

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

KATEDRA FYZIKY



Diplomová práce

Autor: Bc. Jaroslav Harvalík

Vedoucí práce: RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

2009

Příprava materiálů
pro popularizaci počítačové
fyziky

-
oblast počítačové modelování

Prohlášení:

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě - v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Ve Křemži dne 24. 11. 2009

Jaroslav Harvalík

.....

Poděkování

Tímto děkuji RNDr. Petrovi Bartošovi, Ph.D., za vedení a podporu při tvorbě této diplomové práce. Dále pak kolektivu ZŠ Holubov a DM Český Krumlov za umožnění vedení kroužků počítačů a získání tak cenných zkušeností při práci s dětmi, které jsem mohl uplatnit. Nakonec své snoubence za psychickou podporu při tvorbě této práce.

Obsah

ÚVOD	7
1. ROZDĚLENÍ FYZIKY	9
1.1. Experimentální fyzika	9
1.2. Teoretická fyzika	9
1.3. Aplikovaná fyzika	10
1.4. Počítačová fyzika	10
2. POČÍTAČOVÁ FYZIKA	11
2.1. Počítačové modelování	11
2.1.1. Analýza (formulace problému)	12
2.1.2. Vytvoření matematického modelu	12
2.1.3. Převod matematického modelu do algoritmu	12
2.1.4. Srovnání výsledků modelování s experimentálními údaji	14
2.2. Druhy počítačového modelování	15
2.2.1. Částicové modelování (mikroskopické)	15
2.2.2. Spojité modelování (makroskopické)	15
2.2.3. Hybridní modelování	16
2.3. Modelování vs. Simulace	17
2.3.1. Modelování (Modeling)	17
2.3.2. Simulace	17
2.4. Metoda Monte Carlo	18
2.5. Buffonova jehla	22
3. PROGRAMY VYUŽÍVANÉ K MODELOVÁNÍ A K SIMULACÍM	24
3.1. Programová vybavení, platformy	24
3.2. MATLAB - Simulink	27
3.3. Octave	31
3.4. Scilab -Scicos	33
3.5. ANSYS Fluent	36

3.6 COMSOL Multiphysics	40
3.7. Hardware pro technické výpočty	46
4. OBLASTI VYUŽITÍ POČÍTAČOVÉHO MODELOVÁNÍ	48
4.1. Automobilový průmysl	48
4.2. Elektromagnetismus	50
4.3. Biomechanika	52
4.4. Pohodlí - Komfort	53
4.5. Předpověď počasí, klimatologie	55
4.5.1. <i>ALADIN</i>	58
4.5.2. <i>MORESCS</i>	60
4.5.3. <i>AVISO</i>	61
4.5.3. <i>MIKE SHE</i>	63
4.5.3. <i>MM5</i>	64
4.6. Slévárenský průmysl	65
ZÁVĚR	66
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	67
SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY	69
ANOTACE	70

Úvod

Fyzika zkoumá nejobecnější vlastnosti hmoty a hledá zákonitosti těch přírodních dějů. Své poznatky i metody poskytuje ostatním vědám a významně tak ovlivňuje jejich vývoj. Proto má fyzika v rámci všech věd o přírodě ústřední postavení. Fyzikální objevy a metody umožnily obrovský rozvoj ve všech oblastech lidské činnosti. ¹

S počítačovými simulacemi se můžeme setkat v mnoha oblastech lidské činnosti. Mezi nejnápadnější patří akční hry, které představují virtuální prostředí založené na vizuální podobnosti s reálným světem kolem nás. Nejběžněji používané jsou počítačové aplikace jako Word či samotný systém správy souborů Windows. Word zde zastupuje reálný psací stroj a správa souborů Windows je prováděna na principu běžně užívaných kancelářských složek. Cílem počítačových simulací jsou např. ověřování různorodých teorií či možnost předpovědi určitých situací. Dále se simulace používají v oblasti testování a nezanedbatelnou část zabírá i zábavní průmysl. ²

Je možné říci, že cokoliv, co můžeme popsat, lze také simulovat pomocí počítače. Popisem rozumíme proces rozčlenění jevu na základní samostatné prvky, kterým lze přiřadit určité hodnoty a určitý počet pravidel, podle kterých se tyto prvky mezi sebou chovají.

Musíme však počítat s tím, že svět matematiky je světem ideálním, který ve skutečnosti nemůže najít zcela důsledného naplnění. Vezměme si jednoduchý příklad: Hrany stolu vypadají pravoúhle. Vezmeme-li do ruky lupu, můžeme o tom začít pochybovat. A když použijeme mikroskop, zjistíme, že jsou skutečně nerovné. Počítačově simulovaná realita je založena na popisu skutečného světa, ale sama o sobě vytváří jednodušší a ve své jednoduchosti také dokonalejší svět. ³

Do technologie výuky fyziky patří nedílně také modelování. Lze využít různých druhů modelů, např. materiální, ideální (abstraktní), smíšené, simulační, aj. Slouží především jako demonstrační učební pomůcky. Důvodem je základní vlastnost modelu, kterou je zjednodušení pozorovaného objektu či jevu při současném zdůraznění jeho systémových prvků a vazeb. ⁴

Na základě zkoumání vlastností modelů dochází fyzika k různým zákonům a teoriím. Modelování je naprosto přirozenou metodou práce ve fyzice, aniž by se o ní přímo mluvilo.

Přitom je však třeba mít na zřeteli, že model ve vědeckém zkoumání není výchozím bodem ani cílem, ale jen prostředkem k dosažení určitého poznání. Zároveň však není jediným prostředkem, ale zpravidla doplňuje další formy poznání - experiment a teorii.⁵

Cílem této práce je přiblížit počítačové modelování žákům základních, středních škol a vzbudit zájem budoucích studentů vysokých škol o počítačovou fyziku. Zároveň práce slouží jako část doprovodného textu k prezentaci vytvořené za stejným účelem. Ta je umístěná na přiloženém datovém médiu.

Práce obsahuje vysvětlení základních pojmů spojených s počítačovou fyzikou a její oblastí modelování. Dále pak přehled často používaných programů s uvedenými příklady výstupů. Nakonec jsou uvedeny oblasti použití počítačového modelování s názornými příklady.

1. Rozdělení fyziky

Podle metody a stylu práce při zkoumání přírodních zákonitostí můžeme fyziku rozdělit do čtyř oblastí, těmi jsou:

1. Experimentální,
2. Teoretická,
3. Aplikovaná,
4. Počítačová.

1.1. Experimentální fyzika

Ta se zabývá zkoumáním přírodních zákonitostí pomocí pozorování a měření průběhu zkoumaného jevu za přesně definovaných podmínek. Při těchto experimentech je třeba se soustředit na podstatu konkrétního děje a odstranit nebo alespoň eliminovat všechny rušivé vlivy, které by mohly zkreslit výsledky našich pozorování.

Doba jednoduchých mechanických experimentů patří převážně minulosti, současná experimentální fyzika pracuje s velmi složitými aparaturami, které se pak neobejdou bez vyhodnocení za pomoci výpočetní techniky. Obří urychlovače elementárních částic, vybavené precizní detekční elektronikou, jsou nejsložitějšími zařízeními, jaké kdy lidé dosud sestrojili.

1.2. Teoretická fyzika

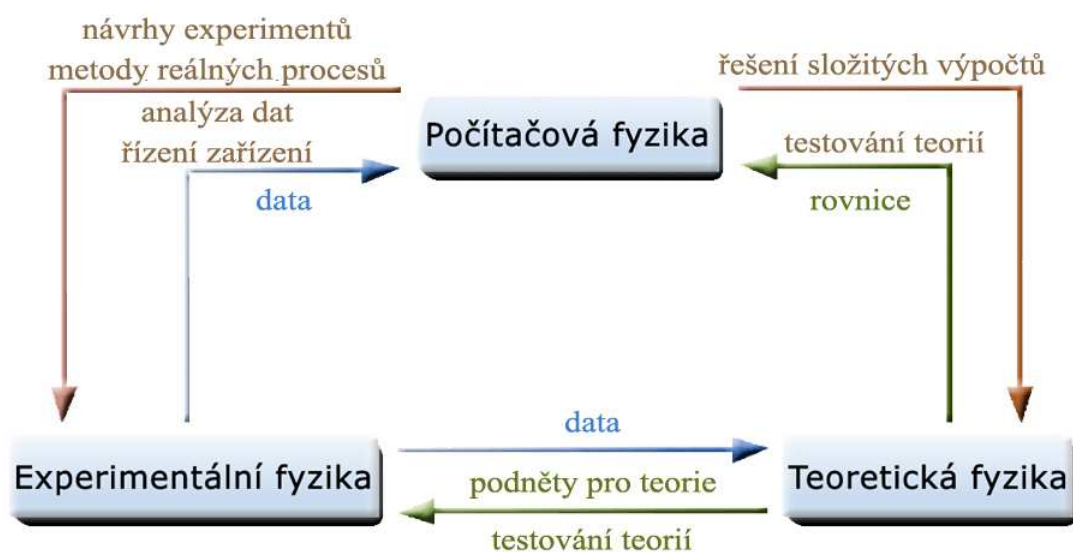
Zvaná též matematická fyzika analyzuje výsledky experimentů, zobecňuje je a také porovnává. Pomocí různých matematických metod a modelů formuluje fyzikální zákony většinou ve formě matematických vzorců a rovnic. Snaží se vytvářet fyzikální teorie, které by zahrnovaly co nejširší skupinu pozorovaných jevů, popř. předpovídaly i jevy nové. Sem se také často řadí i počítačová fyzika. ⁶

1.3. Aplikovaná fyzika

Zvaná též technická fyzika se zabývá tvůrčím uplatněním fyzikálních poznatků z experimentů a teorií v různých oblastech vědy a techniky, průmyslu, medicíny. Veškeré vymoženosti moderní techniky (zvláště pak elektroniky) jsou založeny na aplikaci fyzikálních poznatků.⁶

1.4. Počítačová fyzika

Počítačová fyzika je část fyziky, která se zabývá vytvářením počítačových algoritmů a numerických metod pro řešení fyzikálních problémů. Často je považována za součást teoretické fyziky, jak již bylo zmíněno výše.



Obr. 1.1: Schéma zařazení počítačové fyziky.

Někdy se charakterizuje jako přemostění mezi fyzikou teoretickou a experimentální. Také by se dala považovat za zvláštní část fyziky. Více v následující kapitole.

2. Počítačová fyzika

Počítačová fyzika patří mezi nové a prudce se rozvíjející směry vědeckého bádání. Na rozdíl od jiných směrů vědecké práce, které studují konkrétní objekt (např. fyzika pevných látek), se zaměřuje především na způsob řešení fyzikálního problému.

Po mnoho staletí, či spíše tisíciletí, probíhala harmonická spolupráce experimentální a teoretické fyziky. Avšak v posledních několika desetiletích začala být tato symbióza doplňována počítačovou fyzikou. Ta významně změnila popsanou spolupráci experimentální a teoretické fyziky na rovnocennou spolupráci tří partnerů: experimentální, teoretické a počítačové fyziky.

Počítačová fyzika zahrnuje takové postupy při řešení fyzikálních problémů, při kterých počítač hraje podstatnou roli. V současné době najdeme počítač v každé laboratoři, kde se užívá při výpočtech, psaní textů, sběru dat, atd. Patří sem také počítačové simulace, automatizace experimentu, apod. S rozvojem hardware se vytvářejí i nové oblasti počítačové fyziky, jako např. práce v počítačových sítích.

Počítačová fyzika jednak poskytuje výstup výsledků do jednotlivých fyzikálních odvětví, jednak vytváří nové metody práce. Hranice oboru jsou mlhavé a neustále se mění.⁷

2.1. Počítačové modelování

Výsadní postavení v počítačové fyzice má počítačové modelování. Bez ohledu na specializaci, jde o nejčastější techniku používanou fyziky, neboť jim poskytuje často neocenitelnou pomoc při experimentálním i teoretickém studiu nejrůznějších fyzikálních jevů a procesů. Je také nejvíce rozpracována a dělí se na řadu dílčích metodik, které jsou často známé i mimo rámec počítačové fyziky např. metoda Monte Carlo.

Výhodou počítačových metod je to, že rychlost aritmetických výpočtů je obrovská a proto lze provést často veliké množství simulací daného problému, např. s různými hodnotami vstupních parametrů. Stejně tak lze v krátké době zpracovávat velké objemy dat.⁷

Proces při počítačovém modelování určitého problému je možné rozčlenit do několika částí:

1. Analýza (formulace problému),
2. Vytvoření (rozbor) matematického modelu,
3. Řešení modelu,
4. Srovnání výsledků modelování s experimentálními údaji.

2.1.1. Analýza (formulace problému)

Samotný problém bývá většinou popsán pouze slovně. Abychom s ním mohli dále pracovat, je nutné jej vhodným způsobem popsat pomocí odpovídajících vztahů. Při formulaci těchto vztahů vycházíme z fyzikálního jevu, který chceme studovat. Popisujeme jej pomocí pojmů, které budou odpovídat zvolené technice modelování.

2.1.2. Vytvoření matematického modelu

Některé parametry a vlivy, které se v realitě vyskytují, jsou zanedbatelné. Matematický model je tedy nebere v potaz. V praxi je tedy vždy důležité se rozhodnout, zda model, který jsme vytvořili nebo použili, odpovídá skutečnosti (resp. zda stačí pro získání výsledku, který potřebujeme).

2.1.3. Převod matematického modelu do algoritmu

Dalším krokem je převedení postupu řešení zvoleného matematického modelu do algoritmu, který umožňuje provádět počítačovou simulaci. Je nutno si uvědomit, že výsledky získané pomocí počítače jsou do značné míry závislé na použité numerické metodě a postupu výpočtu.⁷

Pro převod se využívá programovacího jazyka. Ten je prostředkem pro zápis algoritmů, které mohou být provedeny na počítači. Zápis algoritmu ve zvoleném programovacím jazyce se nazývá program.

Programovací jazyk je vlastně soubor pravidel pro zápis algoritmu, odborně řečeno se jedná o formální jazyk, tato pravidla se u jednotlivých jazyků odlišují.

Programovací jazyky můžeme dělit podle složitosti kódu na:

1. Vyšší programovací jazyky (přehlednější), např. Pascal, C #,
2. Nižší programovací jazyky (primitivní), např. Assembler.

Dalším dělením je podle překladu a spouštění:

1. Kompilované programovací jazyky (např. Pascal, C) - překládají algoritmy ve vyšším programovacím jazyce do strojového kódu (kód na základní úrovni – komunikuje přímo s hardware), v zásadě jsou rychlejší,
2. Interpretované programovací jazyky (např. BASIC, Perl, Python, shell) – provádí zápis jiného programu v jeho zdrojovém kódu, snadno přenositelné, pomalejší.

Vyšší programovací jazyky se pak dále dělí na:

1. Procedurální (imperativní) – jsou závislé na přesné posloupnosti příkazů, (např. C, Java),
2. Neprocedurální (deklarativní) – jsou založeny na myšlence programování „co se má udělat a ne jak se to má udělat“, (např. prolog, SQL).

Tvorba algoritmů a programů se nazývá programováním. Lze jej rozdělit do dvou skupin:

- a. Kaskádové,
- b. Iterační.

Kaskádový způsob je jeden z prvních způsobů vývoje softwaru. Jednotlivé části se neprolínají a jedna navazuje na druhou. Probíhá v následujícím postupu:

Návrh (analýza) → programování → nasazení u zákazníka (údržba)

Iterační počítají s tím, že při psaní mohou vzniknout chyby, proto se využívá postup:

*Návrh (analýza) → programování → testování.*⁹

2.1.4. Srovnání výsledků modelování s experimentálními údaji

Výsledky modelování se často liší od reality, proto je třeba zavést tzv. zpětnou vazbu, kterou zajistíme při srovnání výsledků modelování s výsledky experimentálními.

Nejdůležitější částí v počítačovém modelování je přechod mezi analýzou problému a v naformulování správného modelu, který bude optimálně řešit náš fyzikální problém.

2.2. Druhy počítačového modelování

2.2.1 Částicové modelování (mikroskopické)

U této metody je nutné detailně popsat studovaný jev na mikroskopické úrovni. Slovo „mikroskopický“ se musí brát relativně – pevnou látku budeme popisovat pomocí chování jednotlivých atomů, iontů či elektronů, zatímco pro popis galaxie budeme pracovat s hvězdami.

Podle toho, jak chování částí studovaného celku popisujeme, rozeznáváme několik metod z nich nejznámější jsou:

Metoda Monte Carlo

Jedná se o numerickou výpočetní metodu, která je založena na využití náhodných veličin a teorie pravděpodobnosti.¹⁰

Metoda molekulární dynamiky

Jedná se o metodu, kde numericky řešíme pohybové rovnice popisující studovaný soubor částic. Z výpočetního hlediska se tedy jedná o řešení souboru obyčejných diferenciálních rovnic.

Hybridní metody

Při těchto postupech kombinujeme na částicové úrovni obě předchozí metody tak, aby byl výpočet co nejefektivnější.

2.2.2. Spojité modelování (makroskopické)

Zahrnuje popis studovaného jevu na makroskopické úrovni. Mezi makroskopickými veličinami (jako je např. teplota, tlak, složení, rychlost, ...) platí zákony zachování (energie, hybnosti, náboje, ...). Matematicky jsou tyto zákony zachování popsány parciálními diferenciálními rovnicemi. Pouze při použití určitých aproximací můžeme někdy přejít na obyčejné diferenciální rovnice.

2.2.3 Hybridní modelování

Jedná se o kombinaci přístupu částicového a spojitého, s cílem získat výsledek co nejrychleji a s co největší přesností.

Částicové metody přinášejí výsledky podstatně přesnější, ale s výrazně větší spotřebou výpočetního času. Aby bylo možné studovaný jev co nejpřesněji popsat, je nutné pracovat současně s velkým počtem částic. Tomu odpovídá i velký počet rovnic. Naproti tomu při spojitém přístupu zformulujeme zpravidla několik rovnic, které jsou složitější, ale přesto bývá výpočet mnohem rychlejší. Nevýhodou spojitého přístupu však je, že přináší obvykle pouze hrubé kvalitativní výsledky. Hybridní přístupy zachovávají rychlost výpočtu spojitého přístupu a přesnost zvyšují částicovou metodou.⁷

Modelování vs. Simulace

2.3.1. Modelování (*Modeling*)

Nejprve je třeba si určit pojem model, ten je reprezentací určitého objektu nebo systému braného z určitého úhlu pohledu.

System je soustava prvků uspořádaných do nějakého smysluplného celku.

Model je vždy zjednodušením reality a téměř vždy se od ní něčím odlišuje.

Model je zpravidla sestaven na základě nashromážděných doposud známých informací a měl by ověřit správnost známých faktů, provádět předpovědi, umožnit verifikaci (ověření pravosti) předpovědí.⁹

V praxi se také zřídka používají modely, které se získávají pouze na základě logických úvah a s realitou nemají příliš mnoho společného.

Modelem je například mapa, která je modelem prostoru.

Modelování má mnoho významů, podle oblastí použití. Jeden z nich je dávat věci nový prostorový tvar. Např. v geografii řeka svou erosivní činností modeluje krajinu. V umění může být použito výrazu „malování doplněno modelováním“, kdy je určitá část obrazu vytvořena plasticky.

Pokud použijeme slovo modelování ve smyslu výzkumné činnosti, můžeme jej definovat jako náhradu zkoumaného systému jeho vlastním modelem (přesněji: systémem, který jej modeluje), jejímž cílem je získat pomocí pokusu s modelem informaci o původním zkoumaném systému.⁹

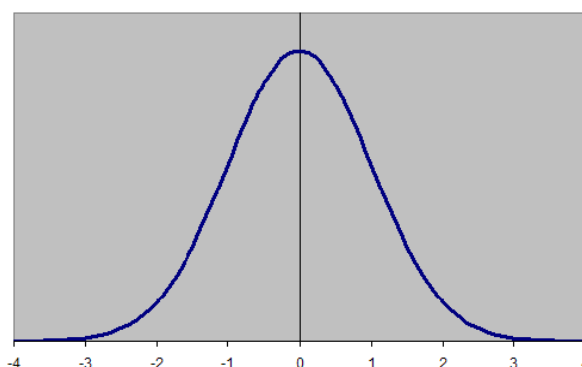
2.3.2. Simulace

Simulace (z latinského simulō, napodobit) v češtině může znamenat předstírání (zejména nemoci či zranění), právní termín znamenající předstírání právních úkonů - simulace (právo) a nakonec vědecké či inženýrské modelování nějakého procesu či objektu – simulace (modelování) - např. počítačová simulace.⁹

Simulace je výzkumná technika, jejíž podstatou je náhrada zkoumaného proměnlivého systému jeho simulátorem s tím, že se simulátorem se provádí pokusy s cílem získat informace o původním zkoumaném proměnlivém (dynamickém) systému.¹¹

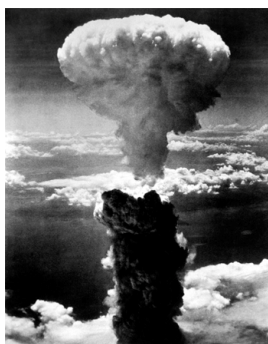
2.4. Metoda Monte Carlo

Jedná se o numerickou výpočetní metodu, založenou na stochastickém (náhodném) přístupu využívajícím náhodných veličin a teorie pravděpodobnosti. Tato metoda vyžaduje kvalitní generátor náhodných čísel (dále jen NČ). Je nejvýhodnější jí používat při výpočtů pomocí počítače. Používá se v případech, kdy nelze spočítat přesný výsledek deterministickými algoritmy (navazující na předchozí stav), například z důvodů časové náročnosti. Příklad NČ si můžeme prohlédnout na obr. č. 2.1.



Obr. 2.1: Generování náhodného čísla pro metodu MC. ⁹

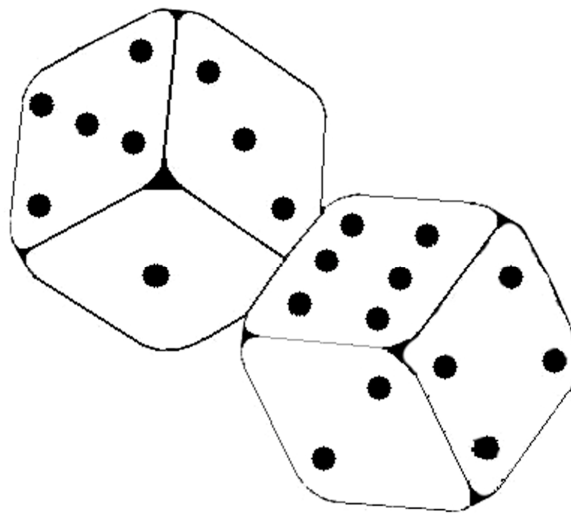
Pravděpodobně první systematické využití metody Monte Carlo s reálnými výsledky je však datováno až k roku 1930, kdy Nobelovou cenou oceněný italský fyzik Enrico Fermi tento přístup využíval ke generování NČ k výpočtu vlastností v té době nově objevené částice – neutronu. K jejímu rozvoji došlo na konci 2. světové války s příchodem počítačů, které urychlily vytváření, generování NČ.



Obr. 2.2: Výbuch atomové bomby vytvořené v rámci projektu Manhattan. ⁹

Metoda Monte Carlo hrála klíčovou roli při simulacích, kterými se odhadovala štěpná reakce při vývoji atomové bomby v rámci projektu Manhattan. Dodnes jsou tak počátky rozvoje metody Monte Carlo spojovány se jmény Stanislaw Marcin Ulam, John von Neumann, Nicholas Metropolis nebo již zmíněný Enrico Fermi.

V dalších letech se metoda Monte Carlo nejdříve využívala v Los Alamos při dalším vývoji vodíkové pumy. Postupně se však začala uplatňovat i v dalších oblastech fyziky a operačního výzkumu. V dnešní době nachází široká uplatnění v různých oborech včetně inženýrství, fyziky, výzkumu a vývoje, obchodu a finančnictví.⁹



Obr. 2.3: Hrací kostky - generátor náhodných čísel
jeden z nejstarších nástrojů hazardu.

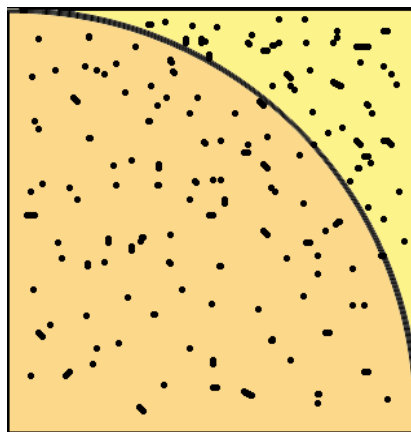
Metoda je pojmenována dle části Monackého knížectví (sousedící s Francií) - Monte Carla, které je známé pro svá kasina, kde často sázel Ulamův strýc. Metodou MC můžeme určit např. π , jednorozměrný určitý integrál.

Pro pochopení si uvedeme příklad výpočtu Ludolfova čísla π :

Máme čtverec viz obr. 2.4. Vepíšeme-li v něm čtvrtkružnici, pak platí pro plochu čtverce a čtvrtkružnice vzorce č. 1 a č. 2.

$$S_{(\text{čtverce})} = r^2 \quad (1)$$

$$S_{(\text{kruhu})} = \pi \frac{r^2}{4} \quad (2)$$



Obr. 2.4: Čtverec s čtvrtkružnicí vepsanou, s náhodně rozloženými pokusy sloužící k výpočtu π .

Pokud budeme znát obsah obou ploch, můžeme číslo π vyjádřit podle vzorce č. 3.

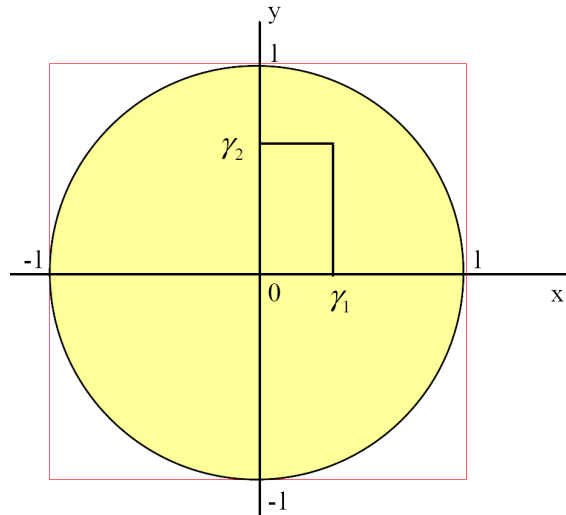
$$\pi = 4 \frac{S_{(\text{kruhu})}}{S_{(\text{čtverce})}} \quad (3)$$

Dále, budeme předpokládat, že na čtverec házíme šípky, které budou dopadat náhodně a rovnoměrně po jeho celém povrch. Pak můžeme říci, že počet „zásahů“ je přímo úměrný ploše. Díky tomu dostaneme vzorec č. 4.

$$\pi = 4 \frac{n_{(\text{kruhu})}}{n_{(\text{čtverce})}}, \quad (4)$$

kde n_{kruhu} je počet zásahů do čtvrtkružnice a $n_{\text{čtverce}}$ je počet všech zásahů do čtverce a zároveň i do čtvrtkružnice. Výsledek bude tím přesnější, čím více provedeme „hodů“. ¹²

Na podobném principu je postaven výpočet čísla π pomocí programu MATLAB, ve kterém je místo čtverce a čtvrtkružnice využita celá kružnice a čtverec (viz obr. č. 2.5). S nárůstem počtu náhodných veličin n , vzrůstá i čas výpočtu.



Obr. 2.5: Výpočet čísla π v programu, MATLAB, kde je místo čtvrt čtverce použit celý kruh.¹³

```
>> polomer=1;
>> N_celkem=1000000;
>>
>> gamma1=2*rand(N_celkem, 1)-1;
>> gamma2=2*rand(N_celkem, 1)-1;
>>
>> v_kruhu=find((gamma1.^2+gamma2.^2)<polomer.^2);
>> N_kruh=size(v_kruhu, 1);
>>
>> pi=4*N_kruh/(N_celkem*polomer.^2)

pi =

    3.1412
```

Obr. 2.6: Zdrojový kód výpočtu π v programu MATLAB při $n=10^6$.¹³

Počet n pokusů	Vypočítaná hodnota π
10^1	3,6000
10^3	3,1160
10^6	3,1412
Přesná hodnota $\pi = 3,1415$	

Tab. 2.1: Výsledné hodnoty π při různých n vypočítaných dle obr. č. 2.6.

2.5. Buffonova jehla

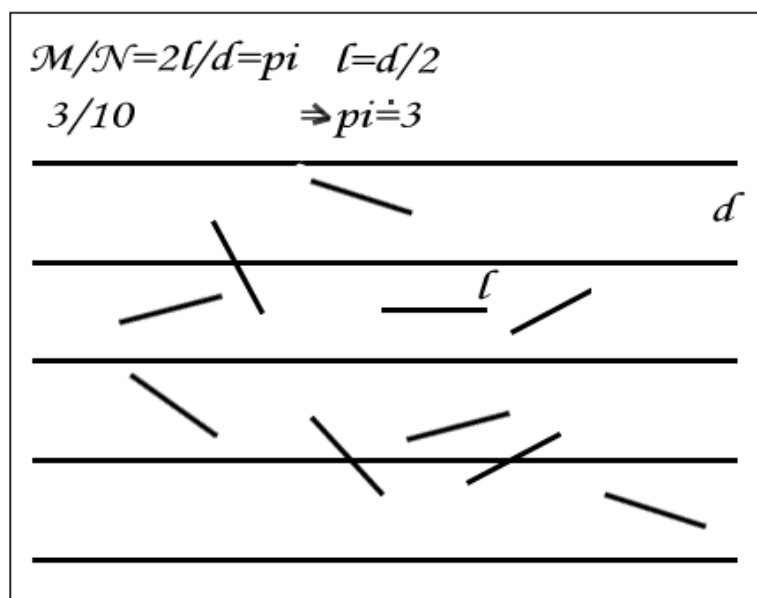
Předchůdcem metody Monte Carlo by se dala nazvat slavná matematická úloha “Buffonova jehla”, kterou v roce 1777 vymyslel francouzský přírodovědec, matematik, kosmolog Georges Louis Leclerc de Buffon.



Obr. 2.7: Francouzský matematik Louis Leclerc de Buffon. ⁹

Úloha zní takto:

Na podlaze je velký list papíru, který je rozdělený rovnoběžnými linkami. Vzdálenost d mezi všemi linkami je stejná. Na tento papír se libovolným způsobem hází jehla, jejíž délka l je rovna vzdálenosti mezi linkami. Jaká je pravděpodobnost, že jehla po dopadu bude ležet tak, že protne některou z linek (viz obr. č. 2.8)?



Obr. 2.8: Deset pokusů hodů jednou jehlou, M – kolikrát jehla protne čáru, N – počet pokusů, l – délka jehly, d – vzdálenost mezi čárami.

Hodnota této pravděpodobnosti je viz vztah č. 5. Pomocí takového experimentu je tedy možné zjistit přibližnou hodnotu π . Hod jehlou se bude N -krát opakovat a bude se určovat, v jakém poměru z celkového počtu hodů jehla protne linku. M je počet protnutí čáry jehlou.⁹

$$\frac{2}{\pi} \tag{5}$$

Na množství pokusů, hodů jehlou, je závislá přesnost hodnoty π . Při 10 hodech $\pi = 3$, při 1000 hodech $\pi = 3,1$ a při 100000 hodech teprve $\pi = 3,14$. Z toho je vidět, že je metoda zatížená velkou chybou.

Touto metodou je možno určit libovolnou konstantu, a to teoreticky s libovolnou přesností.

3. Programy využívané k modelování a simulacím

3.1. Programové vybavení, platformy

Předtím, než budeme chtít použít program určený k modelování či simulaci, je třeba si správně zvolit operační systém-platformu, na které jej budeme provozovat.

Nejprve je třeba si říci, co to vlastně je. Operační systém, dále jen OSY, je základní programové vybavení počítače, které je zavedeno při startu do jeho operační paměti a zůstává zde do jeho vypnutí. Je to rozhraní, jehož prostřednictvím uživatel a ostatní programy komunikují s hardwarem.

Skládá se z jádra (kernel) a z pomocných systémových nástrojů.

Dnes můžeme OSY rozdělit především do dvou hlavních skupin:

1. Windows – původně určené pouze pro osobní počítače PC (*Personal Computer*),
2. Systémy vycházející z UNIX [ju:ni ks], nebo jím inspirované.

Microsoft Windows je jedním z prvních OSY s graficky přijatelným rozhraním pro uživatele. Jeho první verze Windows 1.0 byla na trh uvedena v listopadu roku 1985. V současné době zabírá a světovém trhu 93,71% k únoru 2009. Nejpoužívanější verze jsou nyní Windows XP, Windows 2000, Windows Vista, Windows 7.



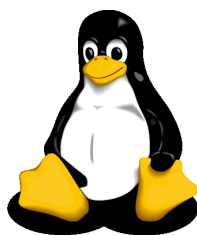
Obr. 3.1: Logo Microsoft Windows.⁹

Jeho výhodou je uživatelsky přívětivé prostředí, velká podpora ovladačů (*drivers*) k hardwaru osobních počítačů.

Unix je počítačový operační systém vyvinutý v roce 1969 skupinou zaměstnanců AT & T v Bell Labs. Později se UNIX stalo ochranou známkou a začaly vznikat různé verze a systémy, aby se nemusely platit licenční poplatky.

Mezi Unixové systémy patří BSD, Mac OS X, Solária a především GNU/Linux.

GNU/Linux je známým příkladem svobodného softwaru, jehož zdrojový kód je volně k dispozici pro veřejnost a kdokoli jej může svobodně používat, upravovat (aktualizovat) a dále distribuovat za podmínky, že je možné dodat i zdrojové kódy. Na rozdíl od Windows a Mac OS X to neznamená, jak se někteří lidé mylně domnívají, že je tento OSY zdarma.



Obr. 3.2: Tučňák Tux, maskot Linux. ⁹

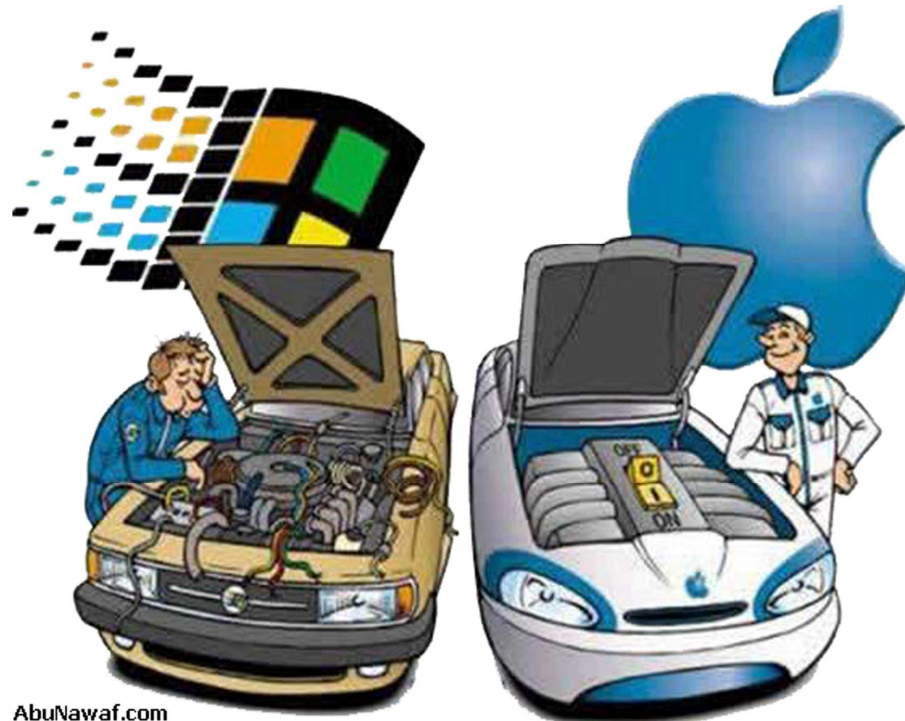
GNU/Linux se dále štěpí na různé distribuce, které se dále vyvíjejí samostatně a některé z nich jsou zdarma. Příklad: Debian, Fedora, Gentoo, Knoppix, Mandriva, Red Hat, Slackware, SUSE, Ubuntu. ⁹

Přehled hlavních výhod linuxových distribucí:

1. Jsou flexibilnější - mohou být instalovány na mnoha různých typech počítačů, od osobních, notebooků, přes mikropočítače (např. routery) až po super počítače,
2. Jsou více stabilní, a proto vyžadují méně administrativy a údržby,
3. Lepší možnost nastavení oprávnění a zabezpečení,
4. Větší výpočetní výkon než Windows,
5. Většinou jsou k dispozici zdarma nebo za menší poplatek,
6. Jsou šířeny pod open-source licencí proto mohou být volně upravovány.

Za větší zmínku stojí i Mac OS X používaný v počítačích Macintosh, vyvíjený firmou Apple. Jeho vývoj byl od začátku samostatný, později začal používat Unixové části. Výhodou je firemní filozofie firmy Apple v jeho distribuci. Tato firma vyvíjí vlastní hardware i software. Při koupi jejich počítače je většinou bohatě vybaven, jak Mac OS X, tak i programy, které již uživatel nemusí

doinstalovávat a shánět. Jako je tomu u jiných OSY. Dále Mac OS X je přímo vytvořen na míru počítačů Macintosh, což nahrává jejich spolehlivosti. Jejich dnešní používání není jen bezstarostnou, ale především prestižní záležitostí.



Obr. 3.3: Přirovnání OSY Windows k Mac. V pozadí logo Windows a logo Apple. ¹⁴

Je dobré si před výběrem OSY zjistit, zda program pro vytváření modelů podporuje Vámi vybraný OSY.

Dnes je ale podpora známých výrobců programů velká, a tak není problém opatřit si verzi, stejně jako pro rozšířené OSY Windows, i pro různé linuxové distribuce.

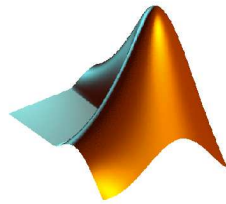
Podobně jako OSY, jsou i ostatní programy komerční a open-source. Proto se budu snažit uvést příklady obou skupin.

Používané programy se podle zpracování dat dělí na programy pro předzpracování dat tzv. Preprocessor a na ty, které výstupní data dále zpracovávají tzv. Postprocessor.

Můžeme přirovnat například práci v programu Excel. Kde vložíme data a pomocí funkcí dopočteme, připravíme (Pre-processing). Následně je pomocí Excel zobrazíme v grafech (Post-processing).

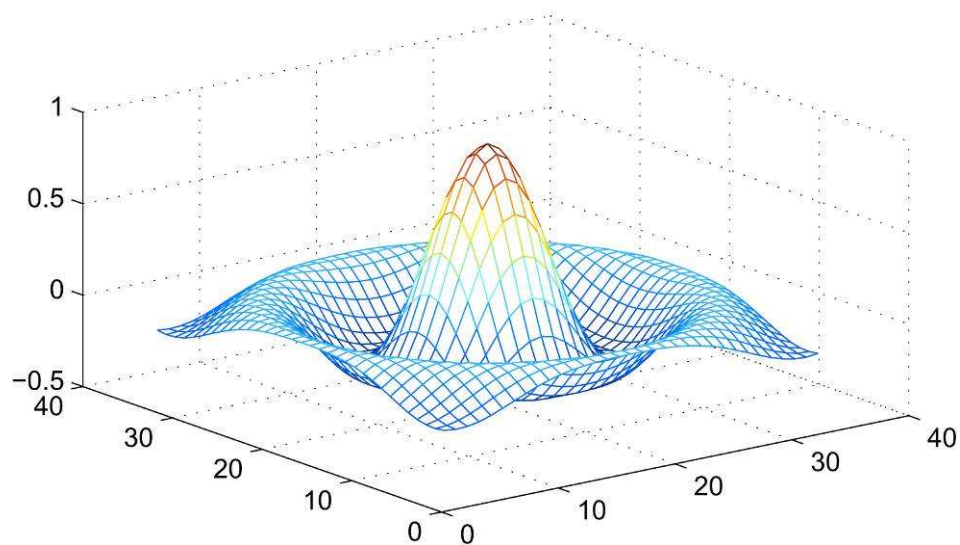
3.2. MATLAB - Simulink

MATLAB je programové prostředí a skriptovací programovací jazyk pro vědeckotechnické numerické výpočty, modelování, návrhy algoritmů, počítačové simulace, analýzu a prezentaci dat, měření a zpracování signálů, návrhy řídicích a komunikačních systémů.



Obr. 3.4: Logo MATLAB. ⁹

Umožňuje snadnou a rychlou práci s maticemi reálných nebo komplexních čísel. ⁹



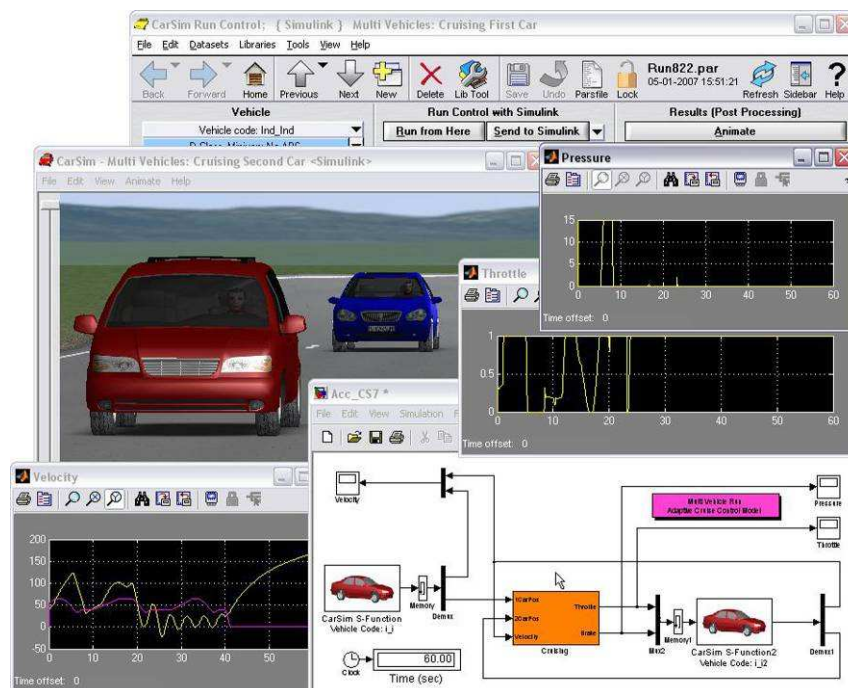
Obr. 3.5: Zobrazení funkce známé jako „Sombbrero“
V programu MATLAB. ¹⁵

Název MATLAB vznikl zkrácením slov MATrix LABoratory (volně přeloženo „laboratoř s maticemi“), což odpovídá skutečnosti, že klíčovou datovou strukturou při výpočtech v MATLABu jsou matice. Vlastní programovací jazyk vychází z jazyka Fortran. Jeho vývoj zajišťuje od roku 1970 firma The MathWorks, v České Republice zastupovanou firmou Humusoft, s.r.o..

```
x = -8:0.5:8;
y = x;
[X, Y] = meshgrid(x, y);
R = sqrt( X.^2 + Y.^2) + eps;
Z = sin(R)./R;
mesh(Z)
```

Obr. 3.6: Zdrojový kód vytvoření plochy známe jako „Sombbrero“ v programu MATLAB. ¹⁵

Jeho verze je možné provozovat na platformách Windows, Linux, Solaris, Mac.

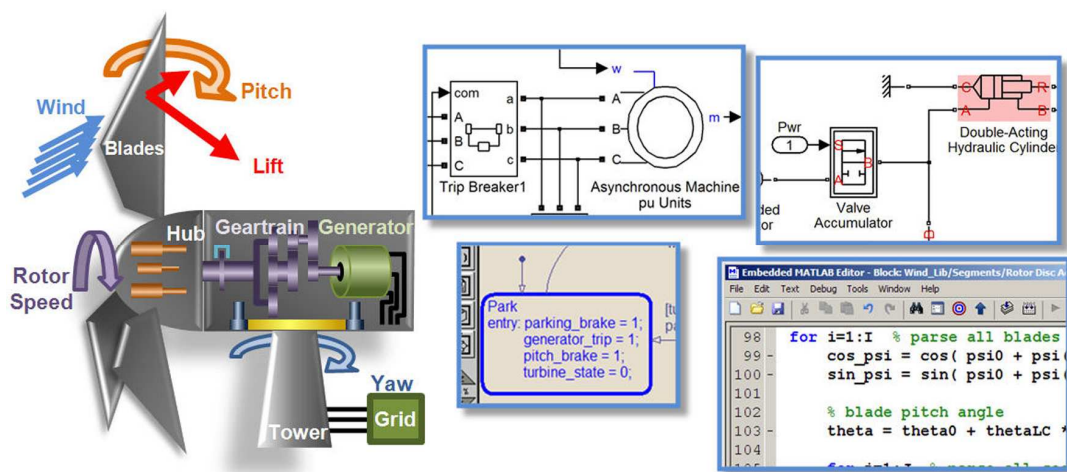


Obr. 3.7: Simulink model pro aktivní regulace rychlosti jízdy, testovaný pro případ dvou odlišných vzájemně ovlivňujících se vozidel. ¹⁶

Nástavbou MATLAB je Simulink, program pro simulaci a modelování dynamických systémů, který využívá algoritmy MATLAB pro numerické řešení především nelineárních diferenciálních rovnic. ⁹

Simulink obsahuje grafické uživatelské rozhraní pro vytváření matematických modelů jako bloková schémata. Grafické rozhraní je populární pro vývoj dynamických modelů a pro mnoho oblastí jako je elektronika, hydraulika, chemie a zejména pro řídicí systémy. Užití již vytvořených modelů zvládne i začátečník s minimálními znalostmi jak používat Simulink.

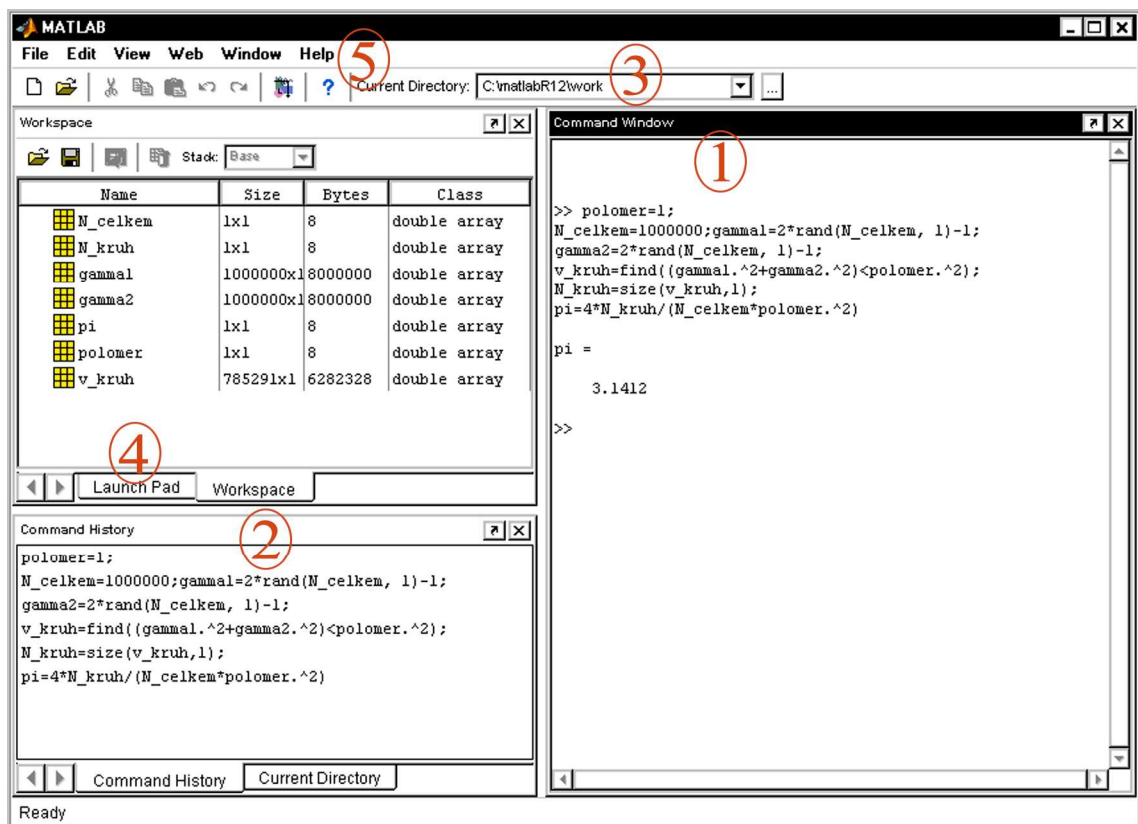
Dalším příkladem využití nástavby Simulink je např. modelování větrné elektrárny (viz obr. č. 3.8). S nárůstem větrných elektráren je třeba snižovat náklady na jejich výrobu a zvyšovat jejich účinnost. Tento model optimalizuje celkový výkon systému. Je schopný simulovat kompletní systém větrné elektrárny i její jednotlivé části: mechanické, elektrické a hydraulické. Kontroluje se jím při zátěžových testech namáhání mechanických částí, které se podle potřeby optimalizují.



Obr. 3.8: Model větrné turbíny vytvořený pomocí programu MATLAB s jeho nástavbou Simulink. ¹⁷

System umožňuje navrhnout větrnou turbínu od špičky čepele pro připojení k elektrické síti. Je schopen v různých fázích procesu izolovat pro testování různé části systému a poté je nastavovat. ¹⁷

MATLAB je velmi rozšířený na vysokých školách, proto je dobré se něco málo zmínit o jeho pracovním prostředí.



Obr. 3.9: Pracovní prostředí programu MATLAB.

Po spuštění systému se objeví okno složené z několika částí (viz obr. 3.9). Nejdůležitější z nich je okno Command Window. Uspořádání oken můžeme změnit, resp. můžeme některá okna zavřít. Popis jednotlivých oken:

1. Command Window (práce v dialogovém režimu) - zde lze MATLAB používat "jako kalkulačku", píše se zde příkazy a zobrazují výsledky
2. Workspace (práce s proměnnými) - zobrazuje všechny dostupné proměnné pracovního prostředí, dále jejich mazání a editaci,
3. Current Directory (pracovní adresář) – zobrazuje pracovní adresář a umožňuje jeho změnu,
4. Command History (přehled použitých příkazů) - obsahuje všechny použité příkazy, umožňuje jejich pozdější znovuspuštění a úpravu, opravu,

5. Menu (nabídka):

File - umožňuje např. vytvoření nebo otevření M-soubor, ukončit systém,

Edit – umožňuje kopírování textu přes schránku Windows, mazat Command Window, Command History a Workspace,

View – slouží pro nastavení vzhledu pracovního prostředí, např. zobrazení výše popsaných,

Web - umožňuje získat podrobnější informace o výrobci, technické podpoře,

Window - je aktivní při práci v grafickém režimu MATLABu,

Help - otevírá nápovědu k systému MATLAB a jeho součástem, které je velmi užitečné používat při práci s programem.⁸

Triál verzi (časově omezenou) programu MATLAB je možné si objednat na stránkách výrobce, kde pokud vyplníte své jméno, název organizace a oblast činnosti, Vám zapůjčí zkušební licenci na dobu jednoho měsíce. Poté jej musíte odinstalovat.

Ne každý je členem organizace a má možnost si vyzkoušet komerční program MATLAB a jeho toolboxy, proto se budu v dalších kapitolách zmiňovat o jeho volně šiřitelných alternativách, jako je například Octave a Scilab.

3.3. Octave

Slouží k analýze dat, matematickému modelování a numerickým výpočtům. Je GNU licenci (svobodný program, volně šiřitelný). Obsahuje nástroje pro numerické řešení problémů lineární algebry, hledání řešení nelineárních rovnic, integrování funkcí, práci s polynomy a integrování diferenciálních rovnic.

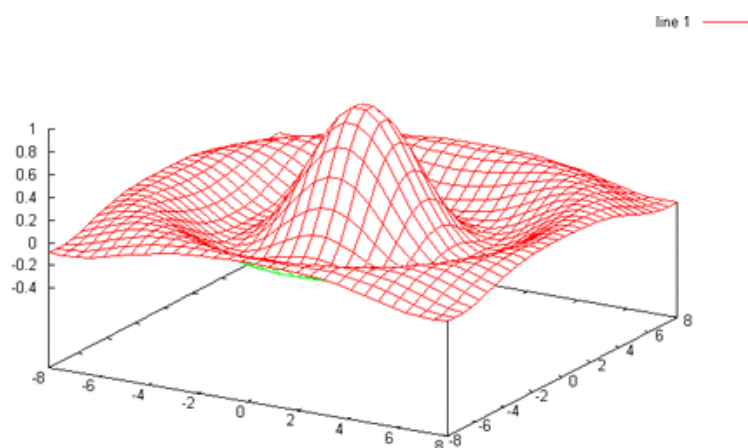
```
sombrero(32)
gset nokey
gset contour
gset grid
replot
```

Obr. 3.10: Zdrojový kód matematické funkce sombrero v Octave.⁹

Příklad zdrojového kódu funkce Sombrero (6), která se používá v matematické analýze, je vidět na obr. č. 3.10. Její grafický výstup pak na obr. 3.11.⁹

$$f(x, y) = m \frac{\cos\left(\frac{1}{4}x^2 + \frac{1}{4}y^2\right)}{3 + x^2 + y^2} \quad (6)$$

Octave je do určité míry kompatibilní s programem MATLAB. Projekt Octave vznikl v roce 1988. Název je odvozen od jména bývalého učitele autora programu.



Obr. 3.11: Zobrazení funkce sombrero programem Octave.¹⁴

Původně byl určen jako uživatelsky příjemný program pro psaní vysokoškolské učebnice týkající se návrhu chemických reaktorů. Další vývoj díky Johnu W. Eatonovi nastal 1992, kdy byla verze 1.0. Pro zobrazování výsledků používá Octave program Gnuplot. Jeho různé modifikace je možné použít na běžně rozšířených platformách Unix (Linux), Mac OS či MS Windows.¹⁸

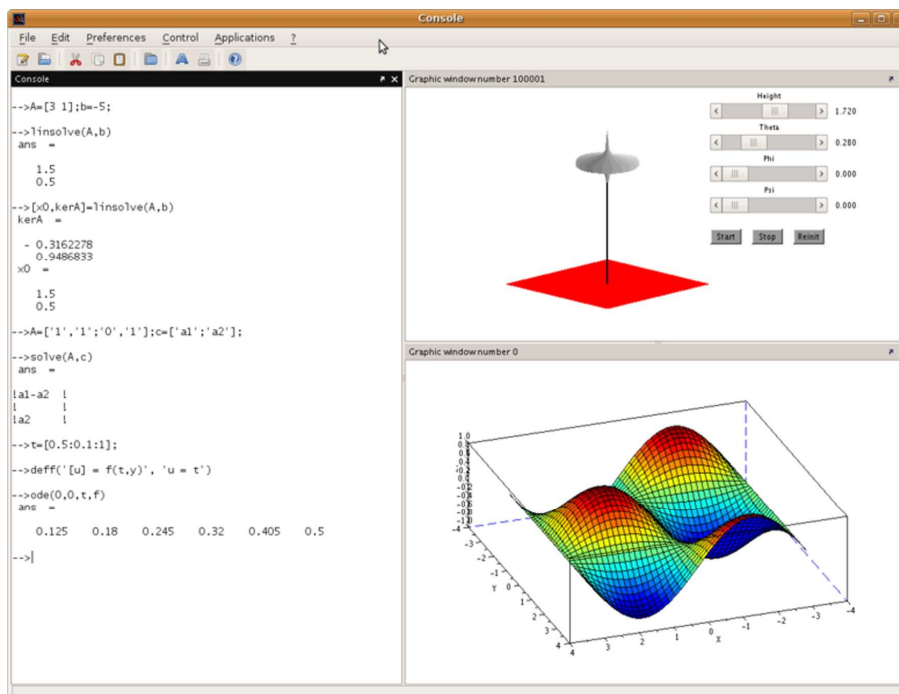
3.4. Scilab – Scicos

Scilab pochází od francouzských výzkumných institucí INRIA (The French National Institute for Research in Computer Science and Control) a ENPC (École Nationale des Ponts et Chaussées).



Obr. 3.12: Scilab logo – maskot. ¹⁹

Scilab je matematický program pro numerické výpočty, obsahuje množství toolboxů (doplňků) a umožňuje pracovat s vyššími programovacími jazyky (jazyky srozumitelnější, více propracované).



Obr. 3.13: Scilab – vývojové prostředí. ¹⁹

Velkou výhodou tohoto programu je to, že je volně šiřitelný pod licencí CeCILL (francouzská licence, svobodný program), proto jej může používat téměř každý.⁹

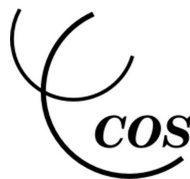
Scilab byl původně vyvíjen pro operační systém GNU/Linux, dnes je dostupný i pro další operační systémy Windows 9X//NT/2000/XP/Vista, MacOSX, Solaris, HP-UX.

```
// Funkce pro výpočet faktoriálu

function [x] = faktorial (k)
    k = int (k)
    if k < 1 then k = 1, end
    x = 1;
    for j = 1:k, x = x*j; end
endfunction
```

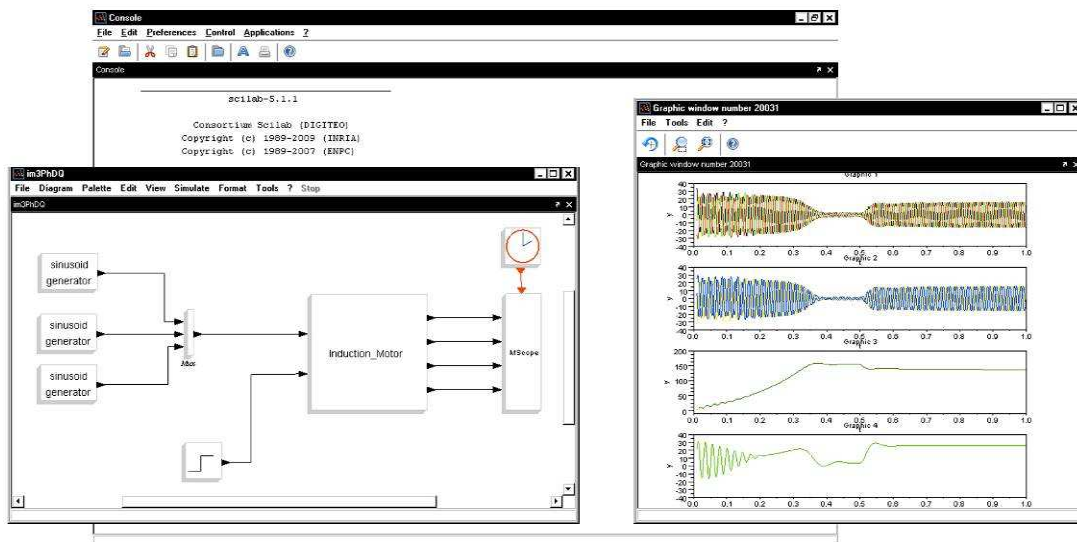
Obr. 3.14: Zdrojový kód funkce pro výpočet faktoriálu v programu Scilab.²⁰

Po spuštění programu Scilab se otevře konzole pro zápis příkazů. V menu „Applications“ nalezneme editor SciPad, Scicos a překladač „MATLAB to Scilab“ do které je možné psát příkazy. SciPad se používá pro psaní skriptů, přičemž SciPad barevně odlišuje příkazy. Můžete si zvolit barevné schéma Scilab nebo XML. Dále SciPad umožňuje použít pro spuštění napsaných příkazů v programu Scilab.



Obr. 3.15: Scicos logo.²¹

Balíček Scicos slouží pro modelování, simulaci a generování nástrojů pro hybridní dynamické systémy. Scicos je podobný programům, jako je MATLAB - Simulink, SystemBuild a Dymola. Scicos je toolbox Scilab. Návrh simulace se provádí pomocí bloků. Blok může být například zdroj signálu nebo graf. Bloky pak spolu propojujeme v jeden funkční celek, který pak můžeme simulovat.¹⁹

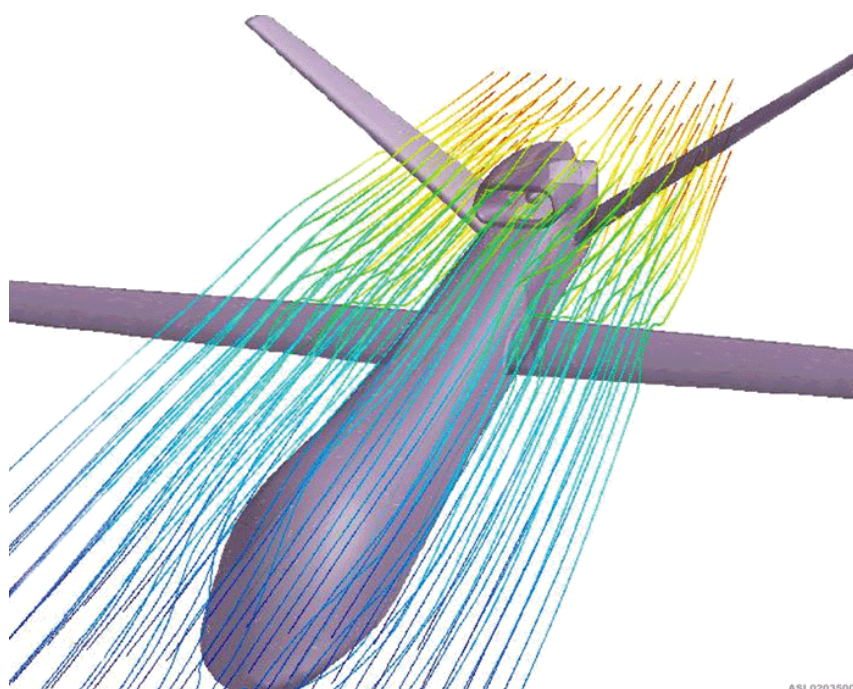


Obr. 3.16: Scicos příklad indukční motor. ²¹

Tímto způsobem se dá například simulovat hydraulický nebo elektrický obvod, ale také můžeme Scicos klidně použít k řešení rovnic a bloky tak využít k lepší vizualizaci.

3.5. ANSYS Fluent

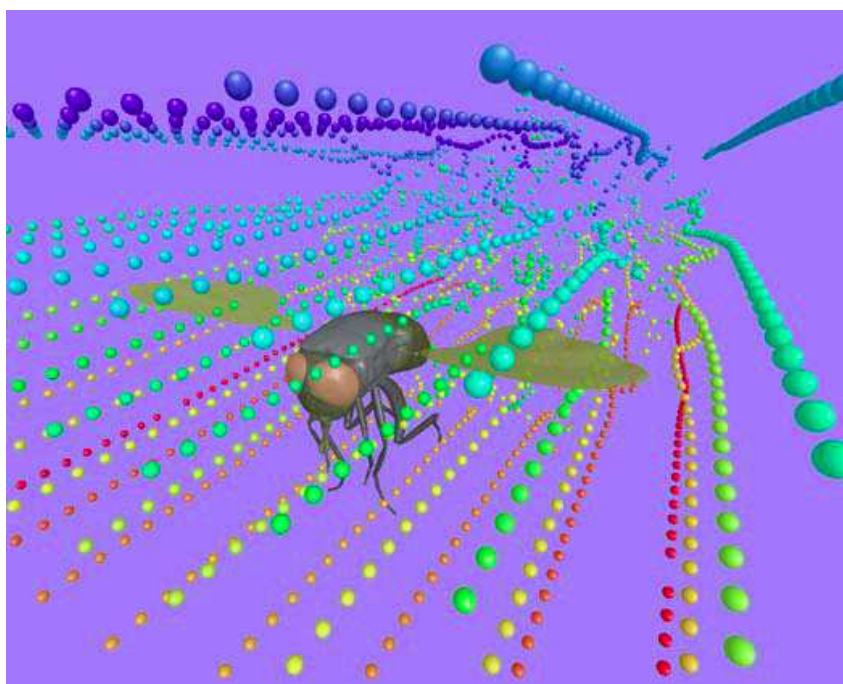
Patří mezi programy CFD (Computational Fluid Dynamics) umožňující komplexní řešení úloh z oblasti proudění (viz obr. č. 3.17) a spalování. Řešit je možno vnitřní i vnější obtékání, v laminární i turbulentní oblasti, výpočty vícefázového proudění, proudění s volnou hladinou i chemickými reakcemi (například hoření) spolu s přenosem tepla.



Obr. 3.17: Model proudění vzduchu okolo trupu bezpilotního letadla Predator B vytvořený programem Fluent pro optimalizaci jeho designu.²²

Program umožňuje jak stacionární tak i nestacionární analýzu 2D i 3D problémů a následnou kvalitní vizualizaci výsledků. Fluent lze použít pro modelování složitých procesů v energetice, chemickém inženýrství a v technice životního prostředí.

Program Fluent řeší stacionární i nestacionární Navier-Stokesovy rovnice (popisující proudění nestlačitelné Newtonovské tekutiny) metodou konečných objemů. Řešení takto získaných rovnic je prováděno přizpůsobivými víceúrovňovými iteračními (opakující se) metodami. Je možné modelovat laminární i turbulentní proudění nestlačitelných i stlačitelných tekutin se zahrnutím přenosu tepla a chemických reakcí.²⁴



Obr. 3.18: Model části letu mouchy vytvořený pro snazší pochopení pohybu křídel za účelem vytvoření mikroletadélka.²²

Fluent obsahuje již hotové diskrétní modely pro ventilátory, čerpadla, radiátory a výměníky tepla, ale umožňuje definovat i uživatelské funkce a vytvářet vlastní fyzikální modely.

Vývoj programu započal již v roce 1980 společností Create, Inc (USA). Postupně s jeho vývojem se transformovala i zakládající společnost na Ansys Inc a Fluent dosáhl mezi CFD programy téměř 50% podíl trhu.²⁴

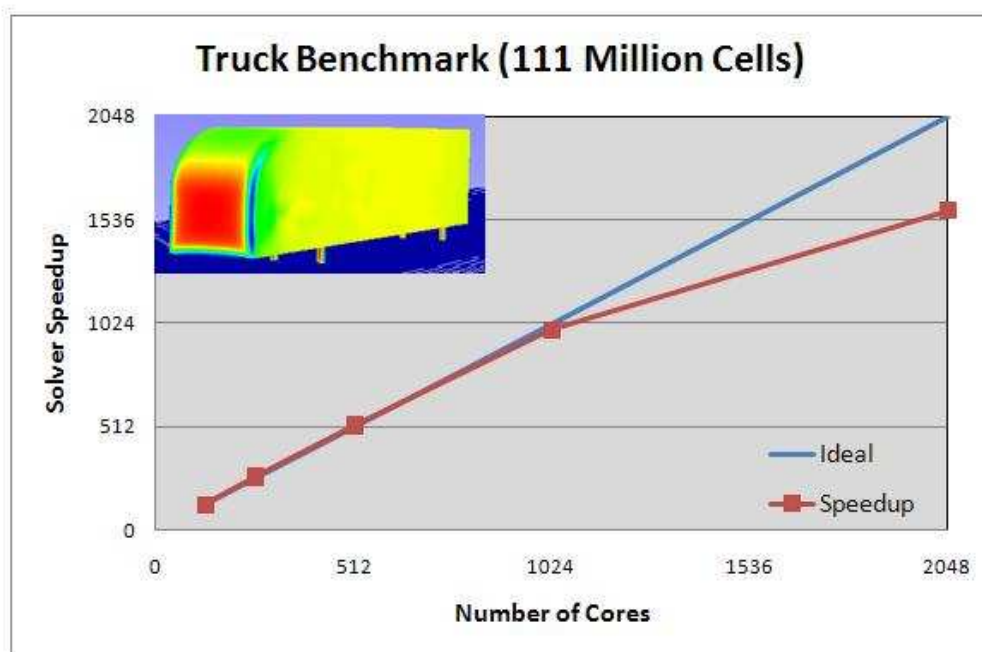
Přehled některých vlastností programu ANSYS Fluent:

Paralelní zpracování

Využívá schopnost paralelního běhu výpočtu, která může být provozována na běžných platformách typu Windows, Linux i Unix. Systém zároveň podporuje vícejádrové procesory. Pro dosažení nejvyšší účinnosti se výpočet se dynamicky dělí mezi jednotlivé procesory. Čím více procesorů je pak použito pro paralelní běh, tím kratší doby výpočtu dosáhneme.

Dynamické a pohybující se sítě

Dynamické sítě se využívají k simulacím proudění a spalování např. ve válcích motoru nebo při uvolňování rakety z letadla. Lze použít několik různých schémat pro změnu sítě během výpočtu, včetně vrstvení, vyhlazování a přesíťování, při simulaci různých pohyblivých částí v jednom výpočtu.



Obr. 3.19: Zrychlení výpočtu programem ANSYS Fluent je blízké ideálu až do počtu 1 024 procesorů/jader.²³

Turbulence a akustika

Fluent nabízí velké množství modelů turbulencí, turbulentního proudění či přechodů od laminárního k turbulentnímu proudění. Umožňuje simulace velkých vírů (LES) a jeho ekonomičtější varianty simulace oddělených vírů (DES), které se v dnešní době stávají atraktivní volbou i pro průmyslové simulace.

Pro simulace akustiky může program vypočítat výsledný hluk, za použití modelů širokopásmového zdroje hluku.

Přenos tepla, fázové směny a radiace

Teplota je nejčastěji měřenou neelektrickou veličinou. V řadě případů je potřeba řešit popis přenosu tepla při proudění tekutin. Program Fluent umožňuje využít řadu modelů pro nastavení přenosu tepla konvekcí, kondukcí a radiací. Lze použít i solární model pro simulace řízení klimatizací interiérů či dva různé modely pro simulace výměníků tepla. Další možnosti úzce spjaté s přenosem tepla, které mohou být v programu modelovány, představují simulace kavitace, stlačitelných kapalin, vedení tepla tenkou stěnou, reálné plyny a mokré páry



Obr. 3.20: Síť z mnohostěnnů a rozložení tlaků na formuli F1 pro post-procesing s použitím programu Fluent.²³

Reakce proudu

Umožňuje modelování chemických reakcí, speciálně v turbulentních podmínkách.²³

3.6. COMSOL Multiphysics

Vychází z programu Femlab od firmy Humansoft, stejně jako MATLAB. COMSOL Multiphysics umožňuje řešit fyzikální úlohy popsané parciálními diferenciálními rovnicemi (PDE) metodou konečných prvků.



Obr. 3.21: Logo Comsol. ²⁵

Nabízí rozsáhlé rozhraní pro MATLAB, se kterým je kompatibilní a jeho toolboxy, pro širokou škálu programů, pro předzpracování dat pro jiný program (preprocessing) a zpracování výstupních dat z jiného programu (postprocessing).

Pomocí přídatných modulů můžeme řešit úlohy z oblasti akustiky, pružnosti a pevnosti, prostupu tepla, proudění a difúze, elektromagnetismu, elektrostatiky a dynamiky tekutin.

Úlohy řešené v čase lze snadno animovat s možností zápisu do formátu AVI nebo Quick Time. Je vytvářen pro platformy: Windows, Mac, Linux, Unix. Vlastní programovací jazyk i prostředí. Cena se pohybuje okolo 250 tisíc Kč. Je možné si jej zapůjčit na zkušební lhůtu jednoho měsíce stejně jako MATLAB. Cena jednotlivých modulů se pohybuje od 60 do 150 tisíc Kč. ²⁵

Příklady přídavných modulů (toolbox):

AC/DC Module

Simuluje elektrické komponenty a zařízení, které jsou závislé na elektrostatice, magnetostatice a elektromagnetice. Skládá se z konkrétních rozhraní pro otáčivé stroje a aplikace pro kontrolu integrovaných obvodů na jejich základní úrovni tzv. SPICE.

Příklady použití:

Kondenzátory, cívky a rezistory,

Elektrické svařování a elektrostatické výboje,

Elektro-akustické měniče a reproduktory,

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) a elektromagnetické rušení (EMI),

Elektromagnetické převodníky, senzory a transformátory,

Izolace a vedení,

Magnetostatika a elektromagnetické stínění,

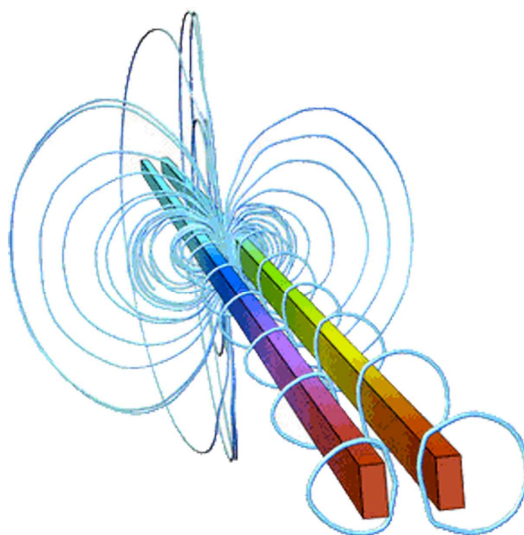
Motory, generátory a další elektromechanické stroje,

Plazmové modelování a dynamika elektricky vodivých kapalin (MHD),

Šíření hluku z elektromagnetických zařízení,

Odporové a indukční ohřevy,

Polovodičové výroby, zpracování, indukční pece.



Obr. 3.22: Model magnetického urychlovače zbraně Railgun, která využívá elektromagnetické síly k pohonu projektilu vytvořeného modulem AC/DC. ²⁵

RF Module

Charakterizuje elektromagnetická pole, proudy, vlny pro RF (radiové frekvence 300Hz až 3000GHz), mikrovlnná, optická a jiná vysokofrekvenční zařízení.

Příklady použití:

Analýza antén, vlnovodů a dutin,

Mikrovlnné zařízení, trouba, léčba rakoviny,

Průzkum ložisek ropy - mořské dna,

Vlivy mobilních telefonů na tkáň viz obr. č. 3.23,

Přenosové linky.



Obr. 3.23: Model, který sleduje zvyšování teploty lidské hlavy při ozařování vlnou z antény. ²⁵

Heat Transfer Module (*Přenos Tepla*)

Slouží k pokročilé analýze pro přenos tepla vedením, prouděním a zářením.

Příklady použití:

Lití a tepelné zpracování,

Chlazení prouděním výkonové elektroniky,

Sušení a vymrazování,

Zpracování potravin, vaření a sterilizace,

Výměníky tepla, vytápění, větrání a klimatizace,

Tepelné zpracování materiálu,

Odporový a indukční ohřev.

Acoustics Module

Slouží pro modelování akustiky vln ve vzduchu, vodě, jiných tekutinách a pevných látkách.

Příklady použití:

Navrhování, kontrola naslouchátek, reproduktorů a mikrofonů,

Lékařství - využití ultrazvuku,

Charakterizace hluku a vibrací strojů,

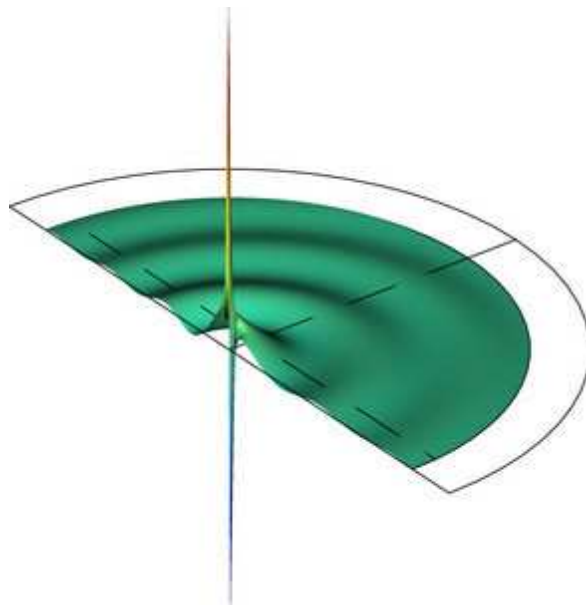
Snížení hluku - zvukové bariéry, stavební materiál, izolace, jeho vzhled,

Simulace, nedestruktivní zkoušení (NDT),

Navrhování snímače sonaru (zvuková navigace), hodnocení výsledků,

Umístění reproduktorů v místnostech a interiérech automobilů,

Výuka akustiky.- Dopplerův jev, způsoben nenulovou vzájemnou rychlostí (změna frekvence mezi zdrojem a přijímačem) viz obr. č. 3.24.



Obr. 3.24: Model Dopplerova jevu, kde je nepohyblivý zdroj zvuku umístěn ve středu stále proudící kapaliny.²⁵

Structural Mechanics Module

Slouží k analýze materiálů u kterých se posuzuje deformace, jejich namáhání.

Příklady použití:

Biomechanika a bioinženýrství,

Elektromechanická zařízení,

Únava materiálu,

Lomová mechanika (zabývá se trhlinami),

Piezoelektrické efekty,

Tepelné tření.

MEMS Module (*Micro-Electro-Mechanical Systems*)

Řešení problémů v mikro-světě. Modely procesů spojených s mikro-elektro-mechanickým zařízením. Obecně mikro akční členy, senzory.

Příklady použití:

Servo pohony,

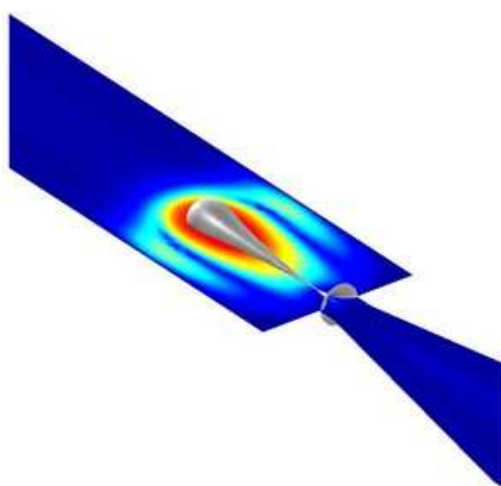
Chemické a biochemické senzory, čidla,

Inkoustové náplně,

MEMS akustické měniče, kondenzátory, tepelná zařízení,

Piezoelektrické a piezorezistivní zařízení,

RF MEMS zařízení.



Obr. 3.25: Proudění kapičky inkoustu z tiskárny přes trysku a vzduch k cíli.²⁵

Earth Science Module

Modely jednotných a vázaných procesů geologických jevů týkajících se životního prostředí tzv. environmentálních jevů.

Příklady použití:

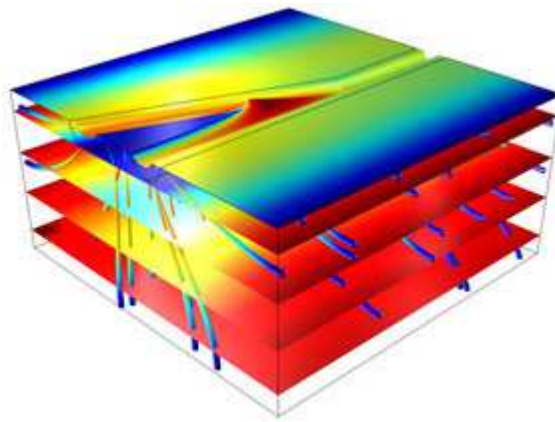
Analýza proudění tepla u ústí řek a pobřeží,

Šíření znečištění v půdě, v podzemních a povrchových tocích,

Skladování plynu, jeho opatrné uložení,

Tok magma,

Těžba ropy viz obr. č. 3.26.



Obr. 3.26: Model pro zvýšení těžby ropy zvýšením bočního potrubí. ²⁵

3.7. Hardware pro technické výpočty

Nakonec je třeba si říci, že se modely liší ve složitosti, množství zpracovávaných dat a potřebou rychlosti jejich zpracování. Proto je třeba pro každý z nich volit zvlášť hardware pro jejich výpočet.

U jednodušších můžeme použít osobní počítače PC. U náročnějších pak super počítače.

Přesná definice super počítače není přesně daná. Obecně se uvádí, že musí mít alespoň desetinásobek výkonu běžně dostupných počítačů.

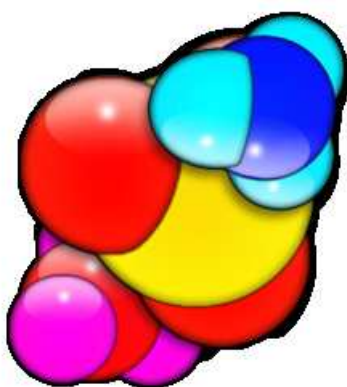


Obr. 3.27: Nejvýkonnější super počítač světa Jaguár, stav ke dni 24. 11.2009. ²⁶

Super počítač může být sestaven pomocí běžných počítačů, procesorů, pomocí vysokorychlostní počítačové sítě tzv. cluster. ⁹

Pokud není kladen důraz na rychlost komunikace mezi jednotlivými počítači, může se spojení velkého počtu běžných počítačů provádět pomocí internetu. Tak tomu je například u projektu SETI@home (*Search for Extra-Terrestrial Intelligence*) projekt zabývající se vyhledáváním mimozemské inteligence (analýzou signálů z radioteleskopu, má možnost dosáhnout výpočetního výkonu až 769 teraflops k datu 14. 11. 2009) a poskytováním výpočtů.

Dalšími projekty tzv. distribuovaného výpočetního výkonu jsou například Folding@Home, který je ke dni 24. 11. 2009 nejrychlejší v této oblasti. Jeho výpočetní výkon je udržován na 4,31 pentaflups. Tento výkon je získán díky využití velmi výkonné GPU (grafický procesor) jednoty u PlayStation 3. Využívá se například pro BOINC – 3,197 pentaflups, Einstein@Home – 238 teraflops. Aby tyto projekty nezanikaly, jsou vypsány soutěže pro ty, kteří poskytnou nejvíce výpočetního výkonu.⁹



Obr. 3.28: Logo projektu Folding@Home.²⁷

Výkon superpočítačů je měřený v jednotkách FLOPS (FLoating Point Operations Per Second), přičemž se využívají SI násobky, např. "TFLOPS" (10^{12} FLOPS, napíšeme jeden teraflops, pentaflups - 10^{15}).

K říjnu 2009 je nejvýkonnější počítač na světě americký "Jaguar" o výkonu 1 759 TFLOPS (viz obr. č. 3.27).

Českým nejvýkonnějším k tomuto datu je "Amálka" umístěný v Ústavu fyziky atmosféry Akademie věd ČR (ÚFA AV ČR) s výkonem 6,38 Tflops.⁹

Za čtyři roky má být zakoupen nový super počítač, který má být umístěn v místě dnešního parkoviště u kolejí Vysoké školy Báňské-Technické univerzity Ostrava. V roce 2012 by pak měl být zahájen zkušební provoz. Měl by patřit mezi první stovku nejvýkonnějších na světě. Jedním z jeho úkolů bude modelování krizových situací od povodní přes znečištění ovzduší až po požáry či dopravu.

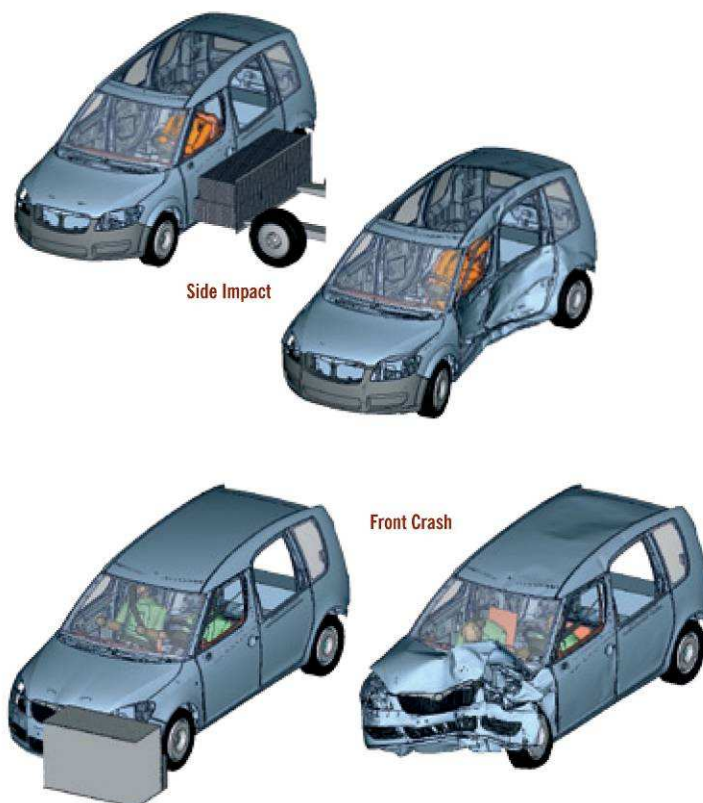
Protože není provoz superpočítače levná záležitost, využívá se i ke komerčnímu provozu. Zájemcům se pak účtuje cena za strojový čas. Příkladem firmy, která nabízí využití svého superpočítače, je například ANSYS nabízející službu zvanou RSolve - nástroje pro vzdálenou simulaci (RFS).²⁸

4. Oblasti využití počítačového modelování

Počítačové modelování zasahuje do celé řady lidských činností, často i tam, kde bychom to vůbec nečekali. Tato místa se navzájem prolínají a je velmi těžké je od sebe oddělit.

4.1. Automobilový průmysl

Je jedním z nejdynamičtěji se rozvíjejících průmyslových odvětví ve světě. Využívá mnoho materiálů, které je třeba testovat pro bezpečnost a pohodlí pasažérů.

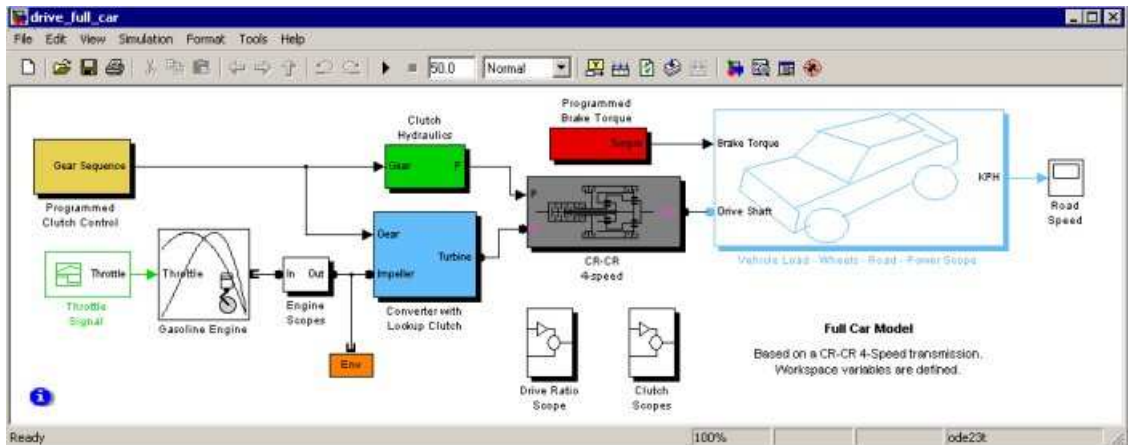


Obr. 4.1: Test nárazů u automobilu Roomster programem PAM-CRASH. ²⁹

Díky simulování nehod (tzv. Crash situace) ve vytvořených modelech výrobci automobilů ušetří čas a finanční prostředky, které by jinak potřebovali k fyzickým zkouškám odolnosti a bezpečnosti vozidla, nejen pro pasažéry ale i pro srážku s chodci. Díky počítačovým modelům jsou v dnešní době automobilové

společnosti schopné vyvinout provozuschopné vozidlo i s bezpečnostními testy již do několika měsíců.

Automobilové koncerny často stojí před otázkou, jaký program k modelování použít. Společnost ŠKODA od roku 1996 využívá produktů sdružení ESI. Příkladem je obr. č. 4.1, kde jsou pomocí programu PAM-CRASH simulované nárazy v různých místech u automobilu Roomster.²⁹

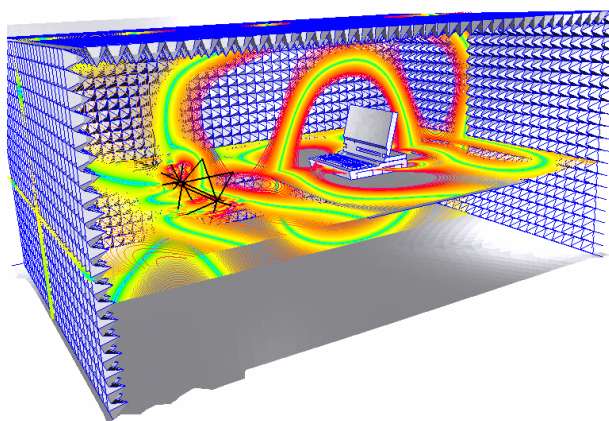


Obr. 4.2: Model dynamiky automobilu s pohonem na všechna čtyři kola vytvořený korejskou automobilkou KIA v programu MATLAB.²⁵

Dalším příkladem je korejská společnost KIA. Sáhla po programu MATLAB, kterým získala snadnější spolupráci se studenty při vývoji. Další jeho výhodou je univerzálnost pracovního prostředí, možnost tvořit uživatelské aplikace v jednoduchém jazyku. Příklad využití programu MATLAB v automobilovém průmyslu je na obr. č. 4.2.

4.2. Elektromagnetismus

S velkým nárůstem elektronických zařízení a bezdrátových technologií (mobilních spojů) narůstá i množství elektromagnetického smogu neboli elektromagnetické interference, dále jen EMI, které je třeba měřit a odstraňovat. Pro takovéto případy je vytváření modů a simulací skvělým způsobem jak těmto problémům zabránit a najít cestu, jak je vyřešit.



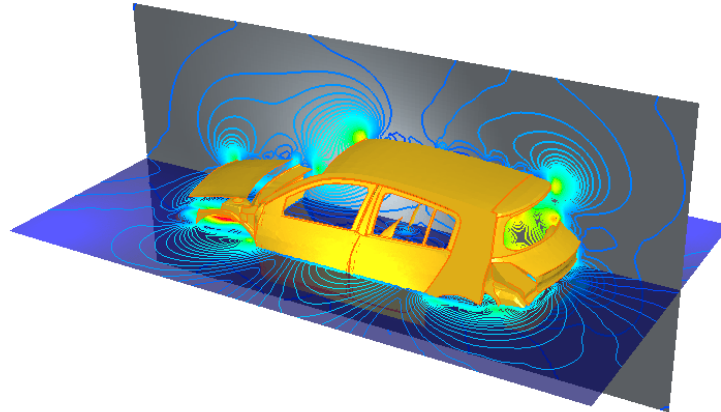
Obr. 4.3: Virtuální testování elektromagnetického pole programem PAM-CEM. ²⁵

EMI je proces, při kterém se energie produkovaná zdrojem, přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do jiných systémů, kde působí rušivě. Proto vznikl nový obor nazývaný elektromagnetická kompatibilita neboli EMC. Tento obor se zabývá otázkami nežádoucího ovlivňování funkce různých technických i biologických systémů působením elektromagnetického pole, přičemž jednotlivé systémy mohou nebo nemusí mít vzájemnou funkční souvislost. ²⁵

Modely jsou sestavovány pro zjišťování EMI v okolí elektrických vodičů. Pomocí nich se provádí analýza v celém frekvenčním pásmu. Dále se snaží vytvářet komplexní modely.

Tvorba modelů simulujících EMI není jednoduchá a levná záležitost. Proto vzniká mnoho projektů, na kterých se podílí více společností. Jedním z těchto projektů je tzv. AMELET, jehož cílem bylo navrhnout komplexní simulační platformu specializující se na EMC. Projekt je podpořen francouzským ministerstvem pro výzkum, dále společnostmi PSA Peugeot Citroën, ALSTOM

Transport a RENAULT, EADS, ONERA a ESI Group. Tento model si můžete prohlédnout na obr. č. 4.4.



Obr. 4.4: Automobilový model pro projekt AMELET. ²⁹

Programy které lze v této oblasti využít: Femlab a Comsol (s RF modulem) firmy Humusoft s. r. o., PAM-CEM, CRIPTE společnosti ESI.

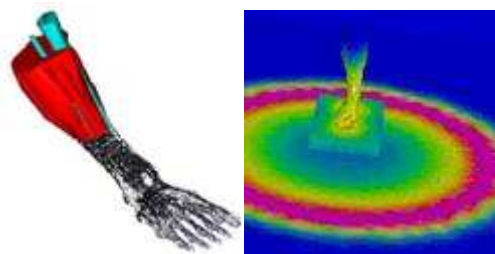
4.3. Biomechanika

Na všech místech, kde se vyskytují lidé, je třeba dbát na jejich bezpečnost. Právě tam se využívají numerické modely lidských těl, které nám napomáhají zlepšit bezpečnost v rizikových situacích. Ty mohou nastat například při srážce chodce s autem nebo při jiné dopravní nehodě.



Obr. 4.5: Model těla člověka, Biomechanika. ²⁹

Modely umožňují provádět realistickou simulaci celých mechanických částí lidského těla, dále přístup k lokálnímu chování části těla, které je obtížné nebo nemožné analyzovat experimentálními testy.

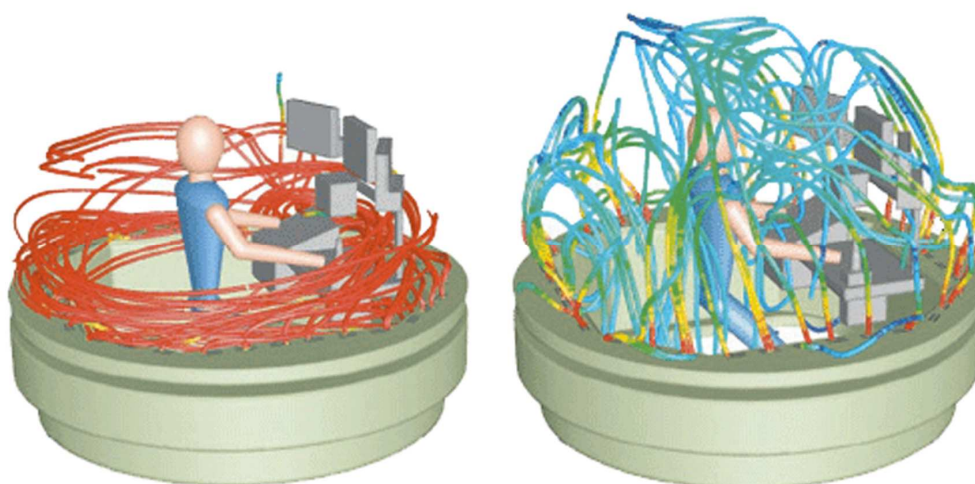


Obr. 4.6: Použití modelu člověka při vytváření ochranných obleků pro vojenské účely. ²⁹

Konkrétním příkladem využití je pro armádní účely, při vytváření helmy a chráničů hrudi před pozemními minami u moderního vojáka (viz obr. č. 4.6).

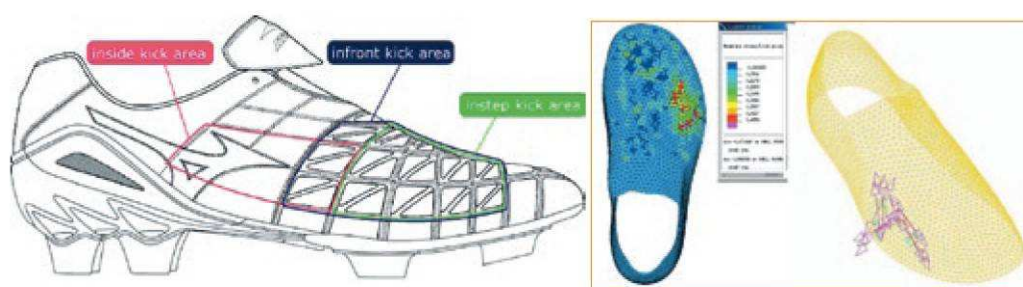
4.4. Pohodlí - Komfort

Se vzrůstající životní úrovní obyvatel, narůstají i nároky na komfort zařízení, prostředí v kterém žijeme. Pohodlí bývá často úzce spjato s bezpečností.



Obr. 4.7: Modelování klimatizace buňky vesmírné stanice. ²⁹

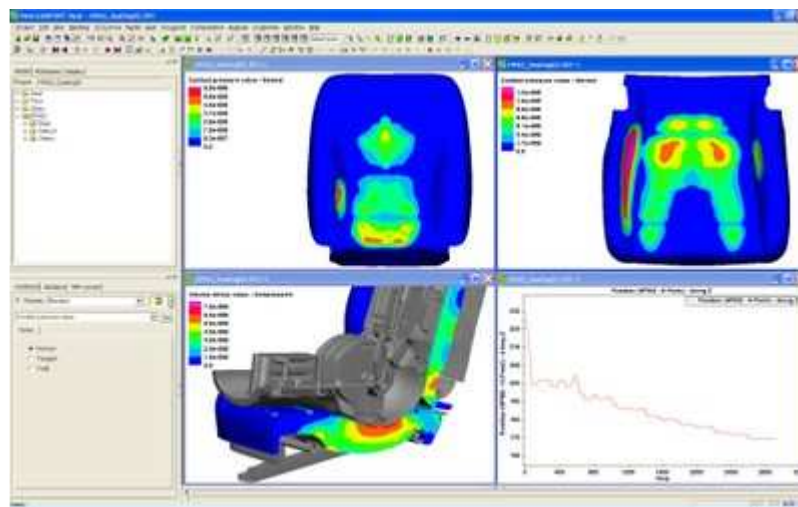
Vezměme si příklad. Klimatizace v automobilech nám bezpochyby zajišťuje příjemné prostředí. Pokud jej ale přeneseme do vesmíru na palubu vesmírné stanice, nebude již zajišťovat pouze pohodlí ale i bezpečnost před zvýšením obsahu CO₂ ve vzduchu nebo jeho přehřátím či ochlazením.



Obr. 4.8: Návrh obuvi pro fotbalisty firmou Mizuno. ²⁹

Dalším příkladem může být návrh správné obuvi pro vrcholové sportovce, kde se ji snaží navrhnout tak, aby byla pohodlná a zároveň umožňovala lepší

výsledky. Zároveň pomáhají zabránit zraněním vnikajících při aktivním sportu. Takovýmto vývojem se zabývá například firma Mizuno za použití programu PAM-CRASH, který využívá podrobný model lidského těla. Při testování se zaměřuje na místa největších tlaků a namáhaná místa se pak vyztuží. Dále například u fotbalové obuvi se zaměřuje na pružnost materiálu, který se dostává při úderu do míče do jeho styku. Na obr. č. 4.8 je vidět vzhled navržené obuvi a červeně označená místa největšího tlaku.²⁹



Obr. 4.9: Model testování pohodlí osob na sedačce v automobilu. Místa s vyšším tlakem jsou označena červenou barvou.²⁹

Podobným příkladem je modelování sedaček v automobilech, kde se optimalizují měkké části sedadla, vycpávky, bederní systémy. Zde jsou vstupními fyzikálními veličinami pozice, průhyby, deformace a napětí. K tomuto modelování se může použít například program PAM-COMFORT od skupiny ESI.²⁹

4.5. Předpověď počasí, klimatologie

Studiem počasí se zabývá vědní obor Meteorologie. Zkoumá atmosféru, její složení, stavbu, vlastnosti, jevy a děje v ní probíhající. Název meteorologie pochází ze 4. století př. n. od Platóna, pojem „meteora“ znamená věci nadzemské a „meteoros“ vznášející se ve výši.

Předpovídání počasí zajímalo učence už dávno. V polovině 17. století se po vynálezu barometru (Italem Torricellim) na základě jeho údajů dělali první pokusy o předpověď. Geniální myšlenky M.V. Lomonosova v polovině 18. století nenašly tehdy uplatnění. Až dnes se uskutečnilo jeho předvídání ve spojitosti s numerickými předpověďmi počasí.



Obr. 4.10: Portrét britského matematika Lewis Fry Richardsona.⁹

První numerický model počasí vytvořil britský matematik Lewis Fry Richardson (1835–1913) během 1. světové války viz obr. č. 4.10.

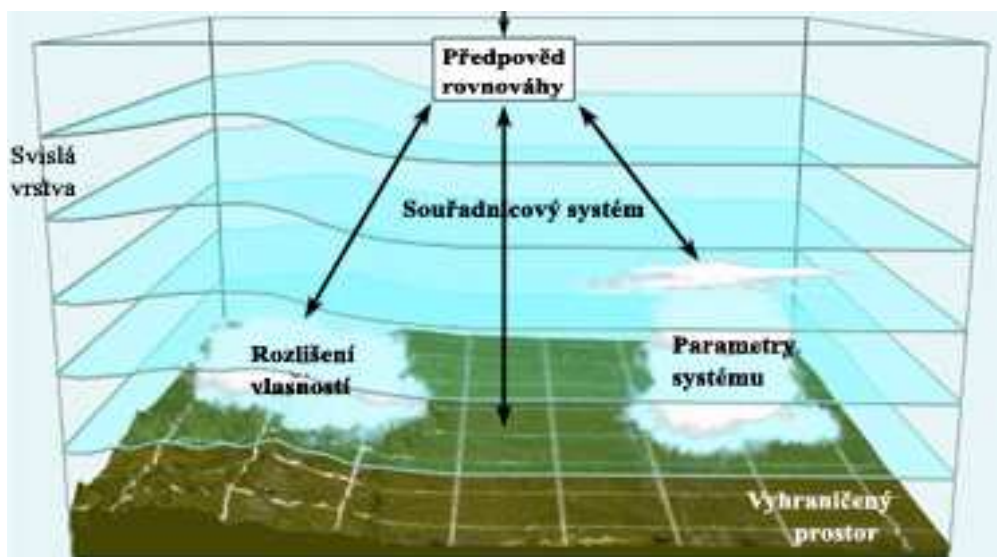
Numerická (početní) předpověď počasí je předpověď polí meteorologických prvků, která je výsledkem časové integrace prognostických rovnic některého fyzikálního modelu atmosféry, prováděné na samočinných počítačích metodami numerické matematiky.

Hlavním cílem numerické předpovědi počasí je co nejrychleji zpracovat naměřené údaje z meteorologických přístrojů (pozemních meteorologických stanic, balonových měření, meteorologických družic, radarů a dalších speciálních zařízení) a pomocí počítačové simulace vývoje atmosféry vypočítat její pravděpodobný

budoucí stav. V globálním předpovědním modelu je třeba znát parametry (tlak, teplota, vlhkost, vítr, ...).

Nejdůležitějším nástrojem numerické předpovědi počasí je numerický předpovědní model. Základem každého modelu je jeho dynamické jádro. Východiskem je soustava rovnic popisujících fyzikální zákony, podle kterých se vývoj skutečné atmosféry řídí.

Dynamické jádro modelu tyto rovnice řeší přibližně metodami numerické matematiky v prostorové síti uzlových bodů, vzorkujících atmosféru nebo její část. Dynamické jádro však nepopisuje všechny významné procesy, ať už protože probíhají v menším prostorovém měřítku, než je základní rozlišení modelu (např. turbulence, konvekce, ...), anebo protože tyto procesy nejsou přímo zahrnuty v základních rovnicích (záření, mikrofyzikální procesy v oblačnosti apod.). Efekty těchto důležitých procesů jsou proto řešeny v jednotlivých modulech tzv. systému fyzikálních parametrizací.



Obr. 4.11: Zkoumaný prostor numerickými metodami. ³⁰

Další podstatnou částí modelu jsou metody využití informací z meteorologických měření, ať už místních (přízemní observatoře, balónové sondy atd.) nebo dálkových (meteorologické radary a družice), a následný výpočet aktuálního stavu atmosféry, který je východiskem pro vlastní předpověď. Meteorologická měření se zpracovávají částí modelu, zvanou numerická analýza a asimilace dat. ³⁰

Numerický předpovědní model je řešen na počítačích. Algoritmy jsou naprogramovány především s ohledem na maximální rychlost výsledného programu. Používají se pokročilé numerické metody při konstrukci základních numerických schémat, rychlé numerické algoritmy a efektivní programovací postupy umožňující vysokou paralelizaci dat i algoritmů. Numerické modely se ve svých produkčních verzích řeší zpravidla na vysoce výkonných, často specializovaných počítačích, tzv. superpočítačích, schopných provádět velké množství výpočtů nad velkými objemy dat.

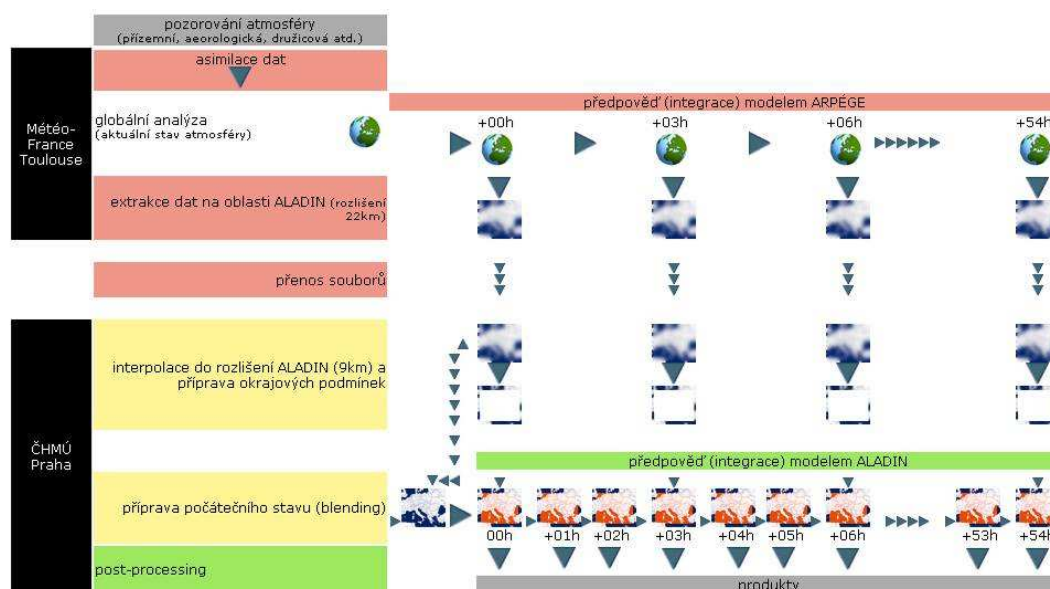
Modely mají pouze konečnou přesnost (současné modely mají horizontální krok výpočetní sítě 2 až 50 km), to aby ho bylo možno vůbec na počítači s konečnou rychlostí v potřebném čase vypočítat.

Atmosférická měření se provádějí pouze v určitých časech a na určitých místech, a tak chyby, způsobené nedokonalou znalostí počátečního stavu atmosféry, s časem narůstají, až úplně znehodnotí simulaci byť dokonalého modelu (modelová předpověď se rozplyne v deterministickém chaosu) řada důležitých atmosférických procesů je v modelu popsána pouze přibližně, ať už z důvodů výpočetní ekonomie, nebo protože přesný popis některých procesů na dané úrovni rozlišení dosud není znám.³⁰

4.4.1 ALADIN

(*Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Development International*)

Je numerický předpovědní model počasí na omezené oblasti, určený pro krátkodobou dvoudenní předpověď atmosférických procesů v rozmezí 10 km.



Obr. 4.12: Schéma provozu modelu ALADIN.³⁰

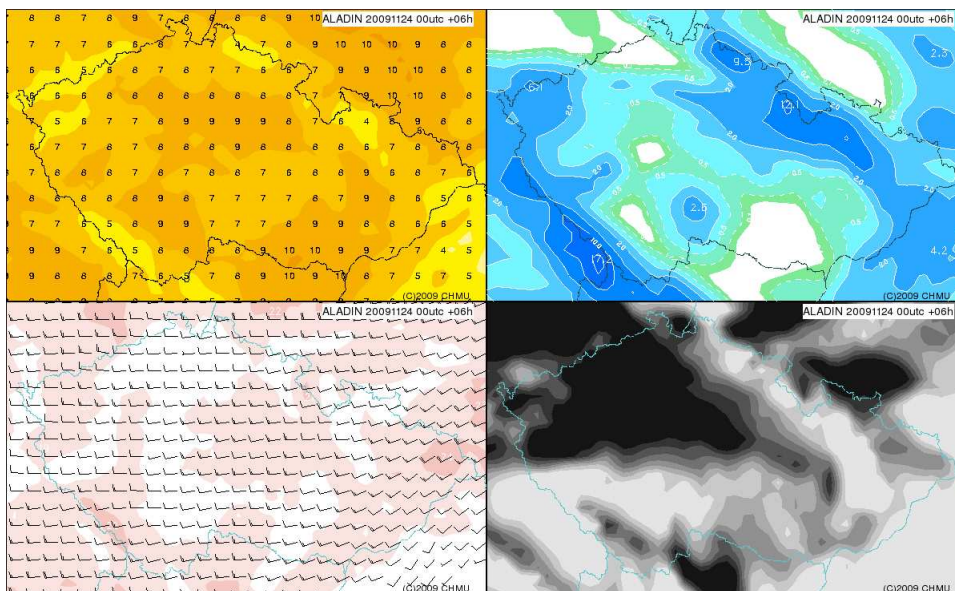
Model je vyvíjen od roku 1991 francouzskou meteorologickou společností Météo-France za spolupráce 15 evropských států. ALADIN je založen na systému základních rovnic řešených spektrální metodou na omezené oblasti semi-implicitním semi-lagrangeovským schématem. Integrační oblast modelu je vytyčena na mapě v konformní projekci, ve vertikále je použit hybridní souřadnicový systém. Procesy, které nejsou popisovány základním dynamickým jádrem modelu, jsou simulovány v soustavě fyzikálních parametrizací.

Model ALADIN se v ČHMÚ provozně počítá v konfiguraci ALADIN/CE na oblasti pokrývající střední, jižní a část západní Evropy.³⁰

Výpočet probíhá v několika hlavních krocích viz obr. č. 4.12:

- Výpočet globálního modelu ARPEGE extrakce výsledků pro ALADINa,
- Převod polí z rozlišení ARPEGE na vyšší rozlišení ALADINa,
- Výpočet vlastní předpovědi modelu ALADIN,
- Vykreslování map z hrubých výsledků – vytváření dat pro další zpracování.

Veškeré procesy probíhají v reálném čase a jsou paralelizované, a tak jsou dílčí výsledky zpracovány v okamžiku jejich vytvoření. Tím se zkracuje celková doba výpočtu všech kroků tvorby výsledných předpovědních produktů.



Obr. 4.13: Výstup z modelu ALADIN, zleva teploty, srážky, směr větru, oblačnost.³⁰

V současné době byl zahájen v rámci projektu ALADIN-2 vývoj nové generace modelu pro předpovídání v rozlišení okolo 2 km. Hlavní výsledky jsou k dispozici 4x denně v 0, 6, 12 a 18 h. a předpovídají počasí vždy na následujících 54 hodin.³⁰

Výstupem modelu jsou předpovědi řady fyzikálních parametrů atmosféry, z nichž jsou vytvořeny grafy zobrazující aktuální:

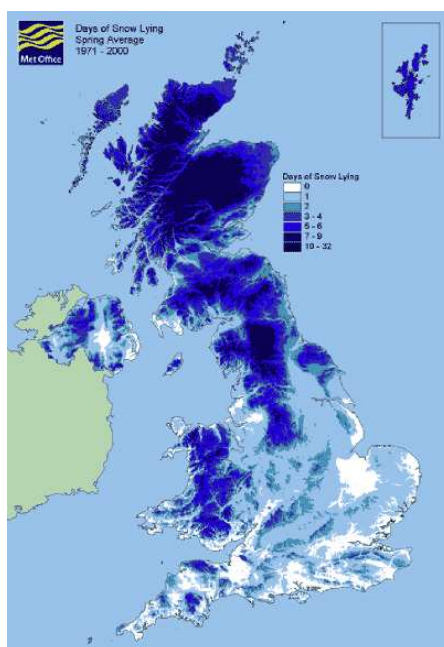
1. teploty měřené ve 2 m nad zemí,
2. srážky,
3. směr a rychlost větru,
4. oblačnost.

4.5.2. MORECS

(*Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculation System*)

V překladu: meteorologický úřad pro výpočty srážek a vypařování, je anglický model vzniklý na přelomu 70. a 80. let

Informuje v reálném čase o vyhodnocení aktuálních srážek, vypařování a vlhkosti půdy. Systém využívá propracované rovnice, z kterých se počítá půdní vlhkost a množství vypařování z měření teploty, slunce, větru a vlhkosti. Rovnice také umožňuje zjistit lokální rozdíly v typu půdy. Měření probíhá v 40km čtvercích.³¹



Obr. 4.14: Třicet let zprůměrnovaných dat napadlého sněhu z modelu MORESCO.³¹

4.4.3. AVISO

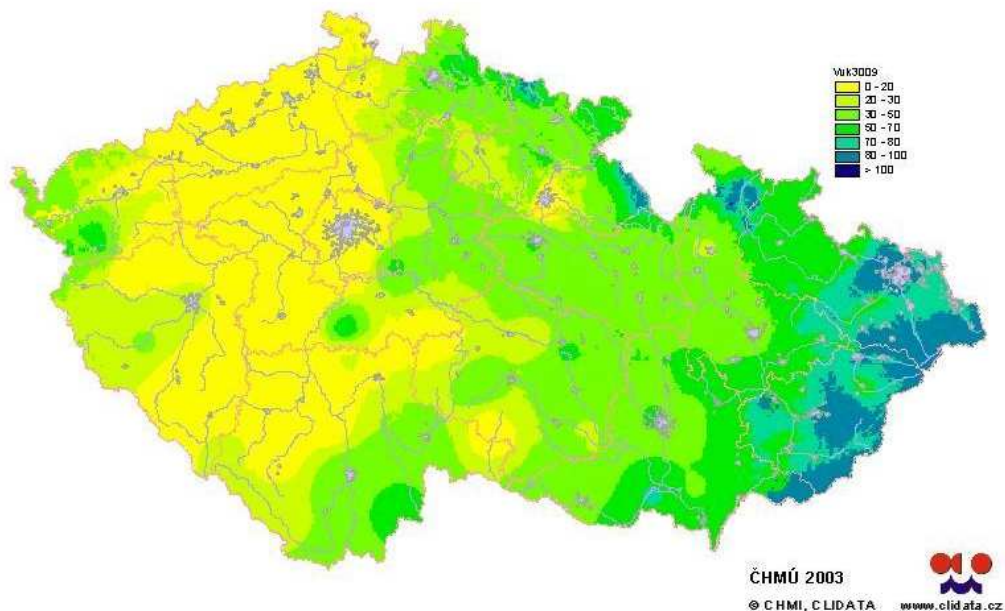
(Agrometeorologická výpočetní a informační soustava)

Tento český model je podobný anglickému modelu MORECS. Jeho vývoj začal roku 1992 pro závlahové hospodářství na jižní Moravě. Provádí analýzu vybraných agrometeorologických charakteristik a mimo jiné se využívá ke sledování půdní vláh, případně ke stanovení dodatkové závlahy, a také k hodnocení nasycenosti půdního profilu vodou.



Obr. 4.15: Scicos logo. ³²

Agrometeorologie studuje interakce mezi meteorologické a hydrologické faktory, na jedné straně, a zemědělství v nejširším slova smyslu, včetně zahradnictví, chovu zvířat a lesnictví na straně druhé.



Obr. 4.16: Naplnění využitelné vodní kapacity půdy k 30. 9. 2003
získané z modelu AVISO. ³⁰

Model je systémem otevřeným, podle případných požadavků jej lze doplňovat a upřesňovat. Plošně má celorepublikové uplatnění.³⁰

Vstupem modelu jsou základní agrometeorologická a fenologická data:

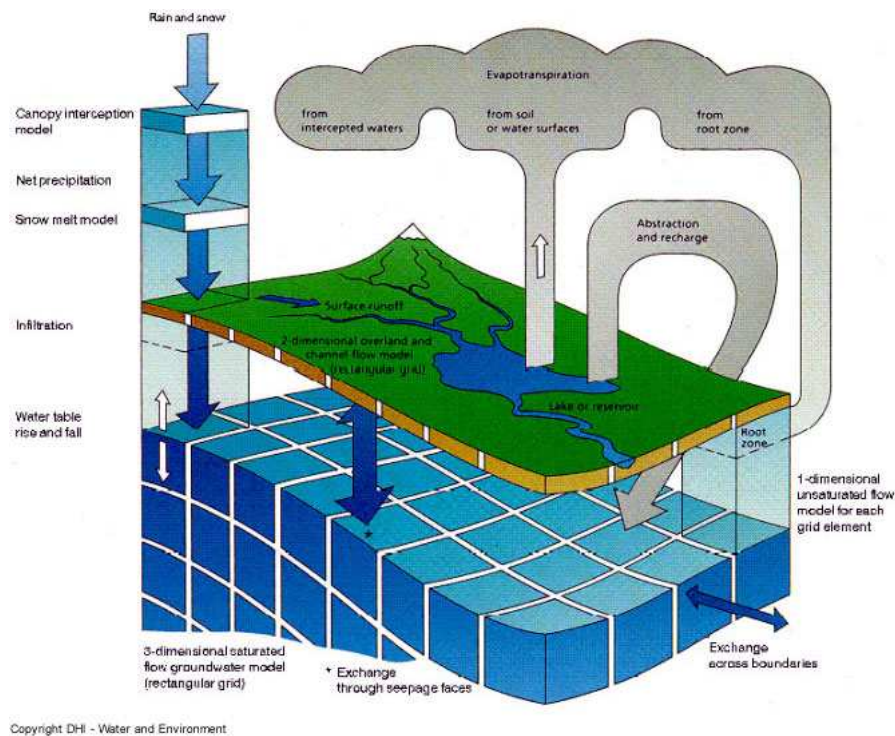
1. teplota půdy,
2. promrzání půdy,
3. vlhkost půdy,
4. evaporace z vodní hladiny,
5. fenologické fáze polních, lesních a ovocných rostlin.

4.4.4. MIKE SHE

MIKE SHE je integrovaný modelovací rámec pro simulaci všech částí země-fáze hydrologického cyklu (koloběh vody). To znamená, že se MIKE SHE můžete simulovat evapotranspirace (celkový výpar k určitému území), pozemní odtok, průtok kanálu, nenasycených infiltrace a nasycené proudění podzemní vody, včetně interakce mezi všemi těmito procesy.⁹

Tento model je určen pro:

1. zajišťování množství vody v povodí,
2. simulaci povrchových vod - aquifer interakce,
3. zajistit "co kdyby" nástroj pro hodnocení účinků a alternativy.



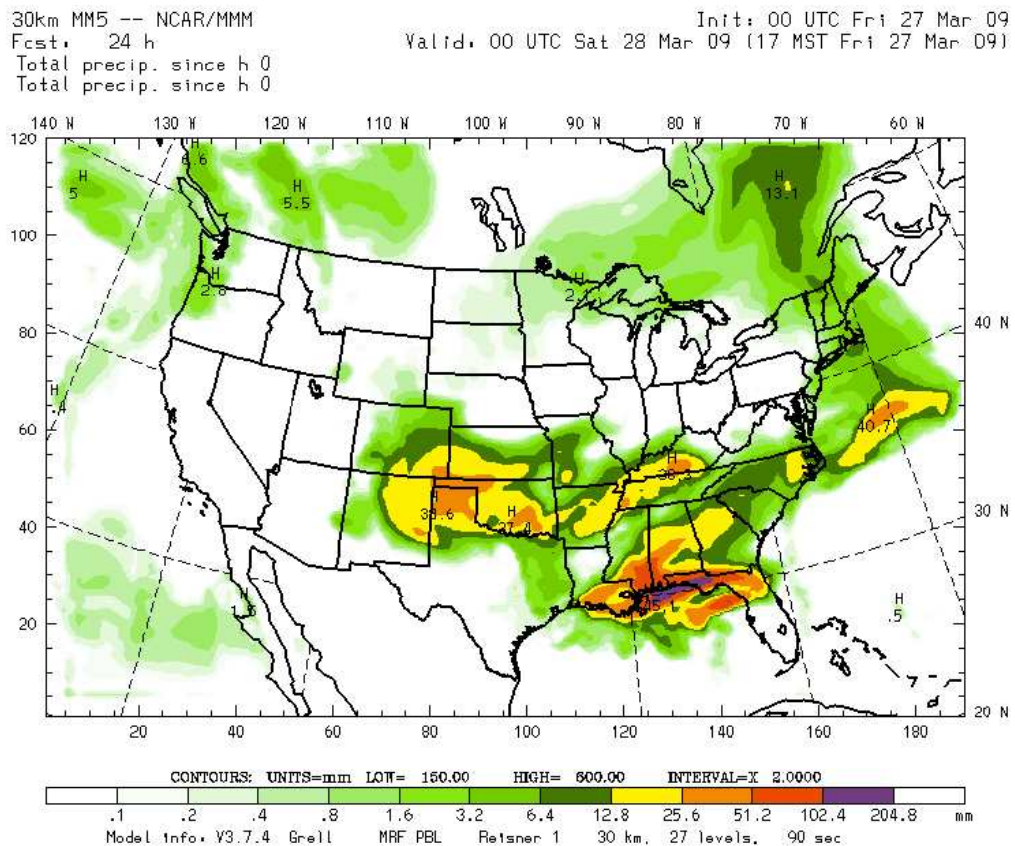
Obr. 4.17: Koloběh vody – schéma modelu MIKE SHE.³²

4.4.5 MM5

(*Mesoscale Model*)

MM5 byl vyvinut ve spolupráci s The Pennsylvania State University a Univerzity Corporation pro atmosférický výzkum v počátku 70. let.

Je to model atmosférické cirkulace určený pro práci v regionálním nebo kontinentálním měřítku. Simulace se používá pro celou řadu výpočetně náročných aplikací, včetně prognózy v reálném čase, sledování bouří, výzkumu a modelování klimatu. MM5 lze jako součást modelovacího systému použít ke studiu regionálních dopadů globálních změn.³⁴



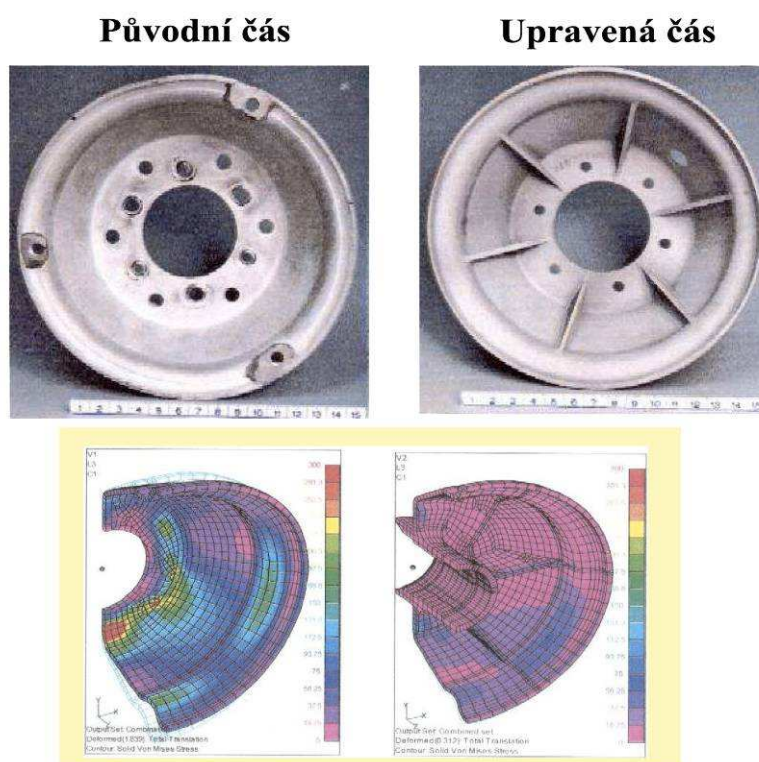
Obr. 4.18: Předpověď srážek pro USA modelem MM5.³⁴

4.6. Slévárenský průmysl

Produkce slévárenského průmyslu k roku 2007 činí 90 milionů tun slitiny. Z toho 75% jsou šedé a tvárné slitiny a pouze 5% oceli.

Rozložení produkce jednotlivých států:

Čína 28%, USA 15%, Japonsko 8%, Rusko 8%, Německo 6%, Indie 6%, Velká Británie 1,5%, Polsko 1%, Česká Republika 0,8% (200 sléváren, 580 tun slitiny).



Obr. 4.19: Dosažení lepších vlastností kol jejich po jejich úpravě. ³⁵

Za Československa (k r. 1989) jsme produkovali slitiny třikrát více než dnes (k r. 2007). Abychom byli schopni uspět na konkurenčním trhu, je třeba výrobky zkvalitňovat, hledat nové materiály a technologie. V tom nám pomáhá právě počítačové modelování. ³⁵

Závěr

Cílem práce bylo přiblížení počítačové fyziky laické veřejnosti, především žákům základních a středních škol, možným budoucím studentům vysokých škol.

Na začátku práce jsou popsány základní pojmy počítačové fyziky, rozdíl mezi simulací a modelováním a dále výpočetní metody.

V další části práce jsem se snažil uvést zajímavé příklady využití počítačové fyziky. Při jejich výběru jsem se snažil uplatnit zkušenosti získané při vedení ročního kroužku počítačů na ZŠ Holubov ve školním roce 2007/2008.

Podstatná část literatury je čerpána z internetových stránek anglického textu, neboť v českém jazyce není této oblasti zatím věnována taková pozornost, jak by si zasloužila. A především, anglický jazyk je používán v mezinárodní profesní komunikaci, proto je v něm šířeno mnoho materiálů.

Na závěr mohu říci, že možnosti uplatnění počítačové fyziky jsou značné. Lze očekávat i v budoucnu, že si počítačová fyzika bude nadále získávat větší prostor.

Práce je uložena na přiloženém DVD médiu ve formátu doc a pdf. Součástí práce je prezentace vytvořená v Microsoft Powerpointu, pro kterou je tento text vytvořen jako doprovodný. Prezentace vznikla za spolupráce s Bc. Martinem Švarcem. Každý se zaměřil na danou oblast počítačové fyziky.

Seznam použité literatury

- [1] http://www.artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/154_Dodatek1.doc
- [2] <http://www.medard-online.cz/>
- [3] <http://www.ffa.vutbr.cz/~lukasb/rgb/clanky/simulace.htm>
- [4] <http://www.svp.muni.cz/download.php?docId=328>
- [5] http://www.vydra.troja.mff.cuni.cz/bobo/fyzika/num1cv_modelovani.cz
- [6] <http://www.astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika0.htm>
- [7] Rudolf Hrach: Počítačová fyzika 1, PF UJEP Ústí na Labem, 2003
- [8] <http://uprt.vscht.cz/majerova/matlab/>
- [9] <http://www.wikipedia.org/>
- [10] <http://www.black-hole.cz/soubory/mc.pdf>
- [11] Ivan Křivý, Evžen Kindler, Simulace a modelování, Ostravská univerzita, 2001
- [12] Metoda Monte Carlo Generátory náhodných čísel, Univerzita Hradec Králové,
- [13] Jiří Tesař, Petr Bartoš, Metoda Monte Carlo a programovací jazyk MATLAB při přípravě učitelů na pedagogických fakultách, Praha, 2006, ISBN 80-7080-616-8
- [14] <http://www.images.abunawaf.com/2005/01/win-mac.jpg>
- [15] MATLAB díl I.Práce s programem Blanka Heringová, Petr Hora, Plzeň, 1995
- [16] <http://www.carsim.com>.
- [17] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/>
- [18] <http://www.octave.cz/>
- [19] <http://www.scilab.org/>
- [20] <http://www.scilab.ic.cz/>
- [21] <http://www.scicos.org/>
- [22] <http://www.fluent.com/>
- [23] http://www.techsoft-eng.cz/sluzby/ansys_cfd/fluent/
- [24] <http://www.zsc.zcu.cz/sw/fluent.html>
- [25] <http://www.humusoft.com>
- [26] <http://www.ornl.gov/ornlhome/photos.shtml>
- [27] <http://www.folding.stanford.edu/>
- [28] <http://www.ansys.com/support/remotesimulation/index.htm>
- [29] <http://www.esi-group.com/>

- [30] <http://www.chmi.cz/>
- [31] <http://www.comune.moresco.fm.it/>
- [32] <http://www.aviso.oceanobs.com/>
- [33] <http://www.spokanecounty.org/WQMP/projects/ASP/MikeModel.asp>
- [34] <http://www.mmm.ucar.edu>
- [35] Materiály z konference EuroPAM Praha 2008

Odkazy jsou aktuální k datu 24. 11. 2009

Seznam doporučené literatury

- < Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: Fyzika 1-5, nakladatelství Vutim a Prometheus, Brno, 2000.
- < Hrach: Počítačová fyzika 1, 2, PF UJEP Ústí na Labem, 2003
- < MATLAB díl I.Práce s programem Blanka Heringová, Petr Hora, Plzeň, 1995
- < <http://www.folding.stanford.edu/>
- < <http://www.samples.cz>
- < <http://www.webfyzika.fsv.cvut.cz/5predmet.htm>
- < http://www.vydra.troja.mff.cuni.cz/bobo/fyzika/num1cv_modelovani.cz
- < <http://www.gnu.org/software/octave/>
- < <http://www.astronuklfyzika.cz/>
- < <http://www.chmi.cz/>
- < <http://www.esi-group.com/>
- < <http://www.wikipedia.org/>
- < <http://www.octave.cz/>
- < <http://www.scilab.org/>
- < <http://www.scilab.ic.cz/>
- < <http://www.scicos.org/>
- < <http://www.fluent.com/>

Anotace

Práce je vytvořena za účelem popularizovat počítačovou fyziku v oblasti modelování pro budoucí studenty vysokých škol. Zároveň slouží jako doprovodný text prezentace vytvořené za stejným účelem.

Obsahuje základní pojmy počítačové fyziky. Dále pak přehled programů používaných k vytváření modelů, a k modelování, s příklady jejich výstupů.

Nakonec jsou uvedeny oblasti využití počítačového modelování s názornými příklady.

Annotation

The purpose of the submitted paper is to make the computerized physics more popular among the potential university/college students, namely in the areas of the simulation. Simultaneously, that work is intended to act as explanatory notes of the additional presentation which is composed under the same purpose as the above mentioned paper.

It contains the basic terms of the computerized physics. Moreover, the overview of programs for creation of models and simulations as well as resulting examples have been included.

Finally, the areas of the computerized simulations are listed, accompanied by the synoptic examples.