

LMS Virtual.Lab oraz LMS AMESim - oprogramowanie CAE stosowane do wirtualnego prototypowania silników spalinowych

Oprogramowania LMS Virtual.Lab oraz LMS AMESim umożliwiają przeprowadzenie procesu wirtualnego prototypowania, począwszy od koncepcji inżynierskiej, a kończąc na wielokryterialnej optymalizacji całego projektu.

Oprogramowanie LMS AMESim stosowane jest podczas projektowania procesów zachodzących w silnikach spalinowych. Użycie szeregu gotowych komponentów (takich jak pompy, zawory, wały korbowe, krzywki, wtryskiwacze), zebranych w biblioteki tematyczne, skraca czas projektowania do minimum. Elementy można dowolnie modyfikować, co umożliwia dopasowanie ich do indywidualnych potrzeb projektu.

Oprogramowanie LMS Virtual.Lab stosowane jest do przeprowadzania analiz dynamicznych, akustycznych, analiz drgań oraz wytrzymałości zmęczeniowej. Możliwości pakietu zintegrowane są w jedno środowisko symulacyjne oparte o CATIA V5.

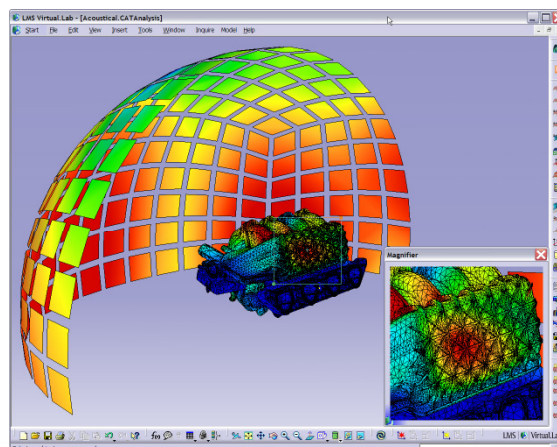
Słowa kluczowe: oprogramowanie CAD; CAE; komputerowe wspomaganie prac inżynierskich związanych z projektowaniem oraz optymalizacją silników spalinowych.

1. LMS Virtual.Lab

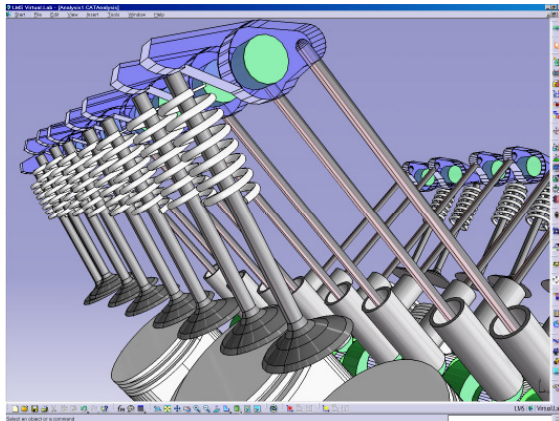
Oprogramowanie LMS Virtual.Lab posiada możliwość pełnej integracji pomiędzy modułami do symulacji różnych dziedzin nauki. Środowisko symulacyjne pozwala między innymi na modelowanie dynamicznej współpracy pomiędzy poszczególnymi elementami konstrukcyjnymi silnika, badanie ich wytrzymałości zmęczeniowej czy analizę hałasu emitowanego podczas jego pracy. Wszystkie moduły mogą działać niezależnie lub w pełni ze sobą współpracować. Dzięki wprowadzeniu jednego interfejsu dla wszystkich modułów, opartego o Catia V5, wirtualne prototypowanie silników pod kątem różnych dziedzin nauki jest możliwe w jednym oprogramowaniu. LMS Virtual.Lab umożliwia pełną modyfikację i optymalizację konstrukcji silników jeszcze na etapie wirtualnego projektowania bez konieczności budowy drogich i czasochłonnych prototypów [1].

LMS Virtual.Lab składa się z kilku głównych modułów, z których każdy posiada rozbudowany post-procesor umożliwiający obróbkę wyników oraz tworzenie szczegółowych raportów:

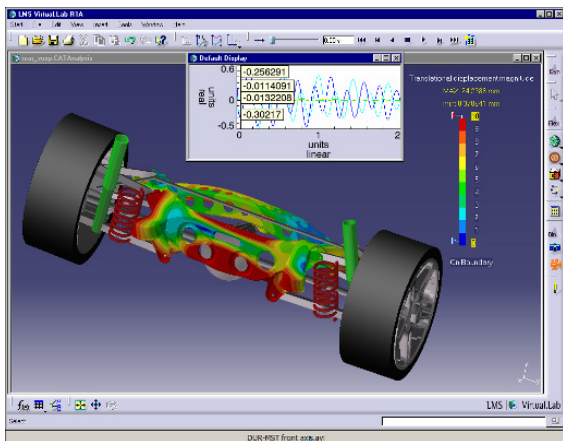
- **ACOUSTICS**, moduł oparty o solwery SYSNOISE i RAYNOISE, umożliwia przeprowadzanie dokładnych analiz akustycznych. Pozwala modelować emisję akustyczną poszczególnych komponentów silnika oraz umożliwia redukcję zakłóceń i szumów.



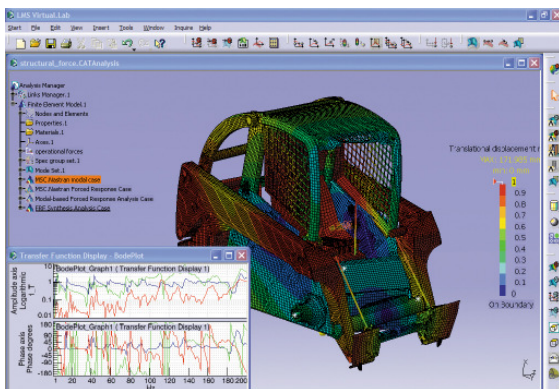
- **MOTION**, moduł oparty o solver DADS, pozwala na przeprowadzanie złożonych analiz dynamicznych zarówno elementów idealnie sztywnych jak i podatnych. Istnieje możliwość stworzenia całkowicie nowej konstrukcji silnika oraz modelowanie dynamicznej współpracy pomiędzy jego elementami. Oprogramowanie umożliwia również import istniejącego modelu z innego oprogramowania takiego jak: ProEngineer, SolidWorks, SolidEdge, UniGraphics czy Inventor, jak również z uniwersalnych formatów takich jak: ParaSolid, STEP czy IGES. Moduł posiada kilka szablonów przeznaczonych do modelowania m.in. elementów silników spalinowych (w szczególności łożysk ślizgowych, tłoków, korbowodów, wałów korbowych, zaworów i sprężyn śrubowych, krzywek, łańcuchów i pasków rozrządu), elementów zawieszania, układów napędowych, przekładni zębatych, lin oraz przewodów elektrycznych, pneumatycznych, hydraulicznych itp.



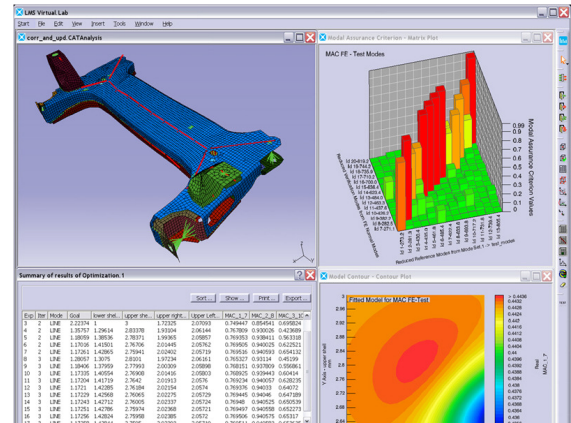
- DURABILITY, moduł oparty o solver FALANCS przeznaczony do analiz zmęczeniowych. Umożliwia kreowanie historii obciążenia oraz tworzenie złożonych przypadków zmęczeniowych. Istnieje zarówno możliwość importu listy obciążeń, jak i tworzenie jej od początku. Dodatkową funkcją jest wykrywanie połączeń pomiędzy wirtualnymi elementami oraz pełny opis spoiny, jaką będą łączone rzeczywiste elementy.



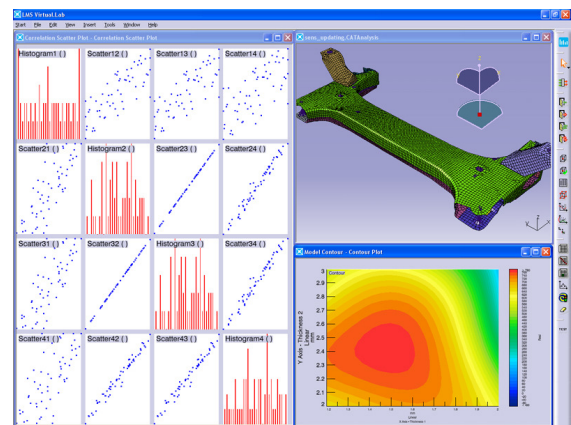
- NOISE AND VIBRATION, moduł służący do wykrywania źródeł szkodliwych drgań konstrukcji. Pozwala na zmniejszenie wpływu wibracji na pracę silnika jeszcze w fazie projektowania. Dodatkowo dostarcza kompletnych informacji na temat zakłóceń wywołanych pracą danego urządzenia.



- CORRELATION, moduł służący do zestawiania modeli wirtualnych z wynikami pomiarów. Umożliwia identyfikację przyczyn powstawania błędów oraz poprawę wirtualnego modelu aby dokładniej odzwierciedlał rzeczywistość. Istnieje możliwość porównania i zatwierdzenia zgodności modelu FE z rzeczywistością na podstawie wyników z pomiarów.



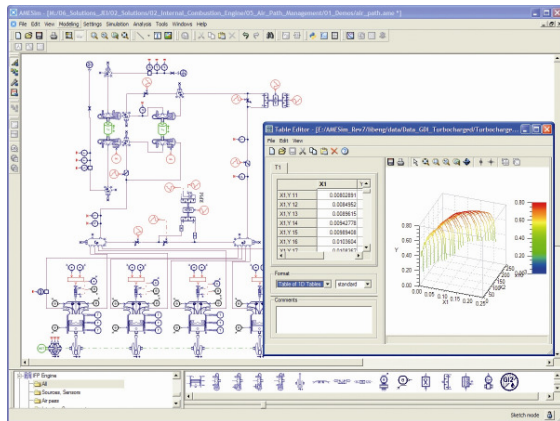
- OPTIMIZATION, moduł w pełni kompatybilny ze wszystkimi aplikacjami związanymi ze środowiskiem LMS Virtual.Lab. Umożliwia pełną optymalizację parametrów oraz poprawę funkcjonalności konstrukcji.



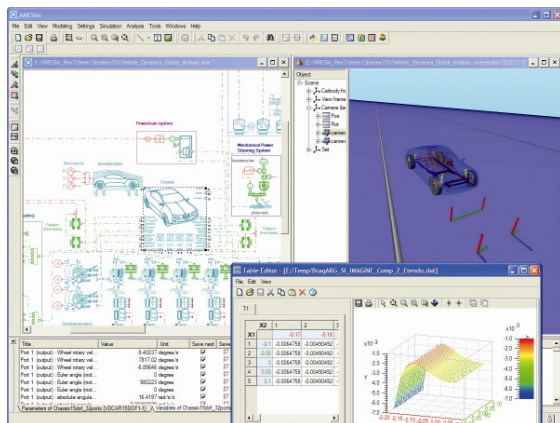
LMS Virtual.Lab współpracuje zarówno z wiodącymi systemami CAD takimi jak CATIA, I-DEAS, UniGraphics i ProEngineer jak i solverami: Ansys, Abaqus, czy Nastran. Dodatkowym atutem aplikacji jest możliwość współpracy z oprogramowaniem do symulacji układów mechatronicznych takim jak LMS AMESim. Software usuwa bariery pomiędzy systemami CAD, CAE i TEST, ponadto pozwala inżynierom na ponowne użycie stworzonych modeli eliminując konieczność budowania ich dla każdej z aplikacji osobno [1].

2. LMS AMESim

Oprogramowanie LMS AMESim to kompletny system do przeprowadzania symulacji silników spalinych oraz układów mechatronicznych. Poszczególne komponenty posiadają zaimplementowane równania matematyczne opisujące procesy zachodzące w rzeczywistych konstrukcjach. Można je dowolnie łączyć ze sobą tworząc złożone modele matematyczne odzwierciedlające rzeczywiste procesy zachodzące w silnikach [2].



Oprogramowanie pozwala na rozwiązywanie wielu problemów inżynierskich już we wczesnej fazie projektowania. Pakiet oprogramowania łączy duże możliwości obliczeniowe z narzędziami do zaawansowanych analiz statycznych i dynamicznych pojedynczych elementów lub całych systemów. Posiadając rozległe bazy danych, software oszczędza dużą ilość czasu poprzez eliminację potrzeby modelowania wszystkiego od podstaw. Dzięki gotowym, specjalistycznym aplikacjom zawartym w pomocy technicznej, użytkownik może ocenić różnorodne podsystemy gotowych modeli w różnych funkcjach wielkości fizycznych. Oprogramowanie umożliwia zaprojektowanie i ocenę właściwości danego produktu oraz wprowadzenie ewentualnych zmian bez konieczności budowy drogich prototypów.



LMS AMESim posiada prosty w obsłudze interfejs graficzny. Modelowanie oraz analiza przeprowadzana jest w czterech etapach:

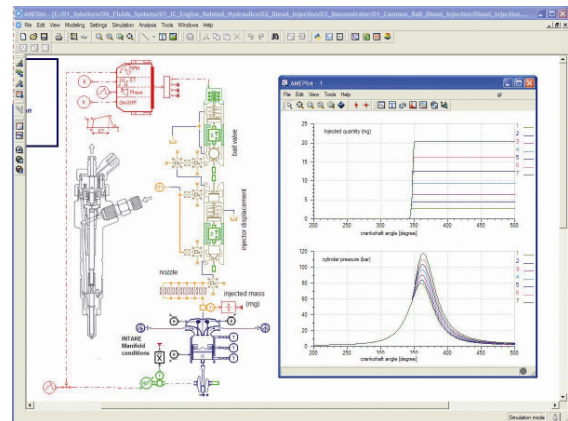
ETAP 1 – złożenie modelu z komponentów dostępnych w bibliotekach,

ETAP 2 – wybór odpowiedniej interpretacji fizycznej dla danego komponentu,

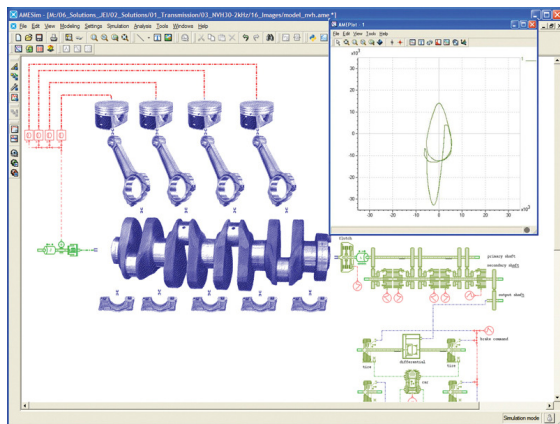
ETAP 3 – wpisanie wartości parametrom wejściowym, które są dostępne dla danego komponentu oraz ustalenie warunków brzegowych,

ETAP 4 – wybór metody całkowania, ustalenie parametrów analizy numerycznej, przeprowadzenie obliczeń, wyświetlanie wyników za pomocą wykresów oraz plików tekstowych.

Oprogramowanie umożliwia przeprowadzanie wielokrotnych, zapętlnych analiz z różnymi parametrami wejściowymi oraz przeprowadzanie optymalizacji. Software posiada bardzo rozbudowaną pomoc techniczną, w której można znaleźć m.in. charakterystykę matematyczną każdego komponentu, jego zastosowanie czy opis parametrów wejściowych i wyjściowych. W pomocy technicznej zawarte jest również kilkadziesiąt gotowych modeli z różnych dziedzin inżynierskich, między innymi związanych z procesami zachodzącymi w silnikach spalinych [2].

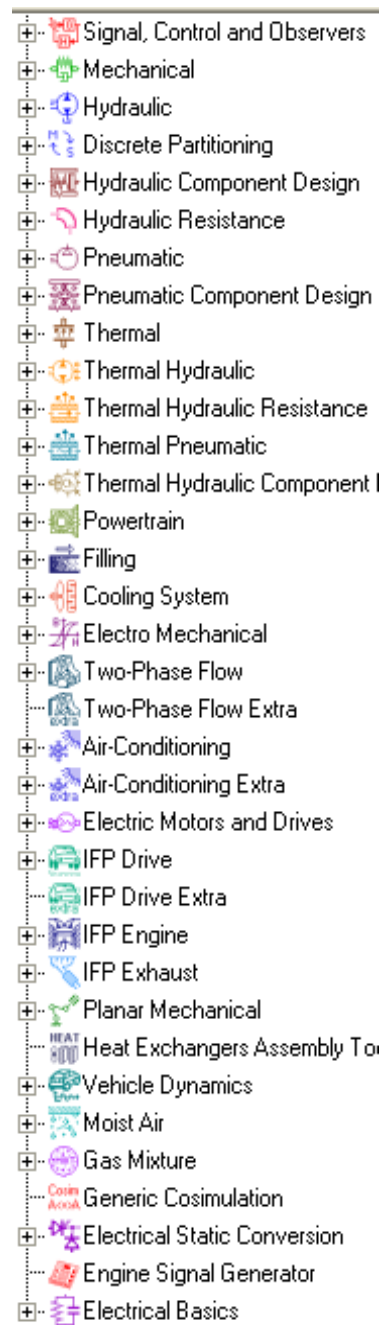


LMS AMESim posiada możliwość współpracy z oprogramowaniami takimi jak Matlab czy LabView. Pozwala to na zaprojektowanie poszczególnych elementów modelu w każdym z wymienionych oprogramowań osobno, a następnie analizę całego projektu poprzez wspólne obliczenia numeryczne. LMS AMESim umożliwia również integrację z pakietem symulacyjnym Modelica, dzięki czemu skrypty napisane w tym języku można w prosty sposób zaimplementować w omawianym pakiecie symulacyjnym. Ponadto oprogramowanie pozwala na integrację z innymi środowiskami obliczeniowymi przeznaczonymi do analiz dynamicznych metodą „Multibody”, takimi jak LMS Virtual. Lab. czy MSC ADAMS.



LMS AMESim zawiera ponad 3 500 gotowych komponentów (modeli układów fizycznych), podzielonych na 35 bibliotek tematycznych takich jak:

- komponenty odpowiedzialne za sterowanie (źródła sygnału, komparatory, edytory funkcji matematycznych, sumatory, wyzwalacze i inne),
- komponenty mechaniczne (masy z tarciami, masy obrotowe, sprężyny, tłumiki, przetworniki przemieszczenia, prędkości oraz przyspieszenia, kołowrotki z linami i inne),
- komponenty hydrauliczne (komponenty opisujące właściwości płynu hydraulicznego, pompy, zawory, siłowniki, źródła ciśnienia, komponenty opisujące zagięcia rur i inne),
- komponenty pneumatyczne (komponenty opisujące właściwości medium pneumatycznego, kompresory, filtry, zawory, siłowniki i inne),
- komponenty termiczne (komponenty opisujące właściwości metalu, źródła temperatury, komponenty opisujące wymianę ciepła pomiędzy dwoma elementami oraz pomiędzy elementem a otoczeniem i inne),
- komponenty hydrauliczno-termiczne (komponenty opisujące właściwości płynu chłodniczego, pompy hydrauliczne, komponenty przekazujące ciepło z elementów masowych do płynu chłodniczego i inne) [3],
- komponenty przekazania napędu (wały korbowe z tłokami, sprzęgła, dyferencjały, koła zębate, silniki, automatyczne skrzynie biegów, modele pojazdów, turbiny i inne) [4],
- komponenty układu chłodzenia (chłodnice, silniki, pompy, termostaty, radiatory, wymienniki ciepła i inne) [5],
- komponenty elektryczne (akumulatory, silniki prądu stałego, silniki synchroniczne z portem termicznym, źródła napięcia i natężenia, diody, rozdzielacze, kondensatory, rezystory i inne),
- komponenty układów wydechowych (filtry, katalizatory i inne) [6],
- komponenty do modelowania pojazdów (modele pojazdów o 15 stopniach swobody, profile dróg, opony, komponenty opisujące aerodynamikę pojazdu i inne).



3. Zastosowanie oprogramowania CAE do modelowania procesów zachodzących w silnikach spalinowych

Przykładową aplikacją wykonaną przy użyciu programów LMS AMESim oraz LMS Virtual.Lab była analiza modelu silnika spalinowego. Stworzono model matematyczny oraz przeanalizowano go pod kątem dynamicznym i akustycznym. Dokonano także obliczeń wytrzymałościowych poszczególnych komponentów narażonych na największe naprężenia zmęczeniowe, a także zoptymalizowano parametry filtra wydechowego pod względem składu chemicznego, podnosząc jego skuteczność w

redukcji szkodliwych gazów emitowanych do atmosfery.

Po przeanalizowaniu modelu wykonanego w LMS AMESim otrzymano przebiegi sił działających na poszczególne tłoki silnika V6 podczas jednego pełnego cyklu jego pracy. Analizy wykonano przy pewnych założeniach konstrukcyjnych takich jak:

- chemiczny skład procentowy spalanej mieszanki,
- ilość powietrza dostarczanego do komory spalania,
- temperatura spalania mieszanki,
- wartości mas i momentów bezwładności poszczególnych komponentów silnika,
- współczynniki tarcia statycznego i kinematyczne pomiędzy współpracującymi komponentami.

Po wykonaniu kilku analiz dla różnych składów procentowych spalanej mieszanki wybrano optymalny skład pod względem maksymalizacji momentu uzyskanego na wale korbowym oraz minimalizacji zużycia paliwa.

Dla wyznaczonego składu procentowego mieszanki dobrano chemiczne parametry filtra redukując emisję szkodliwych gazów do minimum. Przebiegi sił powstałe poprzez spalanie paliwa w cylindrach, działające na poszczególne tłoki podczas pełnego cyklu pracy silnika, zaimplementowano jako parametry wejściowe do dalszej analizy dynamicznej przeprowadzonej metodą „mulibody”.

W pakiecie LMS Virtual.Lab stworzono model dynamiczny silnika spalinowego V6 oraz wprowadzono uzyskane przebiegi sił jako parametry wymuszające ruch. Dokonano obliczeń sił przeniesionych na wał korbowy oraz wyznaczono naprężenia działające na niego podczas każdej iteracji.

Zbadano również przebiegi odkształceń bloku silnika. Następnie wykonano analizę akustyczną współpracujących ze sobą elementów. Po niewielkich modyfikacjach geometrii zredukowano odkształcenia bloku oraz zmniejszono hałas generowany podczas pracy silnika.

Dodatkowo dla wału korbowego przeprowadzono analizę wytrzymałości zmęczeniowej oraz zaplanowano pewne modyfikacje konstrukcyjne.

Bibliography/Literatura

- [1] Virtual.Lab Manual, 16.10.2009.
- [2] AMESim Reference Manual Rev.10, 01.11.2010.
- [3] J. P. Holman, Heat Transfer, S I Metric Edition, McGraw-Hill Book Company, 1989.
- [4] ARMSTRONG-HELOUVRY B., "Control of machines with friction", Norwell, Massachusetts : Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [5] Franck P. Incropera, David P. DeWitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Fourth Edition, John Wiley & Sons, 1996.
- [6] John B. HEYWOOD, 'Internal Combustion Engine Fundamentals', McGraw-Hill international editions, 1988

mgr inż. Łukasz Piasecki
– specjalista ds. analiz numerycznych,
firma EC TEST SYSTEMS

