



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Nástroje pro modelování a simulaci

Roman Čermák

SPŠS Plzeň, 14.12.2010

Přednáška v rámci projektu CZ.1.07/2.3.00/09.0086
Podpora VaV a vzdělávání pro VaV v oblasti mechatroniky silničních vozidel

Tento projekt je spolufinancován
Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky

OBSAH

2

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

Definice

Důvody pro tvorbu modelů

Software v automobilových aplikacích

Nástroje pro modelování a simulaci

MATLAB, Simulink, Tbx., SimScape

AMESim

Modelica

Open-source modelovací nástroje

MKP, MHP, MOP modely

Multiphysics modelování

Modelování rychlých dějů – crash, tváření, apod.

MBS modelování (Multibody systems)

Nástroje pro MBS modelování – ADAMS

Přístupy k výstavbě modelu

Shrnutí

Pozvánka na seminář na ZČU

DEFINICE

3

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

Modelování představuje experimentální proces, při němž se zkoumanému originálu – modelovanému systému – jednoznačně podle určitých kritérií přiřazuje fyzický nebo abstraktní model. [Kuneš, 1989]

Modelování se liší podle způsobu přiřazení modelů k originálům. Využívá se podobnost a analogie.

Modelová podobnost

- fyzikální – podobnost parametrů a stavových veličin
- matematická – stejný matematický popis
- kybernetická – podobnost vnějšího chování

Analogie - matematická podobnost fyzikálně odlišných procesů [Noskievič, 1999]

Model se soustředěnými parametry - všechny vlastnosti systému jsou soustředěny do jednoho bodu.

Model s rozprostřenými parametry - vlastnosti systému se mění v závislosti na geometrických souřadnicích. (=> systém popsán parciálními dif. rovnicemi)

Prototyp – fyzický model zpravidla předcházející sériovou výrobu

Matematický model – abstraktní model popsán např. diferenciálními rovnicemi

Počítačový model – abstraktní model realizovaný na počítači. (virtuální prototyp)

Simulace – proces testování modelů za účelem zjištění jejich vlastností.

Wikipedia, Kuneš: Základy modelování, Noskievič: Modelování a identifikace systémů

DŮVODY PRO TVORBU MODELŮ

4

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

Modelování a simulace je cesta k poznání vlastností a chování reálného systému.

Model je často nezbytný pro zajištění správné funkce systému (výrobku).

- slouží pro **nalezení optimálních parametrů** výrobku ve fázi návrhu
- umožňuje včasné **odhalení chyby a její nápravu** (procesu návrhu, testování, apod. - tj. před uvedením do výroby, na trh, atd.)
- je často vyžadován pro certifikaci výrobku (např. zkoušení crashové odolnosti)
- může být využit např. pro zaškolení obsluhy - **simulátory**
- může být využit pro **monitorování složitých soustav a predikci jejich chování**
- apod.

Počítačové modelování přináší:

- výraznou finanční úsporu spojenou v včasným odhalení chyby
- výraznou finanční úsporu spojenou s minimalizací fyzických prototypů
- možnost opakovaných testů s minimálními náklady
- zrychlení vývoje výrobku
- vyšší „pokrytí“ testovacích úloh
- možnost automatického testování
- atd.

5

DŮVODY PRO TVORBU MODELŮ

Ilustrativní příklad:

SW pro automobilové aplikace

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

6

AUTOMOTIVE SOFTWARE

**Automotive Software
An Emerging Domain**

Automotive SW Workshop
San Diego, USA
H.-G. Freischlom
BMW Group
10-12. Jan. 2004
Page 3

Electronic Injections
Check Control
Speed Control
Central Locking
...

Electronic Gear Control
Electronic Air Condition
ASC Anti-Slip Control
ABS Anti-Blocking Sys.
Telephone
Seat Heating Control
Autom. Mirror Dimming
...

Navigation System
CD-Changer
ACC Active Cruise Control
Airbags
DSC Dynamic Stability Control
Adaptive Gear Control
Xenon Light
BMW Assist
RDS/TMC
Speech Recognition
Emergency Call
...

ACC Stop&Go
BFD
ALC
KSG
42-Voltage
Internet Portal
GPRS, UMTS
Telematics
Online Services
Blue-Tooth
Car Office
Local Hazard Warning
Integrated Safety System
Steer/Brake-By-Wire
I-Drive
Lane Keeping Assist.
Personalization
Software Update
Force Feedback Pedal

1970 1980 1990 2000

Degree of Interdependence

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

Bode et al: Adding Value to Automotive Models, ASWSD 2004, pp.86-102. Springer, 2006

7

AUTOMOTIVE SOFTWARE

Moderní vozidla obsahují řádově desítky různých řídících jednotek, které spolu musí komunikovat a spolupracovat.

Řídící jednotky/SW hrají klíčovou úlohu ve vozidle

- řídí klíčové funkce vozidla (motor, řazení, atd.)
- často „filtrují/eliminují“ nesprávné zásahy lidského operátora (např. ABS)
- „rozšiřují“ schopnosti lidského operátora (např. ACC, detekce objektů, noční vidění, apod.)

Automobilový SW je poměrně složitá věc (a bude v budoucnu ještě složitější).

Nesprávná funkce může mít fatální důsledky.

S rostoucí složitostí (počtem vazeb) roste i čas vývoje, pravděpodobnost chyb, a cena.

Potřeba efektivních nástrojů pro vývoj a testování.

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

EMMESKAY Inc

8

V CYKLUS VE VÝVOJI ECU

Analýza požadavků

Specifikace

Návrh systému a komponent

Modelování a simulace

Rapid Control Prototyping
MIL testování

Generování kódu
SIL testování

Vývoj cílového HW a portace kódu
PIL testování

Testování HW (ECU)
HIL testování

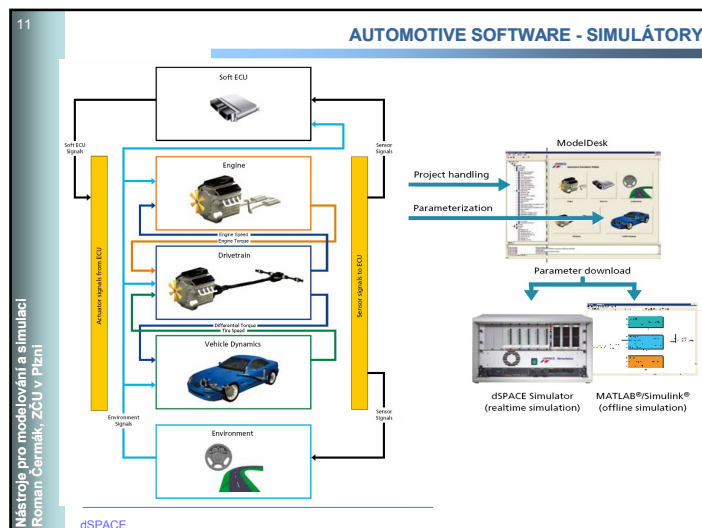
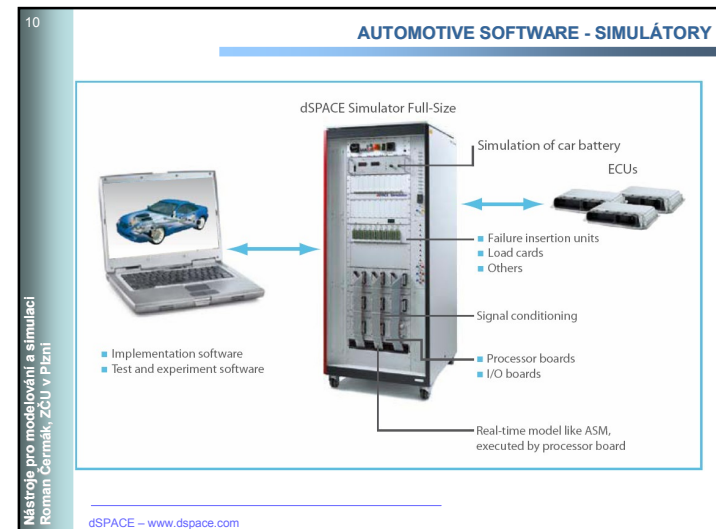
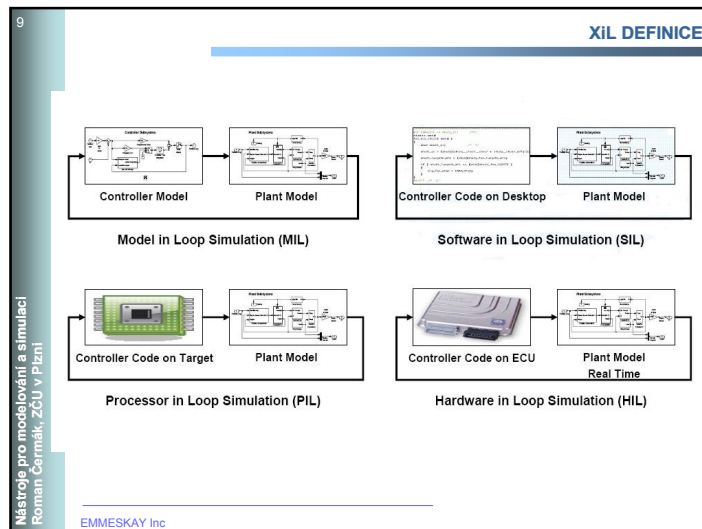
Testování subsystémů

Testování systému a kalibrace

Uvolnění do výroby

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

podle OPAL – RT Lab



12

AUTOMOTIVE SOFTWARE

Modelovací prostředí	MATLAB + SIMULINK	ADAMS	AmeSim	LabView
Automotive knihovny (off-line)	dSPACE ASM TESIS CarSim	ADAMS/Car ADAMS/Engine ADAMS/Driveline VI-Motorsport a další	Vehicle Dynamics, a další	moduly LabView
Generování kódu pro on-line	RealTime Workshop	VI-CarRealTime export do SL+RTW	export do SL+RTW	LabView RT
Cílový HW	dSPACE, ETAS, OPAL-RT, a další			National Instruments

Existuje celá řada nástrojů, tabulka uvádí jen příklady ...

Automobilky si často vyvíjejí vlastní knihovny i kompletní testovací SW a HW.
(MBTech - Provetch)

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

13

NÁSTROJE PRO TVORBU MODELŮ

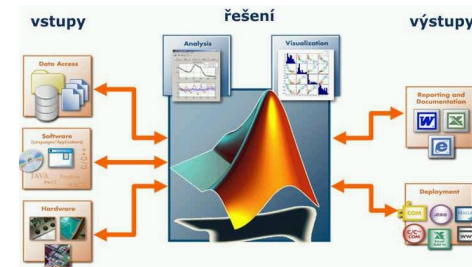
Stručný přehled některých nástrojů
pro tvorbu počítačových modelůNástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

14

NÁSTROJE PRO TVORBU MODELŮ

MATLAB, SIMULINK

MATLAB je integrované prostředí pro vědeckotechnické výpočty, modelování, návrhy algoritmů, simulace, analýzu a prezentaci dat, paralelní výpočty, měření a zpracování signálů, návrhy řídicích a komunikačních systémů.



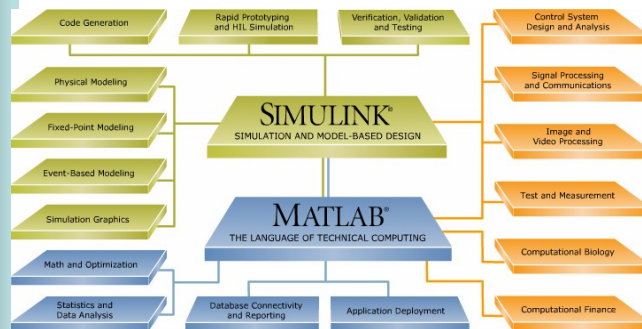
MATLAB je možné rozšířit o celou řadu „toolboxů“ pro řízení, zpracování obrazu, měření, optimalizaci, neuronové sítě, fuzzy logiku, apod.

Mathworks, Humusoft

15

NÁSTROJE PRO TVORBU MODELŮ

MATLAB, SIMULINK

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

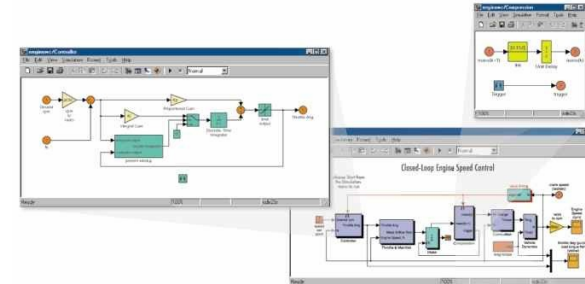
Mathworks, Humusoft

16

NÁSTROJE PRO TVORBU MODELŮ

MATLAB, SIMULINK

Simulink je nadstavba MATLABu pro simulaci a modelování dynamických systémů, který využívá algoritmy MATLABu pro numerické řešení nelineárních diferenciálních rovnic. Poskytuje uživateli možnost rychle a snadno vytvářet modely dynamických soustav ve formě blokových schémat a rovnic.



www.mathworks.com www.humusoft.cz

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

Mathworks, Humusoft

21

NÁSTROJE PRO TVORBU MODELŮ
FYZIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ - SIMSCAPE

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

Diplomová práce Denisa Pašková, 2009

22

NÁSTROJE PRO TVORBU MODELŮ
FYZIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ - AMESIM

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

- původně určen pro modelování a simulaci tekutinových mechanismů (hydraulika a pneumatika),
- později rozšířen o další knihovny
- předpokládá model se soustředěnými parametry (i když některé modely jsou konstruovány jinak)
- umožňuje co-simulaci s ADAMS, MATLAB-SIMULINK, MADYMO, apod.
 - je potřeba mít doinstalovaný další SW – např. překladače C nebo C++, FORTRAN, ...
 - a samozřejmě dodržet verze SW, s kterými je deklarovaná kompatibilita
- umožňuje vývoj vlastních bloků a knihoven (AMESet)
- kromě toho obsahuje další moduly (AMERun, AMECustom, AMEHelp, AMEAnimation, a další)

www.lmsintl.com

23

NÁSTROJE PRO TVORBU MODELŮ
FYZIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ - AMESIM

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

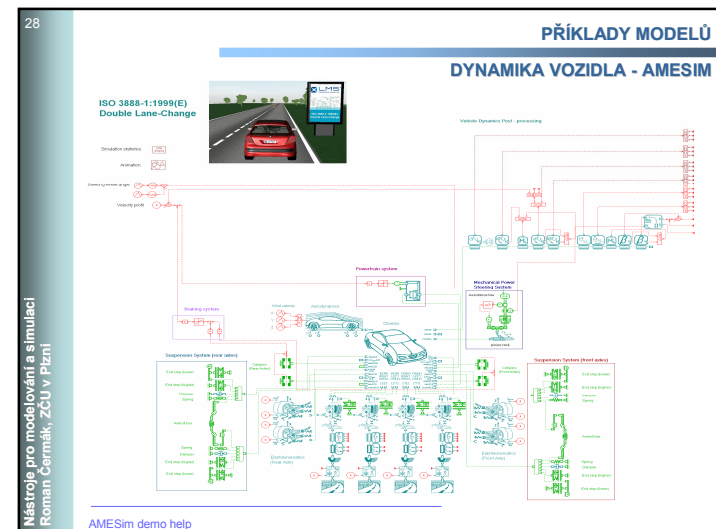
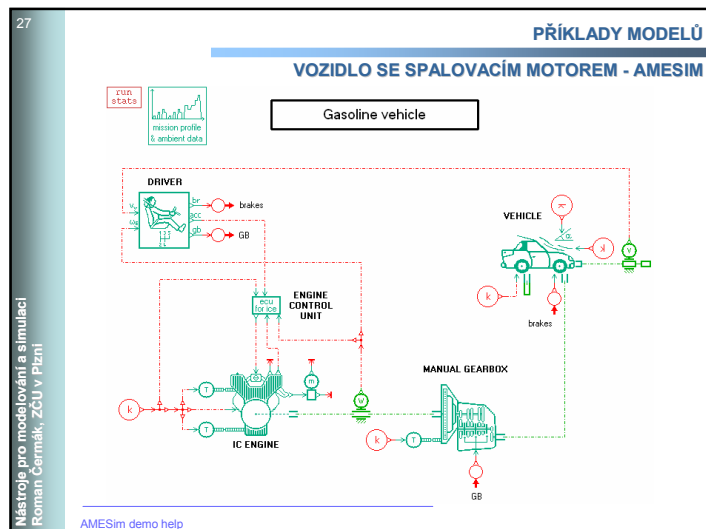
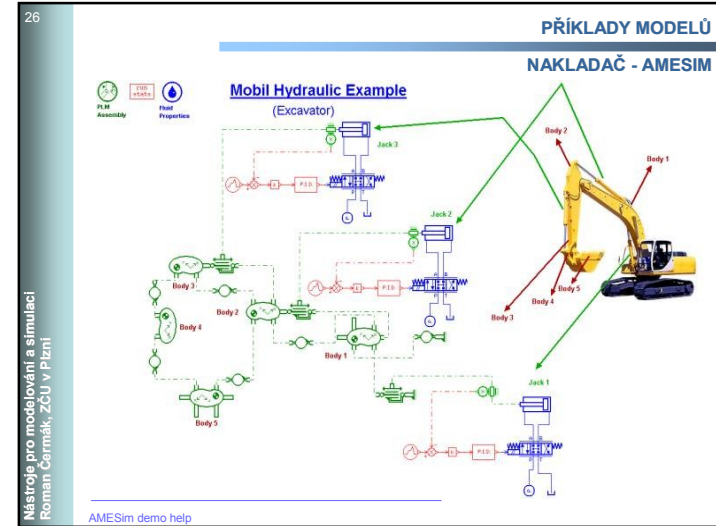
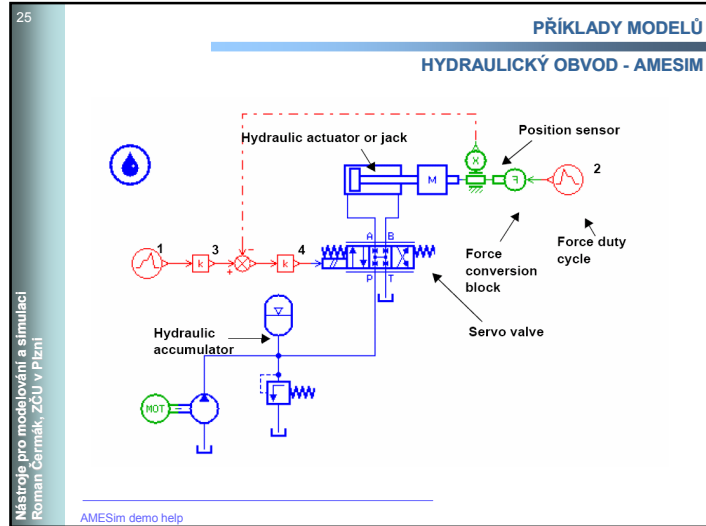
24

PŘÍKLADY MODELŮ
DVOJITÉ KYVADLO - AMESIM

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

4 - body 1
6 - body 2
3 - pivot junction Oo
5 - pivot junction point P12

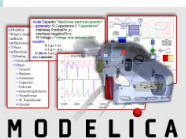
AMESim demo help



29

NÁSTROJE PRO TVORBU MODELŮ

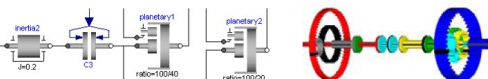
MODELICA



Modelica je objektově orientovaný programovací jazyk pro modelování komplexních fyzikálních systémů, tj. mechanických, tekutinových, elektrických, apod.

Je na něm založena celá řada jak komerčních, tak volně šiřitelných SW balíků, jako např. AMESim, SimulationX, Dymola, Simulia (CATIA Systems), SCICOS, OpenModelica, a další.

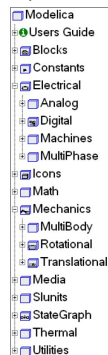
Celá řada knihoven je volně šiřitelná i pro komerční využití (včetně zdrojových kódů).



Modelicu využívá spousta známých firem, jako např. Audi, BMW, Daimler, Ford, Toyota, VV, ABB, Siemens a další.

www.modelica.org

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni



30

NÁSTROJE PRO TVORBU MODELŮ

OPEN-SOURCE MODELOVACÍ NÁSTROJE

Komerčně nabízené balíky jsou vesměs značně drahé, dokonce i pro školy. (např. pronájem Automotive knihoven v AMESimu na 1 rok – cca. 28tis EUR)

Proto vznikla celá řada open-source řešení, která obvykle neposkytují takový uživatelský komfort a funkčnost, ale jsou velmi dobře použitelná.

Scilab
ScicosLab
Octave
Numpy-Scipy
FreeMat
OpenModelica

www.scilab.org
www.scicos.org
www.octave.org
www.numpy.org
www.freemat.org
www.openmodelica.org

DYMOLA (volně šiřitelná demoverze)
SimulationX (volně šiřitelná demoverze)

www.dymola.com
www.iti.de

a spousta dalších

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

31

NÁSTROJE PRO TVORBU 3D MODELŮ

MKP, MHP, MOP MODELŮ

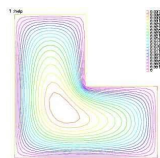
Úlohy z rozptřenyými parametry na složitých geometrických oblastech je obvykle potřeba řešit numericky.

Existuje celá řada metod, např.

- MKP – Metoda konečných prvků
- MHP – Metoda okrajových (hraničních) prvků
- MOP – Metoda objemových prvků
- a další

Princip:

1. Geometrickou oblast nahradíme sítí
2. Nadefinujeme okrajové podmínky
3. Nadefinujeme materiálové vlastnosti
4. Řešíme numericky



Komerční balíky: ANSYS, NASTRAN, MARC, Comsol Multiphysics, FLUENT, PAM-CRASH, DYTRAN, FEMAP, a další

Nekomerční: FreeFEM++

www.freefem.org

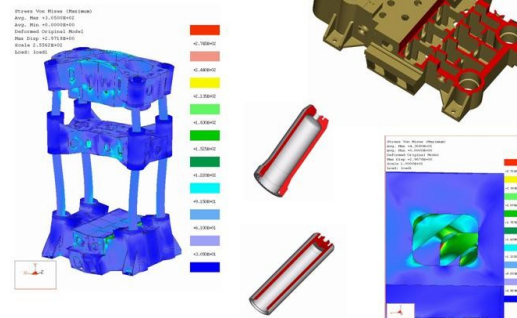
Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

32

NÁSTROJE PRO TVORBU 3D MODELŮ

MKP, MHP, MOP MODELŮ

Diplomová práce : Úprava kovacího lisu CKVJ 2500
Autor : Petr Kubal
Zadavatel : ŠKODA STEEL s.r.o., Plzeň
Rok odevzdání : 1998



Diplomová práce Kubal

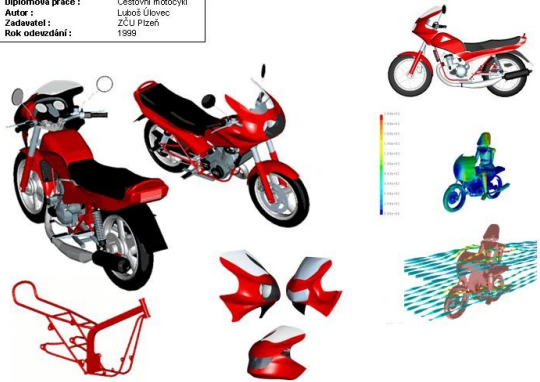
Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

33

NÁSTROJE PRO TVORBU 3D MODELŮ

MKP, MHP, MOP MODELŮ

Diplomová práce : Čestovní motocykl
 Autor : Luboš Ůtövec
 Zadavatel : ZČU Pízeň
 Rok odevzdání : 1999



Nástroje pro modelování a simulaci
 Roman Čermák, ZČU v Pízeň

Diplomová práce Ůtövec

34

NÁSTROJE PRO MODELOVÁNÍ MKP

MULTI-FYZIKÁLNÍ MODELOVÁNÍ

Díky rozvoji výpočetní techniky se v dnešní době často řeší tzv. **sdužené úlohy**, tj. kombinace několika fyzikálních dějů.

Např.: elektromagnetické pole cívky + teplo
 teplo + deformace v důsledku pnutí
 interakce mezi tekutinou a strukturou
 apod.

Celá řada balíků podporuje řešení sdužených úloh:
 Comsol Multiphysics
 ANSYS Multiphysics
 MD Nastran (Multi-Discipline)
 apod.

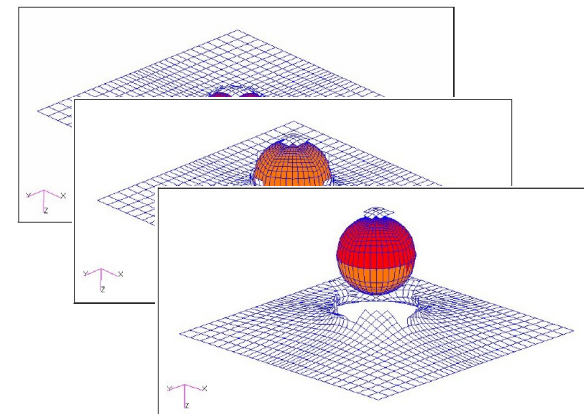
www.comsol.com
www.ansys.com
www.mscsoftware.com

Nástroje pro modelování a simulaci
 Roman Čermák, ZČU v Pízeň

35

NÁSTROJE PRO MODELOVÁNÍ MKP

MODELOVÁNÍ RYCHLÝCH DĚJŮ



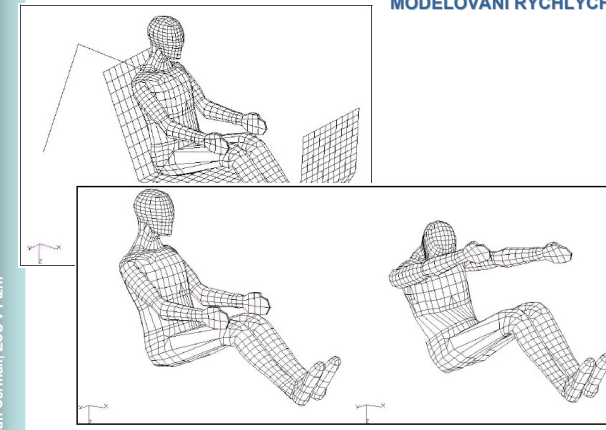
Nástroje pro modelování a simulaci
 Roman Čermák, ZČU v Pízeň

DYTRAN Demo

36

NÁSTROJE PRO MODELOVÁNÍ MKP

MODELOVÁNÍ RYCHLÝCH DĚJŮ



Nástroje pro modelování a simulaci
 Roman Čermák, ZČU v Pízeň

DYTRAN Demo

37

NÁSTROJE PRO MODELOVÁNÍ MKP
INTERAKCE MEZI TĚLESEM A TEKUTINOU

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

$T = 0.0\text{ s}$
 $T = 0.05\text{ s}$
 $T = 0.1\text{ s}$

DYTRAN Demo

38

NÁSTROJE PRO MODELOVÁNÍ MKP
ÚLOHY S VOLNOU HLADINOU

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

Image: Courtesy of CEI/Ensight

Courtesy: Animation by CEI/Ensight

Analysis Time: 2000.00ms

DYTRAN Demo

39

NÁSTROJE PRO TVORBU 3D MODELŮ
MODELOVÁNÍ SOUSTAV TĚLES - MBS

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

ADAMS/Engine

40

NÁSTROJE PRO TVORBU 3D MODELŮ
MODELOVÁNÍ SOUSTAV TĚLES - LIFE MODELER

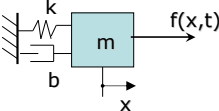
Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

www.lifemodeler.com

41

NÁSTROJE PRO MODELOVÁNÍ - PŘÍKLADY

HMOTA NA PRUŽINĚ S TLUMIČEM - ROVNICE



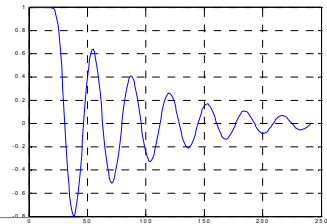
$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = f(x,t)$$

$$\ddot{x} + 2D\Omega\dot{x} + \Omega^2x = \frac{1}{m}f(x,t)$$

$$x = e^{-D\Omega t} \left(x_0 \cos \Omega_D t + \frac{v_0 + D\Omega x_0}{\Omega_D} \sin \Omega_D t \right)$$

$$\Omega = \sqrt{\frac{k}{m}},$$

$$D = \frac{b}{2\sqrt{k \cdot m}},$$

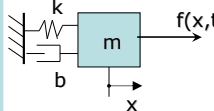
$$\Omega_D = \Omega \sqrt{1 - D^2}$$


Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

42

NÁSTROJE PRO MODELOVÁNÍ - PŘÍKLADY

HMOTA NA PRUŽINĚ S TLUMIČEM - MATLAB SCRIPT



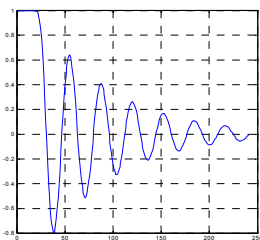
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k/m & -b/m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

t0=0; tfinal=30; y0=[1; 0]
global b; global k; global m;

m=input('Input m = ');
k=input('Input k = ');
b=input('Input b = ');

[T,Y]=ode45('mbk_sys',t0,tfinal,y0);

plot(T,Y(:,1));
grid on;

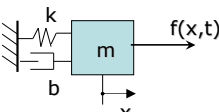


Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

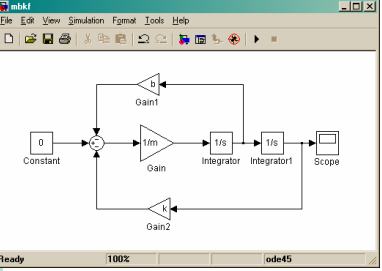
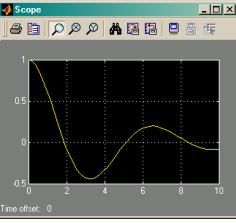
43

NÁSTROJE PRO MODELOVÁNÍ - PŘÍKLADY

HMOTA NA PRUŽINĚ S TLUMIČEM - SIMULINK



$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = f(t)$$

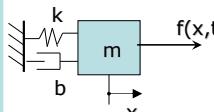
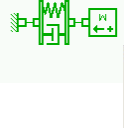
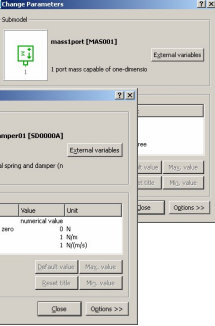
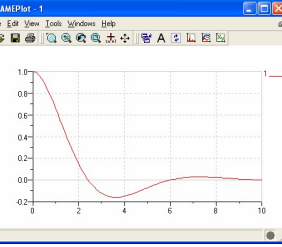
$$\Rightarrow \ddot{x} = \frac{1}{m}(f(t) - b\dot{x} - kx)$$



Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

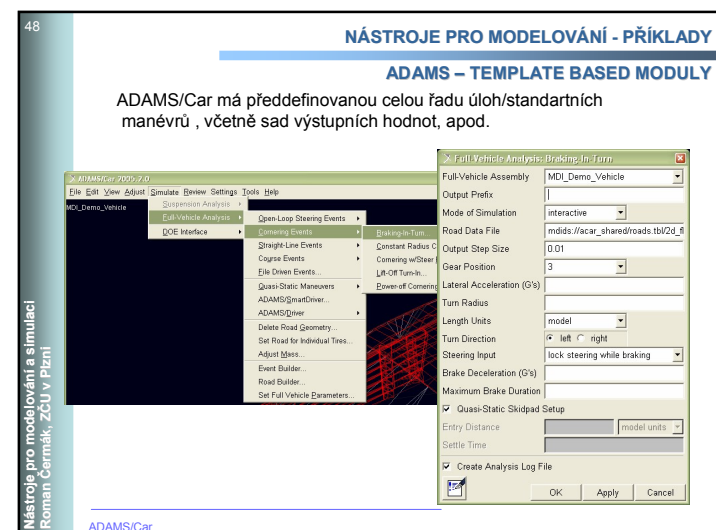
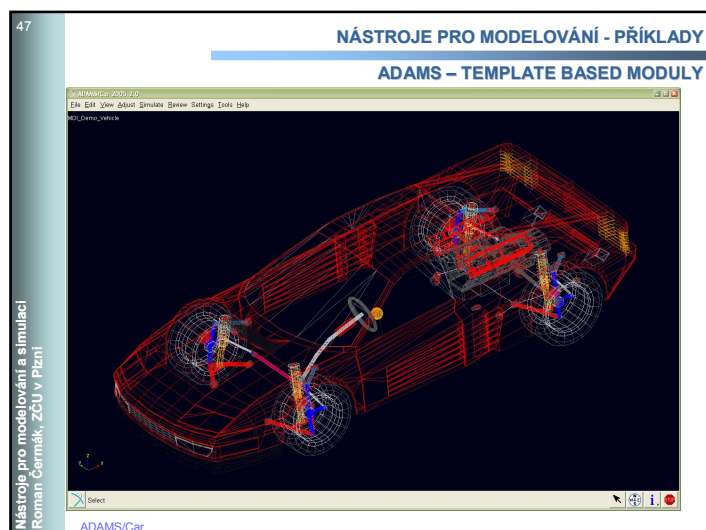
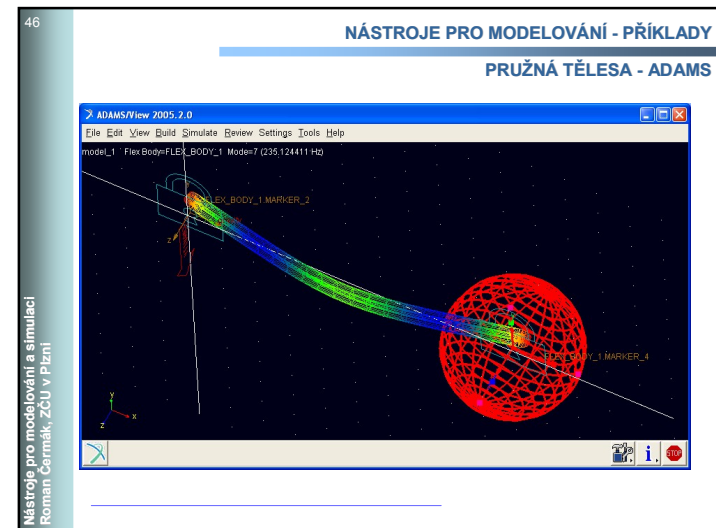
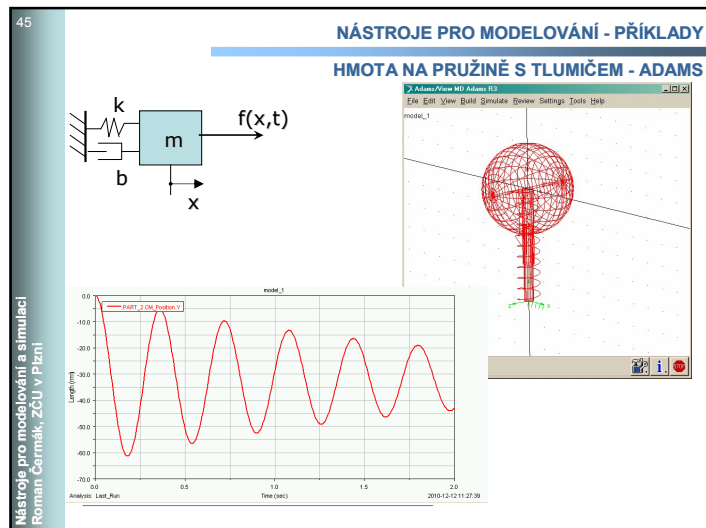
44

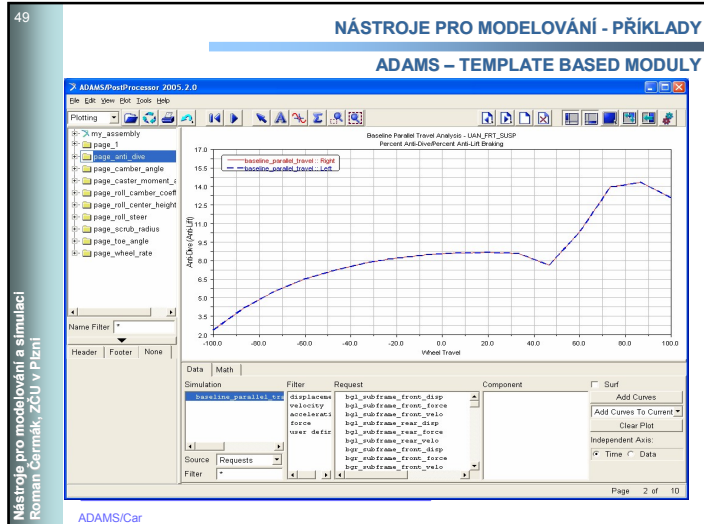
NÁSTROJE PRO MODELOVÁNÍ - PŘÍKLADY

HMOTA NA PRUŽINĚ S TLUMIČEM - AMESIM

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni





50

SHRNUTÍ

Počítačové modelování a simulace (Virtual Prototyping) je důležitý obor, umožňující snížení nákladů na vývoj, zkrácení vývojové fáze životního cyklu a zvýšení spolehlivosti výrobku.

Existuje nepřehledné množství vědních disciplín, kde se dá využít. S každým oborem jsou spojeny jisté specifické vlastnosti modelů.

Existují různé přístupy k výstavbě modelu. S rostoucí složitostí modelů se klade důraz na zjednodušení jeho výstavby. ... což pak klade menší nároky na uživatele, zrychlí tvorbu, opravy, apod. **Vždy je však třeba chápat podstatu věci a ne jenom „malovat obrázky“ !!!**

Existuje nepřehledné množství SW nástrojů pro tvorbu modelů a jejich řešení, které se velmi rychle vyvíjí. Celá řada z nich je volně šiřitelná (open-source), další nabízí volné použití pro nekomerční účely. Komerční řešení pak obvykle nabízejí větší komfort, technickou podporu a určitou „jistotu“ rozvoje.

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

51

POZVÁNKA NA SEMINÁŘ NA ZČU

Nástroje pro modelování a simulaci
Roman Čermák, ZČU v Plzni

Seminář č.1 2 x cca.2-3 vyučovací hodiny

19.1.2011 - středa 16:00 – 18:15
20.1.2011 - čtvrtek 16:00 – 18:15

Seminář č.2 1x cca.5 vyučovacích hodin

22.1.2011 - sobota 8:00 – 12:30

Místo: Budova ZČU na Borských polích
Univerzitní 22
laboratoř UL105

Přihlášky:
Emailem na adresu rcermak@kks.zcu.cz
Termín: **16.1.2011**

Pozvánka bude zaslána na školu kontaktní osobě.

52

Logo ESF (Evropský sociální fond v ČR), Evropská unie, Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Děkuji za pozornost

Poděkování

Tento projekt je spolufinancován
Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky
v rámci projektu č. CZ.1.07/2.3.00/09.0086

Podpora VaV a vzdělávání pro VaV
v oblasti mechatroniky silničních vozidel