

**Michał Rola\*, Łukasz Grabowski\*, Piotr Jakliński\***

## **DYDAKTYCZNE ZNACZENIE PROGRAMU MODELICA W KSZTAŁCENIU TECHNICZNYM**

### **WSTĘP**

Poznanie i zrozumienie zjawisk fizycznych zachodzących w różnych urządzeniach i maszynach jest podstawą w nauczaniu technicznym. Samo zapoznanie się z teorią i wzorami jest w większości przypadków niewystarczające. Dużo bardziej kształcące jest przeprowadzenie eksperymentu, zarówno rzeczywistego jak też wirtualnego.

Znaczący rozwój technik komputerowych oraz teorii i praktyki modelowania komputerowego pozwala na zwiększenie udziału eksperymentu wirtualnego w nauczaniu technicznym. Przy niskich kosztach przeprowadzania takiego eksperymentu uzyskuje się wysoką powtarzalność oraz wierne odwzorowanie rzeczywistości.

Większość programów służących do modelowania opiera się na wiedzy fizycznej opisanej poprzez równania różniczkowe lub różniczkowo-algebraiczne. Jednocześnie programy te dla zwiększenia uniwersalności opierają się na zasadzie „klocków Lego” czyli umożliwiają łączenie prostych modeli (elementów podstawowych) w modele złożone. Przykładem takiego programu jest Modelica.

### **OPIS ŚRODOWISKA MODELICA**

Modelica jest językiem do modelowania obiektowego układów fizycznych. Pozwala użytkownikowi napisać ogólne równania. Narzędzie to rozwiązuje indywidualne wartości zmienne i decyduje o rodzaju obliczeń, uwzględniając przy tym także związki przyczynowe. Pakiet Modelica akceptuje równania różniczkowe (ODE: ordinary differential equations) i równania różniczkowo-algebraiczne (DAE: differential algebraic equations), opisujące zjawiska zachodzące w modelowanym urządzeniu, w postaci niejawniej [2].

$$f(t, dx/dt, x, y) = 0$$

gdzie:

- x – wektor zmiennych dynamicznych,
- y – wektor zmiennych algebraicznych,
- t – czas.

---

\* Michał ROLA, Łukasz GRABOWSKI, Piotr JAKLIŃSKI – Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

Istotą podejścia zastosowanego w Modelice jest **modelowanie fizyczne**. Oznacza to, że połączenie ikon elementów na schemacie blokowym realizuje prawa fizyki obowiązujące w miejscu połączenia [1].

Modele w Modelice zbudowane są z grup reprezentujących ograniczone podsystemy. Łączone w grupy tworzą złożony hierarchicznie model z których każdy poziom tworzy coraz większy obszar fizycznego procesu. Przykładem może być samochód, który jest obiektem zawierającym kilka zespołów np. układ napędowy, układ zawieszenia, karoseria. Każdy z poszczególnych zespołów złożony jest z podzespołów np. układ napędowy może się składać z silnika, skrzyni biegów, wału napędowego i przekładni głównej. Każdy z tych układów może być projektowany oddzielnie a następnie poszczególne bloki mogą być ze sobą połączone. Modelica jest obiektowo-zorientowana i każdy jej element ma pola w których przechowywane są wszystkie istotne, z punktu widzenia celu symulacji, parametry wybranego bloku. Przypisanie parametrów potrzebnych wartości jest wykonywane w sposób dogodny dla użytkownika, w oparciu o typowe dane katalogowe dla wybranego urządzenia [1].

Modelica umożliwia użytkownikowi budowanie własnych grup bibliotek. Możliwe jest również korzystanie z gotowych bibliotek zawartych w zintegrowanym pakiecie Dymola. Właśnie wykorzystanie takich bibliotek, pozwala w łatwy sposób modelować wiele zjawisk fizycznych, co może mieć zastosowanie w kształceniu technicznym. W gotowych bibliotekach mamy możliwość zmian wartości wielkości początkowych procesu oraz wartości wielkości charakteryzujących dany model. Możliwe jest importowanie do Dymoli danych wykorzystywanych do symulacji a także plików graficznych. Otrzymane wyniki mogą być analizowane przy pomocy narzędzi graficznych. Dodatkowo zawarte w bibliotekach modele posiadają podręczną dokumentację pozwalającą na szybkie zapoznanie się z ich przeznaczeniem, budową oraz opisującymi je równaniami.

### **Biblioteki dostępne w bezpłatnym pakiecie Modelica**

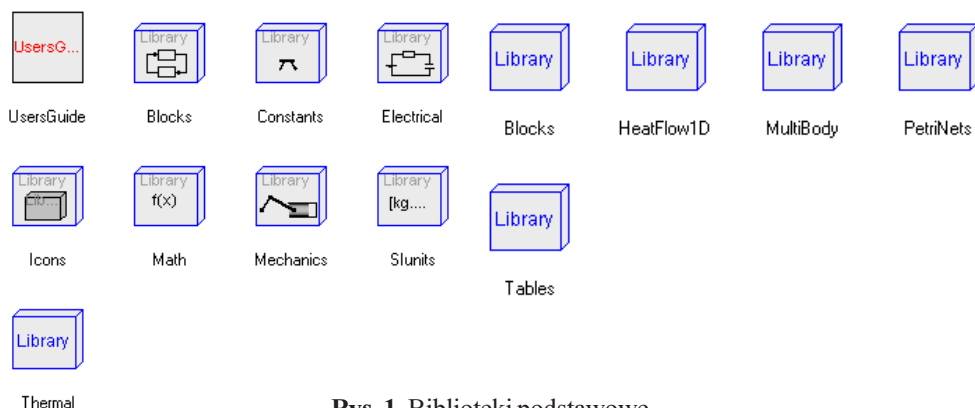
W skład pakietu wchodzi podstawowe bezpłatne biblioteki zawarte w Modelice oraz biblioteki komercyjne dostępne w Dymoli.

Biblioteki podstawowe zawierają:

- modele mechaniczne,
- modele elektryczne,
- modele termiczne,
- modele wymiany ciepła,
- sieci Petriego,
- elementy matematyczne.

Wykorzystanie powyższych bibliotek daje możliwość modelowania zjawisk zachodzących podczas pracy elementów mechanicznych w trzech wymiarach uwzględniając siły, prędkości i przemieszczenie.

Modele elektryczne umożliwiają budowę i analizę układów elektrycznych zarówno analogowych jak i cyfrowych. Przepływ ciepła opisywany jest poprzez modele jednowymiarowe elementów skupionych.



Rys. 1. Biblioteki podstawowe

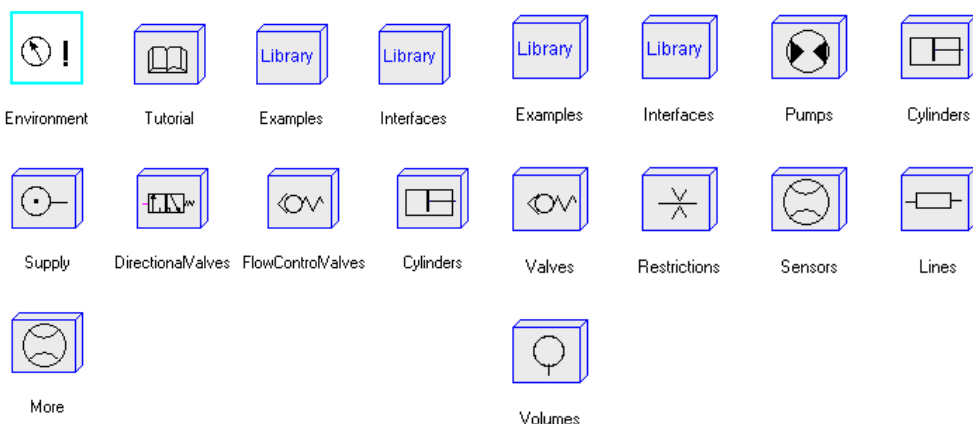
### Biblioteki dostępne w komercyjnym pakiecie Dymola

Biblioteki zawarte w Dymoli dotyczą układów pneumatycznych, układów hydraulicznych oraz układów napędowych pojazdów.

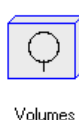
Biblioteki pneumatyczne zawierają:

- modele elementów wejścia, wyjścia,
- modele zbiorników i przewodów,
- modele zaworów,
- modele cylindrów,
- modele elementów pomiarowych.

Zbiór tych bibliotek umożliwia w prosty sposób modelowanie i analizowanie zjawisk zachodzących podczas przepływu gazu. Zakładając warunki początkowe procesu oraz własności geometryczne układu po wykonaniu obliczeń otrzymujemy: prędkości przepływu, charakterystyki ciśnienia i wydatku w czasie.



Rys. 2. Biblioteki pneumatyczne



Volumes

Rys. 3. Biblioteki hydrauliczne

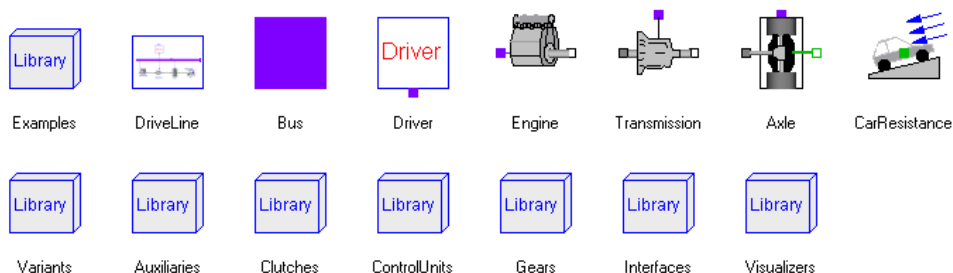
Biblioteki hydrauliczne zawierają:

- modele elementów wejścia, wyjścia,
- modele elementów tłoczących,
- modele rur,
- modele zaworów,
- modele cylindrów,
- modele elementów pomiarowych.

Biblioteki hydrauliczne pozwalają na modelowanie hydrostatycznych układów napędowych wraz z ich sterowaniem. Korzystanie z modeli zawartych w różnych bibliotekach, ale napisanych w jednym języku jest bardzo korzystne ze względu na potrzebę łączenia wielu różnych podsystemów.

Biblioteki układów napędowych pojazdów zawierają:

- modele elementów wejścia, wyjścia,
- modele magistral,
- modele kierowców,
- modele silników,
- modele układów napędowych,
- modele nadwozi,
- modele zawiesznień,
- modele oporów pojazdu,
- modele elementów pomiarowych.



**Rys. 4.** Biblioteki dotyczące układów napędowych pojazdów

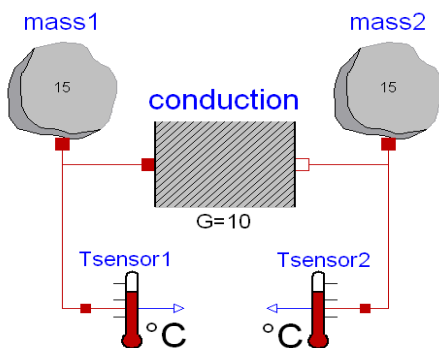
Powyższe biblioteki umożliwiają modelowanie zachowania pojazdów jak również poszczególnych układów pojazdu podczas pracy. Przykładem może być badanie zjawisk dynamicznych podczas zmiany biegów w automatycznej skrzyni biegów oraz przewidywanie zużycia paliwa. Cały cykl jazdy może być symulowany przy użyciu modelu kierowcy. Ponadto dzięki modelom zawiesznień pojazdów istnieje możliwość analizy drgań nadwozia pojazdu.

## PRZYKŁADOWE ZASTOSOWANIE W DYDAKTYCE

Poniżej przedstawiono przykładowe modele układów fizycznych wykonanych w programie Modelica.

### Wymiana ciepła

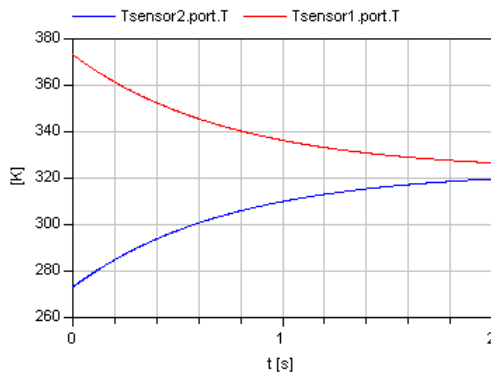
Przykład przedstawia przepływ ciepła pomiędzy dwoma ciałami o takiej samej pojemności cieplnej i ciepłe właściwym ale różnej temperaturze początkowej. Temperatura pierwszej masy wynosi  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatura drugiej masy wynosi  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ciała te zostały połączone za pomocą elementu przewodzącego ciepło. Temperatura podczas procesu mierzona jest za pomocą dwóch elementów rejestrujących przebieg temperatury w czasie.



Rys. 5. Schemat układu [4]

Podczas analizy takiego procesu przy użyciu opisywanego narzędzia istnieje możliwość przedstawienia wpływu ciepła właściwego oraz pojemności cieplnej na wymianę ciepła pomiędzy dwoma ciałami o różnej temperaturze początkowej.

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki takiej symulacji. Widoczne jest wyrównywanie się temperatury między tymi masami. Można zauważyć, że na początku wymiana ciepła jest bardziej intensywna, ze względu na dużą różnicę temperatur.



Rys. 6. Zmiana temperatury w funkcji czasu

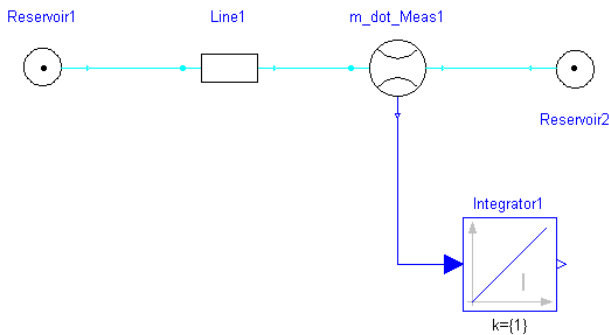
## Przepływ gazu

Analiza procesu przepływu gazu przy wykorzystaniu pakietu Dymola umożliwia rejestrację takich wielkości jak: wydatek masowy, prędkość, zmiany ciśnienia w zależności od takich parametrów układu jak:

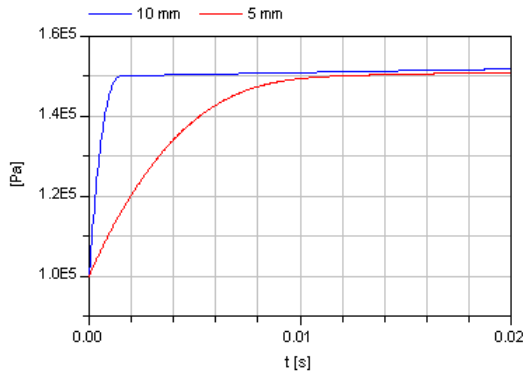
- różnica ciśnień pomiędzy zbiornikami,
- objętość zbiorników,
- własności gazu,
- średnicy i długości przewodu łączącego

Poniższy układ pozwala na analizę zjawisk zachodzących podczas przepływu gazu. Składa się on z dwóch cylindrycznych zbiorników o zadanej objętości, połączonych za pomocą przewodu o przekroju kołowym. Dodatkowo został wykorzystany element rejestrujący przepływ masowy gazu oraz element całkujący ten przepływ w czasie. Ciśnienie w zbiorniku pierwszym wynosi 200000 Pa, w zbiorniku drugim 10000 Pa.

Rysunek 8 przedstawia wyniki symulacji przepływu gazu przy wyrównywaniu ciśnienia w tych zbiornikach. W dwóch wariantach układu z przewodem łączącym o średnicach 5 i 10 mm. Widoczny jest dłuższy czas wyrównywania się ciśnienia w przypadku układu z mniejszą średnicą rurki.



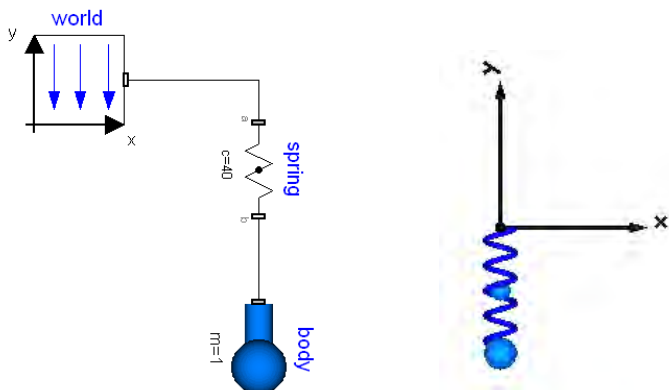
Rys. 7. Schemat układu przepływu gazu



Rys. 8. Zmiana ciśnienia w drugim zbiorniku przy różnych średnicach przewodu łączącego

## Drgania swobodne masy zawieszonej na sprężynie

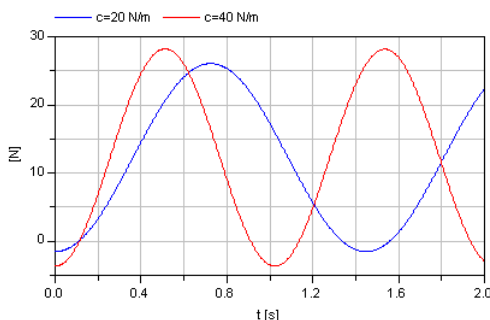
Przykład przedstawia układ pozwalający na przeprowadzenie symulacji swobodnych drgań masy zawieszonej na sprężynie. W skład układu wchodzi układ współrzędnych, masa oraz trójwymiarowy model sprężyny.



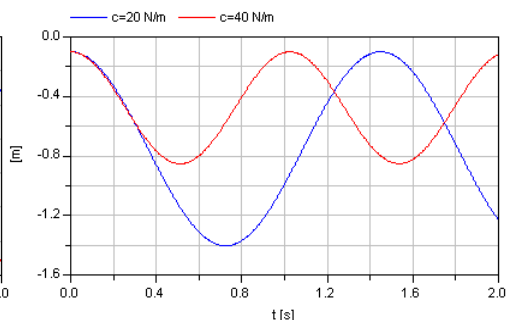
Rys. 9. Schemat układu masy swobodnie drgającej [4]

Zmiana wartości stałej sprężyny, przemieszczenia początkowego oraz masy zawieszanej na sprężynie pozwala na analizowanie sił w sprężynie, amplitudy drgań, prędkości oraz częstotliwości drgań.

W badaniach zastosowano dwie sztywności sprężyny 20 i 40 N/m. Jak widać na rysunku 10 przy większej wartości stałej sprężyny siła jest większa natomiast zmiana jej wartości w czasie zachodzi częściej. Rysunek 11 przedstawia wyniki amplitudy drgań masy dla dwóch wartości stałej sprężyny. Jak widać dla większej wartości  $c$  amplituda drgań jest mniejsza i mniejsza jest jej zmiana w czasie w przeciwieństwie do mniejszej sztywności sprężyny.



Rys. 10. Siła w sprężynie w funkcji czasu zależności dla dwóch wartości  $c$



Rys. 11. Amplituda drgań masy dla dwóch wartości stałej sprężyny  $c$

## WNIOSKI

Symulacje wykonywane w pakietach obliczeniowych Modelica w bardzo prosty i przejrzysty sposób przedstawiają zjawiska fizyczne zachodzące w układach tworzonych z gotowych modeli. Różnorodność oraz bardzo duża liczba gotowych modeli zawartych w pakietach Modelica i Dymola może być uzupełnieniem oraz szybkim i praktycznym przedstawieniem problematyki podczas kształcenia w wielu dziedzinach techniki.

Ponadto pakiet Dymola zawiera dokumentacje dostępnych bibliotek w wersji HTML przedstawiające: budowę, opis, sposób połączenia oraz parametry wybranego modelu. Stosowane są one w konkretnych dziedzinach techniki. Należy również dodać, że sposób ich użycia w głównej mierze zależy od wiedzy i inwencji użytkownika. Wykorzystanie skomplikowanych modeli komercyjnych może być stosowane przez ośrodki badawcze, natomiast ogólnie dostępne bezpłatne biblioteki mogą być użyte przez prowadzących zajęcia w celu przedstawienia istoty poruszanego problemu ze strony praktycznej. Możliwe jest szybkie i proste pokazanie: tworzenie modeli, zadawanie im warunków brzegowych oraz przedstawianie dowolnych wybranych przez siebie wyników w postaci graficznej.

## LITERATURA

1. Mrozek Z.: Wykorzystanie UML i Modeliki w szybkim projektowaniu mechatronicznym. T.Uhl, KriDM, AGH, Kraków 2002.
2. Mrozek Z.: Modelowanie fizyczne. Pomiary Automatyka Robotyka, 4, 2003.
3. Sojeima S.: Examples of usage and spread of Dymola within Toyota. Modelica Workshop, Lund, Sweden 2000.
4. Dokumentacja techniczna programu Modelica.

## Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości zastosowania programu Modelica do modelowania zjawisk fizycznych w czasie kształcenia technicznego. Opisano biblioteki dostępne w pakiecie programu Modelica oraz przykładowe zastosowania tego programu.

## EDUCATIONAL SIGNIFICANCE OF MODELICA PROGRAM IN TECHNICAL EDUCATION

### Summary

This paper presents various possibilities of application of Modelica program for modeling physical phenomena in the technical education. It also describes libraries available in Modelica and gives some model application of this program.