

Przemysław Ćwikowski, Łukasz Jan Kapusta, Andrzej Teodorczyk
Politechnika Warszawska
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa
Instytut Techniki Ciepłej, Zakład Silników Lotniczych
e-mail: lkapusta@itc.pw.edu.pl

METODOLOGIA SZKOLENIA W ZAKRESIE SYMULACJI PROCESÓW WYMIANY ŁADUNKU, WTRYSKU ORAZ SPALANIA Z WYKORZYSTANIEM PAKIETU AVL FIRE

Streszczenie – W artykule zostały przedstawione doświadczenia oraz metodologia prowadzenia projektu szkoleniowego w zakresie symulacji numerycznych procesów przepływowych z wtryskiem paliwa ciekłego i spalaniem w silnikach tłokowych. Projekt noszący tytuł „Popularyzacja osiągnięć nauki polskiej i światowej w zakresie przyszłościowych trendów w procesach spalania w silnikach” składa się z dwóch części, wykładowej oraz ćwiczeniowej. Z uwagi na fakt, iż część ćwiczeniowa dotyczy zagadnień symulacji numerycznych przepływów ze spalaniem przy użyciu komercyjnego kodu CFD o nazwie AVL FIRE, w artykule skupiono się na tej części. Przedstawiono zakres oraz sposób doboru materiału dydaktycznego, z którym zapoznają się uczestnicy projektu. Oprócz tego zostały opisane rezultaty szkolenia w postaci przyrostu wiedzy uczestników szkolenia w zakresie zagadnień symulacji numerycznych.

1 Wprowadzenie

Podstawową jednostką napędową w przemyśle motoryzacyjnym, maszynowym i lotnictwie lekkim są tłokowe silniki spalinowe, które będą wykorzystywane jeszcze co najmniej przez 50 lat. Potwierdzają to prognozy i raporty największych koncernów przemysłu motoryzacyjnego (BMW, Bosch, Daimler, Toyota, VW), maszynowo-energetycznego (Caterpillar Wartsila) czy lotniczego (General Aviation Manufacturers Association).

W energetyce dużą dynamiką sprzedaży cieszą się tzw. małe elektrownie kontenerowe wyposażone właśnie w silniki tłokowe, a w przemyśle lotniczym rośnie zapotrzebowanie na małe maszyny dyspozycyjne z grupy tzw. „general aviation”, które w większości wyposażone są w silniki tłokowe. Publikacje naukowe zgodnie stwierdzają, że dzięki optymalizacji procesów spalania i zastosowaniu paliw alternatywnych jak gaz ziemny, alkohole, wodór silniki tłokowe

mają duży potencjał rozwoju. Na świecie ośrodki B+R działające na zlecenie koncernów motoryzacyjnych i innych producentów silników, wykorzystują narzędzia obliczeniowe do modelowania spalania w silnikach. Prace projektowe w zakresie symulacji spalania i procesu wymiany ładunku prowadzone są z wykorzystaniem komputerów i specjalistycznego oprogramowania, wśród którego szczególną rolę odgrywają trójwymiarowe metody CFD (Computational Fluid Dynamics) [1]. Skraca to czas i redukuje koszt opracowania nowych konstrukcji lub strategii spalania. Obecnie inżynierowie są szkoleni z obsługi kodów CFD jedynie w ośrodkach, które są twórcami takich narzędzi jak np. austriacka firma AVL.

W Polsce wiedza z zakresu nowoczesnych metod konstruowania silników, optymalizacji procesów spalania oraz wykorzystania różnych rodzajów paliw nie jest wystarczająco popularyzowana w procesie kształcenia na poziomie wyższym. Program studiów o kierunku mechanicznym ogranicza się do poznania podstaw: budowy silników, termodynamiki, mechaniki, mechaniki płynów i wymiany ciepła itp. Tylko nieliczni studenci kierowani są na specjalistyczne szkolenia z nowej generacji narzędzi do projektowania silników i symulowania procesu spalania. Powoduje to poważne ograniczenie w dostępie do fachowej wiedzy i wykorzystania w praktyce nowych rozwiązań naukowych.

Pomimo, że w naszym kraju jest wiele fabryk silników jak Fiat, GM, Isuzu, Toyota, VW, niestety nie występują ośrodki B+R, które mogłyby prowadzić prace w zakresie modelowania spalania w silnikach. Jednym z powodów jest brak odpowiednio wyszkolonych inżynierów wykorzystujących nowoczesne narzędzia obliczeniowe do symulacji procesów zachodzących w silnikach tłokowych. Zniechęca to koncerny do inwestowania i tworzenia w Polsce jednostek B+R, ponadto hamuje to rozwój polskiej sfery badawczo–naukowej, która ma duży potencjał merytoryczny i podstawy do dalszych osiągnięć naukowych.

2 Cel projektu

Celem projektu jest upowszechnienie wśród studentów oraz pracowników jednostek naukowych najnowszych osiągnięć nauki światowej oraz narzędzi stosowanych do optymalizacji procesów spalania i zastosowania paliw alternatywnych w silnikach tłokowych. Szkolenia prowadzone są przy wykorzystaniu zaawansowanych technologii i narzędzi, jakie są obecnie stosowane przez ośrodki B+R czołowych producentów silników na świecie. Jednym z ośrodków w Polsce dysponującym oprogramowaniem AVL Fire (licencja na 12 stanowisk.) jest Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa Instytut Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej (MEIL PW) uzyskaną dzięki wieloletniej bliskiej współpracy z firmą AVL LIST GmbH . Dzięki

wspomnianej współpracy kadra naukowa ITC posiada odpowiednią wiedzę i doświadczenie, aby podjąć się zrealizowania nowatorskiego projektu szkoleniowego, który w ramach ćwiczeń będzie przedstawiał nowe narzędzia do modelowania procesów spalania w silnikach tłokowych wśród studentów i pracowników jednostek naukowych.

Potrzeba zorganizowania szkoleń w Polsce wynika z coraz bardziej popularnego outsourcingu w sferze B+R. Koncerny coraz częściej kupują gotowe rozwiązania od niezależnych ośrodków B+R, w ubiegłej dekadzie udział firm zewn. w pracach B+R wynosił 10%, obecnie przekroczył udział 30%. Ważnym czynnikiem jest również wspomniana koncentracja przemysłu motoryzacyjnego w Polsce w szczególności z zakresu produkcji silników, wydaje się że naturalną kolejną rzeczą będzie konieczność utworzenia ośrodków B+R. Niestety najczęściej prace badawcze realizowane są wyłącznie w ośrodkach zagranicznych, które mają wykształconą kadre i specjalistyczne narzędzia do symulacji a nasi inżynierowie mogą jedynie realizować się przy tzw. obsłudze procesu produkcyjnego.

3 Grupa docelowa

Projekt skierowany jest do studentów ostatnich lat studiów mgr i inż. z kierunków mechanicznych, którzy mają już sprecyzowaną specjalność i mniej zajęć obowiązkowych, co jest istotne do odbycia szkolenia poza macierzystą uczelnią. Drugą grupą są pracownicy jednostek naukowych z całej Polski, których działalność związana jest bezpośrednio z projektowaniem i badaniem jednostek napędowych i optymalizacją procesów spalania. Istotą jest aby uzyskana wiedza miała jak największy wpływ na poziom merytoryczny pracy naukowej i mogła być wykorzystana w praktyce przy projektowaniu silników. Z uwagi na specjalistyczny charakter szkolenia wymagający odpowiedniej wiedzy z mechaniki rekrutacja uczestników prowadzona jest wśród osób posiadających ugruntowaną wiedzę z budowy silników. Ważne są również wyniki studentów (średnia ocen 4 z przedmiotów kierunkowych) oraz dorobek pracowników naukowych bezpośrednio związanych z projektowaniem oraz badaniem jednostek napędowych.

4 Program i poruszane tematy

Podczas szkoleń uczestnicy zdobywają wiedzę na temat najnowszych trendów w rozwoju silników co pozwoli zrozumieć złożoność systemów występujących w najnowszych konstrukcjach silnikowych, zdobywają praktyczną i teoretyczną wiedzę na temat systemów spalania i poznają narzędzie do ich symulacji. Szkolenie stwarza możliwość dalszego rozwoju, a także usystematyzuje informacje

zdobyte podczas studiów i rozszerzy horyzonty o wiedzę praktyczną. Każda edycja szkolenia realizowana jest przez 5 dni w grupach 8 osobowych (rys.1).

Program każdego z 4 dni obejmuje 4 godziny wykładów oraz 4 godziny ćwiczeń, piąty dzień poświęcony jest wyłącznie doskonaleniu praktycznych umiejętności podczas ćwiczeń na oprogramowaniu AVL Fire, uniwersalnego narzędzia CFD opartego na metodzie objętości kontrolnych oraz sposobie podejścia do turbulencji są za pomocą metody RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) [2]. Metoda RANS jest niezawodną metodą, która w obliczeniach numerycznych dominuje już od ponad 30lat [3].

Zakres tematyczny wykładów każdej edycji obejmuje:

- ♦ Współczesne silniki tłokowe stacjonarne i niestacjonarne, tendencje rozwojowe i nowe koncepcje silników tłokowych
- ♦ Najnowsze systemy zasilania, oczyszczania spalin, downsizing
- ♦ Alternatywne paliwa i systemy napędowe (elektryczny, hybrydowy, ogniwa paliwowe)
- ♦ Systemy spalania w silnikach tłokowych. Wady i zalety, tendencje przyszłościowe.



Rys. 1. Uczestnicy szkolenia podczas wykładów w jednej z edycji szkoleń.

Wykłady prowadzone są przez światowej sławy polskich profesorów prowadzących działalność naukową w zakresie silników spalinowych. Są to wybitni specjaliści, którzy są w stanie przekazać wiedzę z najnowszych trendów i kierunków rozwoju w światowym przemyśle i ośrodkach B+R.

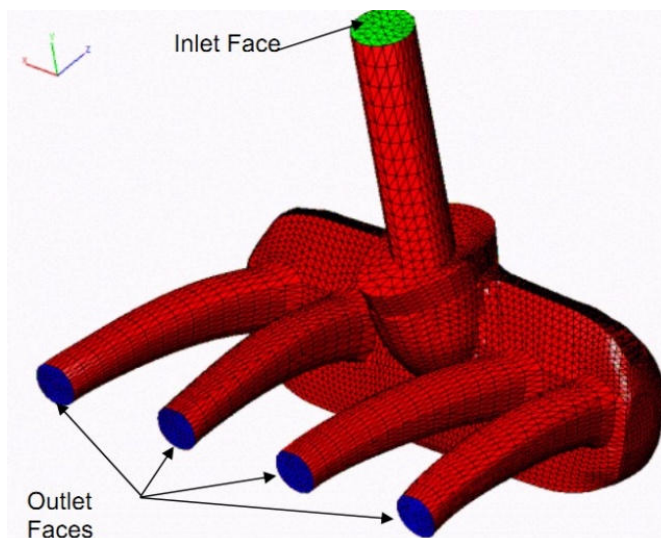
Zakres tematyczny ćwiczeń każdej edycji (razem 24h) natomiast obejmuje:

1. Podstawowe programy obliczeniowe w nauce i przemyśle.
2. Wstęp do modelowania w programie AVL Fire
3. Wymiana ładunku oraz modelowanie spalania w silnikach ZI
4. Komputerowe modelowanie wtrysku - jeden z istotniejszych parametrów charakteru przebiegu procesu spalania oraz modelowanie spalania w silnikach ZS
5. Doskonalenie praktycznych umiejętności pracy w środowisku numerycznych narzędzi obliczeniowych - ćwiczenie metod modyfikacji modeli spalania.

Ad 1. W trakcie tej części uczestnicy projektu zostają zapoznani nie tylko z dostępnymi gotowymi narzędziami obliczeniowymi w przemyśle ale są im również przybliżane różne sposoby podejścia do symulowania pracy złożonych urządzeń takich jak silniki. Uczestnicy projektu zaznajamiają się z cechami i różnicami w modelowaniu typu 0D, 1D, 2D oraz 3D.

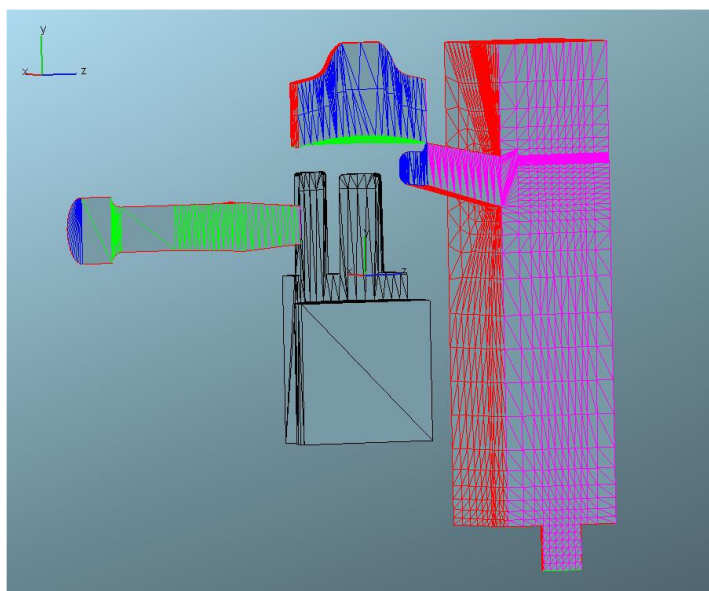
W dalszej części kursu uczestnicy zapoznają się wyłącznie z narzędziem CFD do trójwymiarowego modelowania, AVL Fire.

Ad 2. Podczas zajęć wprowadzających do modelowania w programie AVL Fire uczestnicy poznają wszystkie podstawowe funkcje programu. Ponadto analizowany jest przypadek ustalonego przepływu przez kolektor dolotowy. Model geometryczny wykorzystywany do sporządzenia siatki obliczeniowej przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Model geometryczny fragmentu silnika dwusuwowego wykorzystywany do sporządzenia siatki obliczeniowej [4].

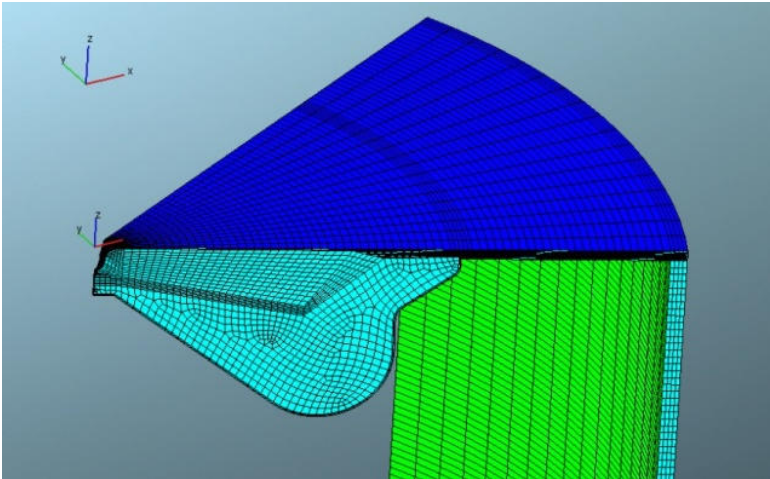
Ad 3. W celu zapoznania uczestników projektu ze sposobami modelowania wymiany ładunku oraz procesów spalania w silnikach ZI analizowany jest cykl roboczy silnika dwusuwowego. Siatkę do obliczeń numerycznych wykorzystywaną w tym przypadku przedstawiono na rysunku 3.



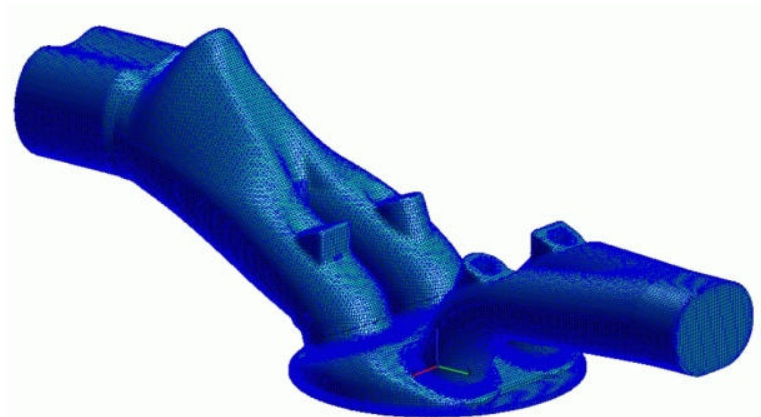
Rys. 3. Model geometryczny fragmentu silnika dwusuwowego wykorzystywany do sporządzenia siatki obliczeniowej [5].

Ad 4. W tej części ćwiczeń uczestnicy poznają sposoby modelowania wtrysku. W tym celu analizowany jest przypadek bezpośredniego wtrysku oleju napędowego do komory spalania. Rozpatrywany przypadek uwzględnia proces spalania wtrysniętego paliwa. Dzięki czemu kursanci zaznajomieni zostają również ze sposobami modelowania wtrysku w silnikach ZS Siatkę do obliczeń numerycznych wykorzystywaną w tym przypadku przedstawiono na rysunku 4.

Ad 5. W tej części kursanci wykorzystują i doskonalą praktycznych umiejętności pracy w środowisku numerycznych narzędzi obliczeniowych, które zdobyli w poprzednich częściach kursu. Ponadto poznają jak można modyfikować za pomocą funkcji własnych istniejące modele poszczególnych zjawisk oraz tworzyć swoje. Podczas tych zajęć analizowany jest przypadek pracy czterosuwowego czterozaworowego silnika. Siatkę do obliczeń numerycznych wykorzystywaną w tym przypadku przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 4. Siatka do obliczeń numerycznych wykorzystywana w przypadku analizy wtrysku i spalania w silniku ZS [6].



Rys. 5. Siatka do obliczeń numerycznych wykorzystywana w przypadku analizy pracy czterosuwowego, czterozaworowego silnika [5].

Ćwiczenia realizowane są przez doktorantów specjalistów w komputerowym modelowaniu procesów spalania. Proces kształcenia prowadzony jest przy wykorzystaniu najnowocześniejszych narzędzi obliczeniowych w projektowaniu silników i symulacji procesów spalania.

Pomyślne ukończenie kursu dokumentowane jest certyfikatem. (rys. 6)



Rys. 6. Uczestnik kursu otrzymujący certyfikat ukończenia szkolenia z rąk wykładowcy i koordynatora merytorycznego projektu, prof. dr hab. inż. Andrzeja Teodorczyka

5 Podsumowanie

Popularyzacja polskiej i światowej myśli technicznej niezbędna jest do budowania przewagi konkurencyjnej polskiej kadry naukowej wśród opiniotwórczej grupy odbiorców usług B+R. Ponadto projekt wpłynie w przyszłości na stworzenie i rozwój ośrodków B+R w Polsce w zakresie projektowania i modelowania procesu spalania w silnikach tłokowych. Ponadto poszerzy się polska oferta eksportowa o usługi nowoczesnych technologii, co pozwoli też zatrzymać w kraju wysoko wykwalifikowaną kadrę inżynierską. Wzmocnione zostaną kompetencje kadr sektora B+R oraz przyszłych inżynierów dzięki poznaniu najnowszych kierunków w projektowaniu silników i narzędzi obliczeniowych.

Szkolenia wpłyną też na ugruntowanie postaw proinnowacyjnych wśród studentów i kadry B+R oraz zwiększenie świadomości do poziomu zapewniającego efektywną współpracę jednostek nauki i przedsiębiorstw w zakresie wdrożenia osiągnięć naukowych w gospodarce.

Realizacja celu możliwa będzie przez nabycie wiedzy o:

- ♦ najnowszych trendach w konstrukcjach, systemach wtrysku, procesach spalania i sposobach ich realizacji w silnikach tłokowych, co pozwoli zrozumieć złożoność systemów silnikowych

- ♦ współczesnych systemach symulacji procesów związanych z wymianą ładunku, przygotowaniem mieszanki, zapłonu i spalania w silnikach tłokowych stos. w przemyśle
- ♦ narzędziach wykorzystywanych w światowych ośrodkach B+R do modelowania procesów spalania i wymiany ładunku w silnikach tłokowych jak AVL Fire oraz umiejętności posługiwania się tymi narzędziami.

6 Literatura

- [1] Kapusta L.J., Teodorczyk A., Drabik M., *Symulacje numeryczne spalania n-heptanu w komorze o stałej objętości*, Archiwum Spalania, Vol. 11, 2011
- [2] AVL „Fire” User Manual: *CFD Solver*, 2009
- [3] Jaworski P., Żbikowski M., *Modele LES w badaniach numerycznych procesów spalania w silnikach tłokowych - przegląd literaturowy*, Archiwum Spalania, Vol. 11, 2011
- [4] AVL Fire User Manual: *Primer*, 04/2009
- [5] AVL Fire User Manual: *Application Examples*, 04/2009
- [6] AVL Fire User Manual: *Engine Simulation Environment (ESE) Tutorial*, 04/2009

TRAININGS METHODOLOGY IN THE FIELD OF CHARGE EXCHANGE, INJECTION AND COMBUSTION PROCESSES SIMULATION, WITH USE OF AVL FIRE CODE

Summary - In this paper we present an overview of the experience and methodology in training project about numerical simulations of liquid fuel injection and combustion processes in piston IC engines. A project called „Popularization of polish and worlds science achievements in the field of future trends in combustion processes in piston IC engines” is composed of two parts, lectures and practical trainings. Second part is concerning in numerical simulations of flows and combustions with use of commercial CFD code as AVL Fire. Range and the way of choice of the didactic material is presented, besides results and achievements by the participants are discussed.