawczy wózka jeźdźnego

### 2.4. Rozmieszczenie komponentów systemu gazowego

Ze względu na niskie koszty paliw alternatywnych, jak i bardzo dobre osiągi przekonwertowanych pojazdów, w wielu krajach na świecie rozwijane są systemy zasilania pojazdów gazem LPG i CNG [1, 6]. Aby pojazd zaprojektowany i wyprodukowany do zasilania paliwem oryginalnym mógł jeździć na paliwie alternatywnym na jego pokładzie musi zostać zamontowanych wiele zespołów. Wśród nich należy wymienić dodatkowy zbiornik paliwa, wtryskiwacze, czujniki oraz jednostkę sterującą wszystkimi dodatkowymi komponentami. Wszystkie komponenty muszą być homologowane a sam proces podlega regulacjom prawnym [2, 8].

Prawidłowe rozmieszczenie komponentów systemu gazowego w pojeździe jest bardzo ważne. Wpływa na prawidłową i długotrwałą pracę systemu. Przykładem może być umieszczenie i prawidłowe ułożenie elektronicznej jednostki sterującej – ECU. Powinna być zamontowana złączem elektrycznym do dołu. Niejednokrotnie dochodzi do zalania wodą i zalegania wody w nieprawidłowo zamontowanej ECU. Dochodzi wtedy do zwarć na płycie elektronicznej i do jej zniszczenia. Dlatego również na stanowisku edukacyjnym w prawidłowy sposób zaprojektowano ułożenie ECU oraz innych komponentów (patrz rysunek 4). Prawidłowy sposób montażu wszystkich komponentów systemu zasilania gazem pojazdów wynika z Regulaminu 67.01 EKG ONZ [8]. Zgodny z wytycznymi regulaminu montaż jest podstawą do uzyskania bezpiecznej pracy i niskiej emisji spalin do atmosfery [7].





Rys. 4. Rozmieszczenie wszystkich komponentów front-kitu

Projekt 3D stanowiska posłużył do wykonania rzeczywistego obiektu mającego zastosowanie edukacyjne oraz ekspozycyjne na różnego rodzaju targach branżowych i wystawach. Odpowiednie rozplanowanie ułożenia komponentów podczas modelowania 3D pozwoliło wykryć ewentualne kolizje podczas rzeczywistej realizacji stanowiska badawczego. Zatem przyczynia się to do skrócenia czasu realizacji całego projektu.

## 3. REALIZACJA STANOWISKA BADAWCZEGO

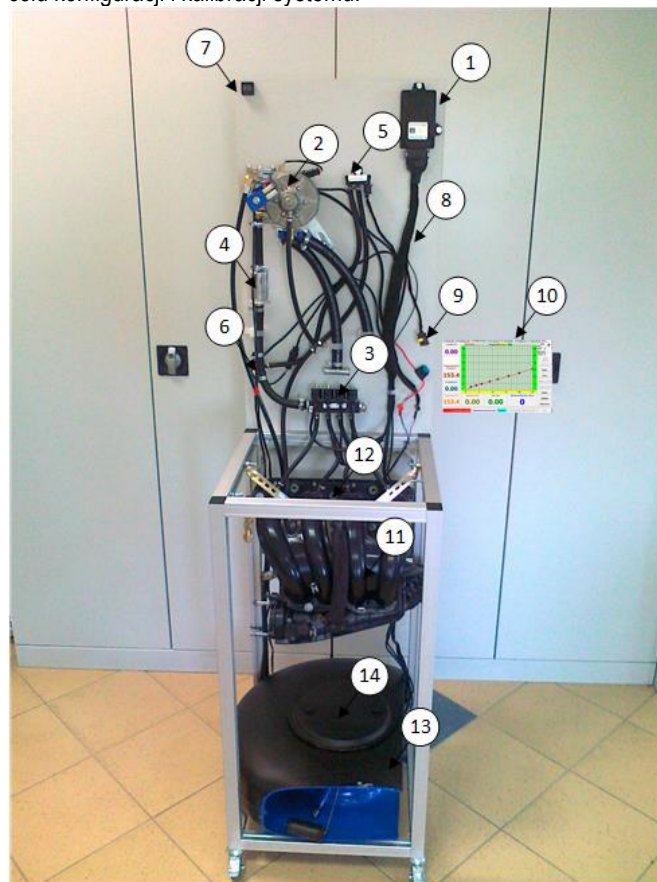
### 3.1. Montaż komponentów systemu LPG

Prawidłowe rozmieszczenie komponentów systemu gazowego w pojeździe jest bardzo ważne. Wpływa na prawidłową i długotrwałą pracę systemu. Przykładem może być umieszczenie i prawidłowe ułożenie elektronicznej jednostki sterującej – ECU. Powinna być zamontowana złączem elektrycznym do dołu. Niejednokrotnie dochodzi do zalania wodą i zalegania wody w nieprawidłowo zamontowanej ECU. Dochodzi wtedy do zwarcia na płytce elektronicznej i do jej zniszczenia. Dlatego również na stanowisku edukacyjnym w prawidłowy sposób zaprojektowano ułożenie ECU (rysunek 5).



Rys. 5. Montaż ECU

Na rysunku 6 przedstawiono kompletne stanowisko interaktywnego sekwencyjnego wtrysku gazu LPG. Wymienione wcześniej komponenty zostały przymocowane do płyty pilśniowej o wymiarach 850x440x16. Wszystkie komponenty podłączono do zasilania 12V. System posiada możliwość podłączenia do software sterującego w celu konfiguracji i kalibracji systemu.



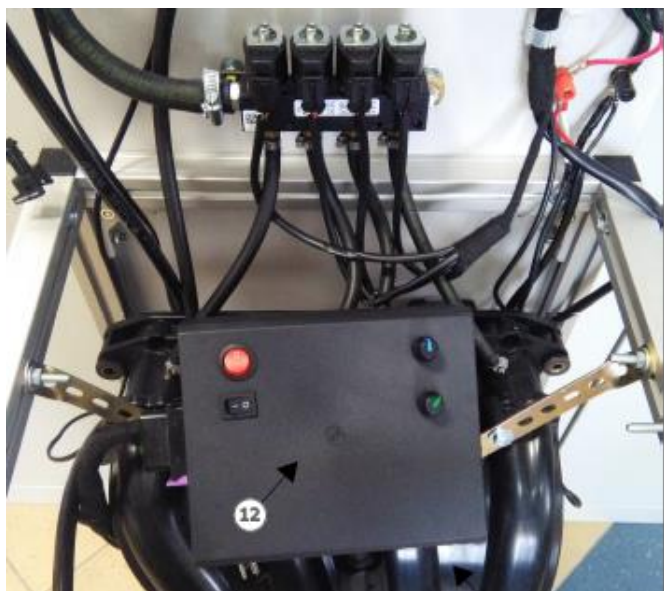
Rys. 6. Widok finalny stanowiska badawczego

Kompletne stanowisko obejmuje następujące komponenty (rysunek 6):

1. Jednostka sterująca wtryskiem gazu ECU
2. Parownik/reduktor zintegrowany z zaworem odcinającym i filtrem fazy ciekłej
3. Wtryskiwacze gazu
4. Filtr gazu fazy lotnej
5. Czujnik ciśnienia gazu
6. Czujnik temperatury gazu
7. Przełącznik gaz-benzyna
8. Okablowanie
9. Interfejs diagnostyczny
10. Software sterujący
11. Kolektor dolotowy silnika z wielopunktowym wtryskiem paliwa
12. Symulator silnika spalinowego
13. Toroidalny zbiornik gazu
14. Wielozawór + obudowa gazoszczelna

### 3.2. Symulator silnika spalinowego

Ważnym elementem interaktywnego stanowiska badawczego jest symulator silnika spalinowego (rysunek 7). Jego zadaniem jest dostarczenie sygnałów sterujących dopływających z silnika do systemu wtrysku LPG. Generuje w porządku sekwencyjnym czasy wtrysku benzyny dla konkretnych cylindrów oraz sygnał prędkości obrotowej.



Rys. 7. Symulator silnika spalinowego

Stanowisko posiada również możliwość symulacji następujących sygnałów:

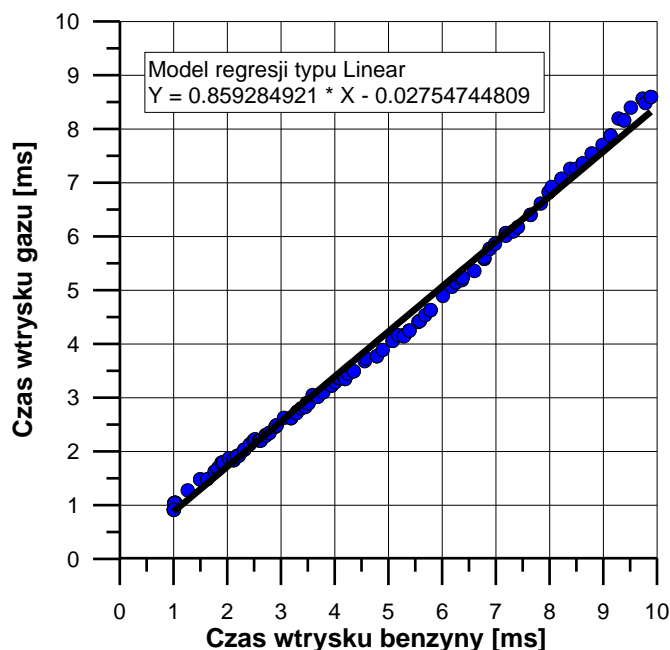
1. Temperatura parownika/reduktora
2. Temperatura gazu
3. Ciśnienie w kolektorze dolotowym
4. Ciśnienie gazu.

### 3.3. Przeznaczenie stanowiska

Dzięki możliwości symulacji dowolnych warunków pracy silnika stanowisko badawcze może mieć szerokie zastosowanie edukacyjne jak i badawcze. Bez konieczności wychodzenia z Sali szkoleniowej i spalania paliwa można na nim przeprowadzić szeroki zakres szkoleń. Mogą one obejmować technikę zabudowy poszczególnych komponentów systemu gazowego, konfigurację wszystkich komponentów oraz kalibrację systemu. Dzięki możliwości symulacji poszczególnych sygnałów w szerokich granicach możliwe jest prowadzenie badań symulacyjnych nawet nie możliwych do realizacji w warunkach rzeczywistych. System posiada możliwość zapisu do pliku wszystkich sygnałów, zarówno benzynowych jak i LPG, występujących na stanowisku badawczym.

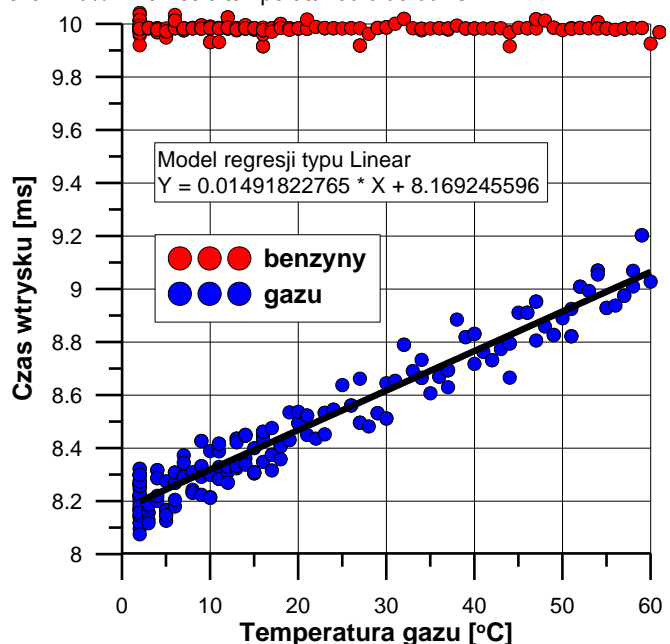
## 4. BADANIA SOFTWARE STERUJĄCEGO

Zadaniem systemu wtrysku gazu jest poprawny odczyt czasów wtrysku benzyny oraz wyznaczenie ich odpowiednika w postaci czasów wtrysku gazu. Celem badań było określenie wpływu temperatury i ciśnienia gazu na wartości sterujące w postaci czasów wtrysku gazu. Przeprowadzono badania wpływu jednej zmiennej przy wyzerowanych lub ustalonych wartościach pozostałych zmiennych. Podstawą badań było wyzerowanie wszystkich korekt kalibracyjnych. Przy stałej wartości temperatury i ciśnienia wtryskiwanego gazu (tzw. wartościach odniesienia) możliwe było wyznaczenie zależności czasów wtrysku gazu od czasów wtrysku benzyny (patrz **rysunek 5**). Jest to zależność zbliżona do liniowej obejmująca jednak przesunięcie wynikające z charakterystyki wybranego wtryskiwacza.



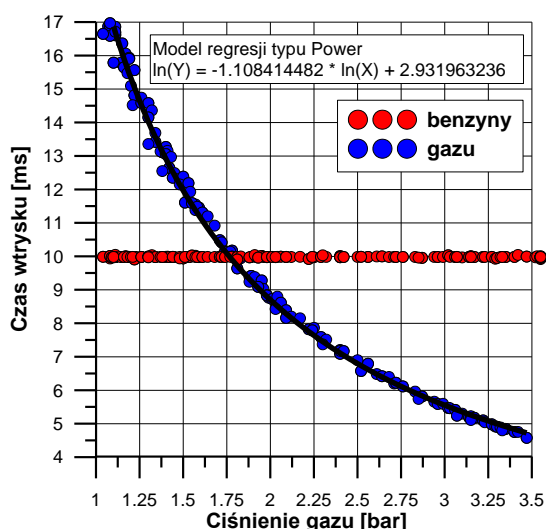
Rys. 5. Zależność czasów wtrysku gazu od czasów wtrysku benzyny

Następnie dla ustalonej wartości czasu wtrysku benzyny (10 ms – gdyż ułatwia to natychmiastowe obliczenia procentowe korekt wtrysku gazu) przy stałej wartości ciśnienia gazu wyznaczono wartość czasu wtrysku gazu w funkcji zmieniającej się jego temperatury – **rysunek 6**. Wartość korekty ma wyraźnie liniowy przebieg i wynosi ok. 10% w zakresie temperatur od 0 do 60 °C.



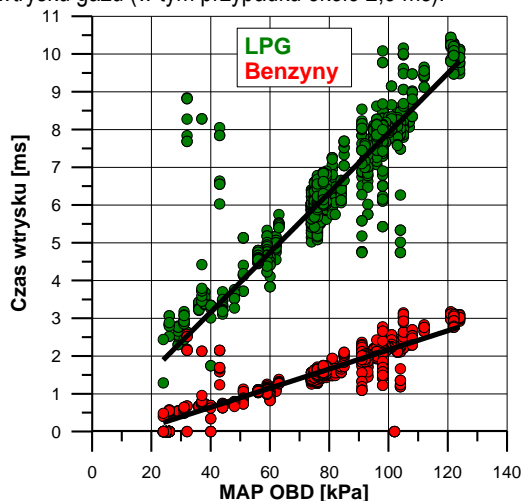
Rys. 6. Zależność czasów wtrysku gazu od jego temperatury

Korekta temperaturowa ma sens fizyczny wynikający z równania Clapeyrona. Gęstość gazu w niższej temperaturze jest większa. Dlatego czas wtrysku gazu zostaje skrócony przy niskich temperaturach (żeby nie dochodziło do zalewania silnika) i wydłużony przy wysokich temperaturach (aby mieszanka nie była zbyt uboga w wyniku zbyt dużego rozrzedzenia gazu). Podobnie rzecz się ma z przedstawioną na **rysunku 7** korektą ciśnieniową.



Rys. 7. Zależność czasów wtrysku gazu od jego ciśnienia

Dla badanego systemu zasilania gazem LPG wykonano badania na rzeczywistym pojeździe. Na podstawie zebranych danych wykonano wykres rzeczywistej zależności czasów wtrysku benzyny i LPG w funkcji obciążenia (mierzonej za pomocą ciśnienia w kolektorze dolotowym) – rysunek 8. Różnice pomiędzy wielkościami czasów wtrysku i benzyny wynikają z zastosowania wszystkich opisanych powyżej korekt. Przedstawiony na rysunku zakres odpowiada małym i średnim obciążeniom występującym podczas realizacji pozamiejskiego cyklu jezdny. Można zaobserwować, że w całym badanym zakresie czasy wtrysku gazu są ponad 3-krotnie większe od czasów wtrysku benzyny. Wynika to z dobrze znanych wszystkim ograniczeń związanych z bezwładnością wtryskiwaczy gazowych związanych z koniecznością zachowania minimalnego czasu wtrysku gazu (w tym przypadku około 2,5 ms).



Rys. 8. Zależność czasów wtrysku benzyny i LPG od ciśnienia w kolektorze dolotowym

Badania wykazały, że istnieje wpływ temperatury i ciśnienia gazu na wartość generowanego czasu wtrysku gazu. Określone ilościowo wartości korekty temperaturowej i ciśnieniowej odpowiadają intencjom autorów oprogramowania i są zgodne z logiką oraz termodynamiką procesów mających miejsce w systemach wtrysku gazu.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule omówione zostało interaktywne stanowisko edukacyjne i badawcze systemów sekwencyjnego wtrysku gazu LPG.

Przedstawiono podejście do wspomaganego komputerowo projektowania maszyn. Wykonano modele wszystkich komponentów systemu oraz ich złożenie. Na podstawie projektu 3D wykonano rzeczywiste stanowisko. Zostało ono zasilone prądem elektrycznym i wyposażone w symulator pracy silnika spalinowego. Stanowisko jest interaktywne z możliwością podłączenia z software kalibracyjnym na zewnętrznym komputerze. Następnie przedstawiono badania symulacyjne wykonane na stanowisku badawczym. Badania wykazały użyteczność wykonanego stanowiska do badań symulacyjnych jednostek sterujących wtryskiem LPG w różnych symulowanych warunkach pracy silnika spalinowego. Potwierdzono wpływ temperatury i ciśnienia gazu na wartość generowanego czasu wtrysku gazu. Określone ilościowo wartości korekty temperaturowej i ciśnieniowej odpowiadają intencjom autorów oprogramowania i potwierdzono, że są one zgodne z logiką oraz termodynamiką procesów mających miejsce w systemach wtrysku gazu.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bielaczyc P., Woodburn J.: Current and future trends in Automotive emissions, fuels, lubricants and test methods – the view from the year 2012. COMBUSTION ENGINES - Silniki Spalinowe, No. 2/2012 (149).
2. Buczaj M.: Wykorzystanie alternatywnych źródeł zasilania pojazdów w świetle norm i dyrektyw UE na przykładzie Polski. MOTROL, 2006, 8, 12–19.
3. Ciupała K., Szwaja S.: Spalanie gazu generatorowego w tłokowym silniku spalinowym. Silniki spalinowe 2/2010, PTNSS-2010-SS2-204 str. 27-32.
4. Kowalewicz A., Wołoszyn R.: Dwupaliwowy turbodoładowany silnik wysokoprężny zasilany gazem ziemnym i olejem napędowym. SILNIKI GAZOWE wybrane zagadnienia, Częstochowa 2010, str. 357-369.
5. Majerczyk A., Taubert S.: Układy zasilania gazem propan-butan, WKiŁ, Warszawa 2006.
6. Merksiz J., Pielecha I.: Alternatywne paliwa i układy napędowe pojazdów, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2004.
7. Merksiz J., Pielecha J., Radzymirski S.: Emisja zanieczyszczeń motoryzacyjnych w świetle nowych przepisów Unii Europejskiej, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2012.
8. Regulamin nr 67.01 Europejskiej Komisji Gospodarczej przy ONZ.

## INTERACTIVE EDUCATION AND RESEARCH TEST BENCH OF SEQUENTIAL LPG GAS INJECTION SYSTEMS

### Abstract

The article discusses the interactive educational and research test bench of sequential LPG injection systems. An approach to computer-aided design of machines is presented. Models of all system components were assembled. Based on the 3D project, an actual test bench was made. It was powered by an electric current and equipped with a simulator of the internal combustion engine. A number of simulations were performed on the test bench.

Autorzy:

dr inż. **Arkadiusz Małek** – Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, Wydział Transportu i Informatyki, arkadiusz.malek@wsei.lublin.pl  
inż. **Marek Ogrodnik** – Ursus S.A.