

# Modelování a simulace v oblasti projektového řízení

Doc. Ing. Branislav LACKO, CSc.

VUT Fakulta strojní, Ústav automatizace a informatiky, Technická 2, 616 69 Brno  
lacko@kinf.fme.vutbr.cz

## Zaměření textu

K čemu lze modelování použít?

Co je potřeba udělat pro sestavení modelu?

Jaké jsou v současnosti dostupné prostředky pro modelování?

Proč a kdy používat modelování a simulaci v projektovém řízení?

## Účel a přínosy modelování

V praxi projektových týmů jsou velmi časté případy, kdy projektový tým má učinit závažné rozhodnutí, přičemž chce tým snížit pravděpodobnost nesprávného rozhodnutí. Ve složitých případech, jakými jsou současné projekty, je velmi obtížné promyslet a nezapomenout na všechny možné dopady a souvislosti, které obsahuje plánované rozhodnutí.

Možná cesta, jak se vyvarovat možným chybám, je v použití modelování, které zejména v souvislosti se složitými projekty, jenž jsou ovlivňovány řadou nahodilých jevů (pohyb kurzu koruny, nemocnost a fluktuace zaměstnanců, výskyt zmetků v subdodávkách apod.), velmi pomáhá připravit co nejlepší rozhodnutí.

Modelování nám však umožňuje si pomoci i v takových případech, kdy máme provést rozhodnutí týkající se projektů, které teprve navrhujeme (např. máme navrhnout velikost zásobníků při projektu nové výrobní linky, kterou teprve stavíme, a která zatím ještě není v provozu).

Velmi často lze výhodně použít modelování tehdy, kdy se snažíme o určitou optimalizaci nákladů, prostojů, využití ploch apod., přičemž optimalizovaná posloupnost činností je příliš složitá a opět v ní působí řada neurčitých jevů (typickým příkladem z této oblasti je optimalizace výrobních postupů ve stavebnictví, strojírenství, elektrotechnickém, chemickém průmyslu nebo softwarovém inženýrství).

Musíme si uvědomit, že modelování nám může prospět i v těch případech, kdy nelze stanovit exaktní matematické vztahy, které by popisovaly a věrně modelovaly skutečnost. To je velmi významné zejména v dnešní době, která se vyznačuje vysokou neurčitostí a tzv. turbulencí (velmi častými převratnými změnami).

Použití modelování představuje řadu přínosů. Jako příklady můžeme uvést:

- snížení provozních nákladů
- snížení nežádoucích vícenákladů
- lepší využití disponibilních kapacit, materiálů a energií všeho druhu
- zvýšení produktivity
- zvýšení kvality rozhodování
- snížení rizika rozhodování
- zvýšení rychlosti rozhodování při opakovaném použití modelu
- snížení kapitálových investic a snížení rizika jejich znehodnocení.

Přes nesporné výhody a přínosy se modelování a počítačová simulace používají v České republice málo zejména proto, že český management není většinou s touto technikou

seznámen a nejsou s ní seznámeny ani naše projektové týmy. Stále se dává přednost výhradně intuitivnímu posouzení očekávané skutečnosti a to přesto, že se již v řadě případů prokázalo, že intuitivní přístup k rozhodování představuje vysoké riziko neúspěchu.

Mnozí vedoucí pracovníci zase podléhají mylnému dojmu, že používají techniku modelování a počítačové simulace, když s pomocí tabulkového procesoru MS-Excel graficky zobrazují uložená data, v čemž je někdy z pochopitelných důvodů utvrzují prodejci těchto produktů, kteří právě proto užívají terminu grafické modelování dat místo grafické zobrazování dat.

## Základní pojmy

Modelem rozumíme systém, který vykazuje chování v podstatných rysech shodné se svým originálem (přičemž originál v té době ještě nemusí existovat). Znamená to, že model nemusí být nutně jen zjednodušeně zmenšená napodobenina originálu např. malý model závodního auta nebo letadla, ale může se jednat o soustavu diferenciálních rovnic, řešených na počítači, popisujících v každém časovém okamžiku po startu dráhu kosmické rakety, protože soustava těchto rovnic po vložení údaje o době, která uplynula od startu rakety, se z hlediska výsledných souřadnic na povrchu zeměkoule, chová jako skutečná raketa. .

Z uvedeného vyplývá, že rozeznáváme jednak modely fyzikální, vytvořené na principu podobnosti (model letadla) nebo analogie (elektrický obvod RLC modelující kmitání závěsů automobilového podvozku), jednak modely abstraktní, vytvořené symbolickými prostředky (matematický popis, logický popis, symbolické programovací jazyky apod.).

Model je většinou určitým zjednodušením vzhledem k originálu. Výběr těch vlastností, které nutně musí model mít, a které nelze při jeho tvorbě opomenout, se řídí účelem modelování - např. chce-li sochař vytvořit sochu (model) nějakého člověka, klade důraz na vzájemnou vnějškovou podobnost mezi originálem a modelem, když však tým techniků bude konstruovat umělou ledvinu, použitelnou pro dočasné přebrání funkce originální ledviny člověka při operaci, bude se snažit zajistit co nejdříveji chemicko-fyziologické funkce tohoto orgánu člověka, bez ohledu na skutečnost, že umělá ledvina se bude vnějškově zcela lišit od skutečnosti. Tuto vlastnost modelu musíme mít při jeho vytváření na paměti, abychom zbytečně nepožadovali po modelu vlastnosti, které nejsou pro experimentování a naše závěry nezbytné, nebo abychom naopak neopomněli ty vlastnosti, které jsou pro náš účel nutné.

Z praktického hlediska můžeme modely rozdělit do různých skupin podle celé řady hledisek. Mezi mnoha hledisky je velmi důležité rozdělení na modely spojitých originálních soustav a modely originálních diskretních soustav:

Spojité soustavy jsou charakteristické tím, že děj u nich probíhá paralelně ve všech prvcích a jejich chování je popsáno reálnými čísly. Jako příklad spojitého systému si můžeme uvést :

- atmosféru, která obklopuje naši planetu a v ní probíhající počasí
- pohyb kosmické lodi letící na Měsíc
- apod.

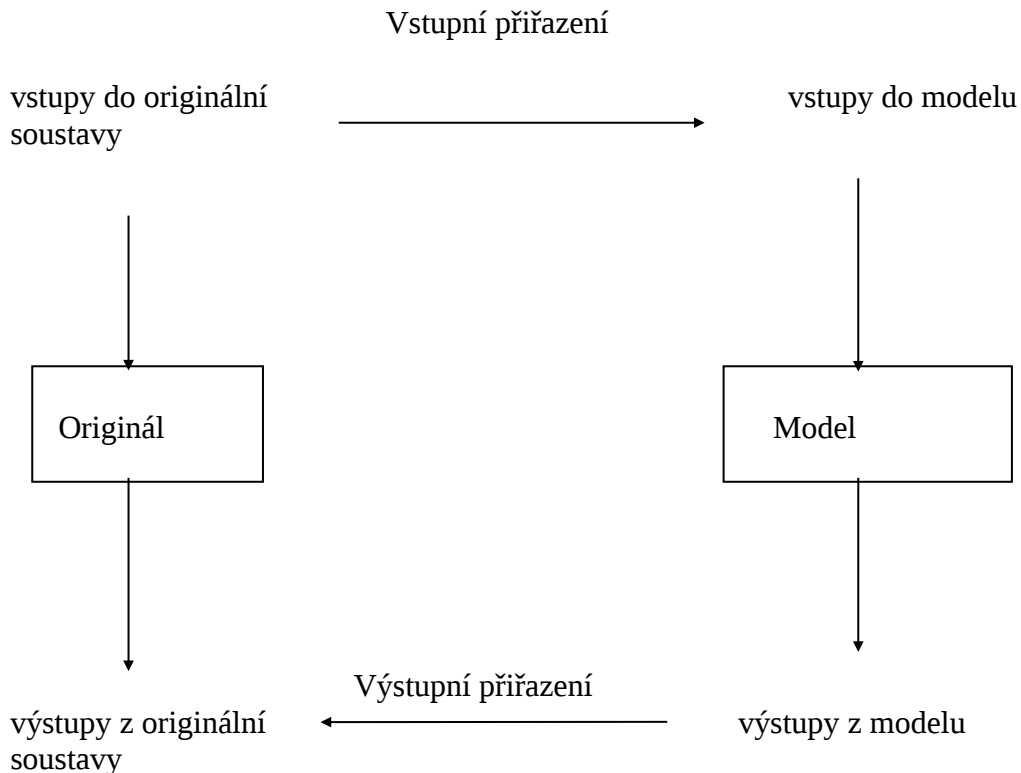
Takové systémy lze obvykle popsat soustavou diferenciálních rovnic.

Diskretní soustavy fungují tak, že změny v nich probíhají jen v určitých časových okamžicích. Diskretní soustavy navíc obsahují prvky, které mají určitým způsobem omezenou svoji kapacitu. Proto v těchto soustavách existují zvláštní prvky, kterým říkáme fronty. Jako příklady diskretních systémů můžeme uvést:

- strojírenská podnik, vyrábějící např. kotle pro ústřední topení
- benzínovou stanici, obsluhující příjíždějící řidiče v automobilech

- banku, poskytující finanční služby u přepážek svým klientům
- malou prodejní firmu nebo supermarket
- nemocnici
- projekt realizace software
- apod.

V obou případech je však vždy vztah mezi originálem a modelem pro potřeby experimentování schematicky vyjádřit následujícím schématem:



Ze schématu je vyčíst, že máme-li model, pak prostřednictvím vstupního a výstupního přiřazení můžeme za jistých okolností obejít existenci nebo používání originálu.

Např. Vytvoříme zmenšený model letadla v určitém měřítku, který upevníme do aerodynamického tunelu. Vstupní přiřazení jednoduše stanovíme tak, že rychlost letadla bude totožná s rychlostí proudícího vzduchu v aerodynamickém tunelu. Výstupní přiřazení stanovíme s pomocí fyzikálních výpočtů jako koeficienty, kterými budeme násobit naměřenou sílu, působící na proudem vzduchu ofukovaný model letadla, abychom zjistili skutečný odpor letadla v originální velikosti. Tak můžeme zjistit sílu (síly) působící na letadlo, aniž bychom museli vyrobit drahé velké letadlo, riskovat s ním lety, spotřebovávat drahé palivo, atd. Vypočtenou sílu odporu pak můžeme použít k úvahám o nutném výkonu motorů letadla, kterou budeme potřebovat k překonání odporu. Vstupní veličinou bude tedy proměnná rychlost letadla a výstupní veličinou velikost aerodynamického odporu letadla, zjišťovaná prostřednictvím fyzikálního modelu letadla v aerodynamickém tunelu.

Stále však musíme vyrobit zmenšený model letadla a mít k dispozici aerodynamický tunel, což obojí stojí peníze a musíme vynaložit nemalé úsilí, abychom obojí měli k dispozici (model vyrobit a tunel postavit a udržovat v chodu). Proudění vzduchu v aerodynamickém tunelu však umíme popsat matematickými rovnicemi, stejně jako umíme vypočítat odpor

tělesa určitého tvaru v proudu vzduchu určité rychlosti, hustoty, teploty a vlhkosti. Jestliže všechny potřebné veličiny a rovnice vložíme do počítače, můžeme vypočítat výsledná odpor vzduchu na originální letoun při určité rychlosti, aniž bychom potřebovali aerodynamický tunel a fyzický model letounu. Použili jsme vytvořili a použili abstraktní (matematický) model.

## Simulace

Vytvoření modelu je velmi prospěšné již obvykle proto, že práce při tvorbě modelu přináší podstatné prohloubení poznatků o fungování modelovaného systému - originálu. Takto získané znalosti vedou velmi často bezprostředně k úpravám modelovaného originálu se snahou vylepšit a optimalizovat jeho fungování. Již v tom je velká přednost modelování!

Největší přínosy však představuje možnost experimentování s modelem. Uvedme několik příkladů:

- Vlastnosti nového letounu můžeme zjišťovat na jeho zmenšeném modelu, který necháme ofukovat v malém aerodynamickém tunelu, což nás přijde mnohem levněji, než bychom získali naměřené hodnoty vynášením originálního letounu, zavěšeného pod trupem velkého letadla spolu s měřícím přístroji. Navíc co dělat, když se nejedná o malý ultralehký sportovní letoun, ale o obří, velkokapacitní dopravní letadlo?
- Pevnostní deformační zkoušky nového automobilu můžeme levněji realizovat na jeho modelu CAD v počítači, aniž bychom drahé auto vyrobili a pak rozbíjeli nárazy do betonové stěny při vysokých rychlostech.
- Noví piloti se mohou učit pilotování nejprve na leteckém simulátoru, aniž bychom riskovali jejich životy a ztráty letounů, spotřebovávali drahé palivo a blokovali beztak přetížené letiště. Podobně je tomu v případě nácviku zaměřování a střelby z rychlopalných protitankových děl v armádě na cvičném střeleckém trenažéru.
- Simulací celoročního provozu nově projektovaného supermarketu na počítači můžeme během necelé hodiny zjistit sezónní vytížení pokladen a parkovišť, objevit rezervy v plánovaných objemech prodávaného zboží a předpokládané nevyužití resp. nedostatek plánovaných skladovacích ploch.

Právě opakované experimentování s modelem přinášejí ty největší úspory nákladů a času.

Simulací tedy rozumíme opakované experimentování s modelem, kdy měníme podmínky experimentu a sledujeme změny v chování modelu. Ze získaných výsledků pak vytváříme závěry o chování originálního modelovaného systému.

Poznamenejme, že v současné době se simulace nejčastěji provádí na počítači, takže se často pojem simulace považuje rovnocenný pojmu počítačová simulace. Obecně však může být simulace prováděna různými prostředky podle povahy modelu. Dokonce lze hovořit o simulaci pomocí originálu např. zkušební provoz, nácvik leteckého poplachu ve škole apod.

## Doporučený postup

Aby modelování a simulace přinesly očekávaný efekt, lze doporučit postupovat systematicky podle níže uvedených kroků:

### 1) Úvodní workshop

Seznámení zainteresovaných pracovníků s problematikou modelování a simulace.

Provede se nejlépe vstupní instruktáží přizvaným lektorem z poradenské firmy nebo vysoké školy, který účelově vysvětlí zúčastněným pracovníkům principy a základní pojmy z této oblasti, aby se usnadnila komunikace při tvorbě modelu.

## 2) Formulace zadání

Pověření pracovníci sestaví studii, která obsahuje:

- účel a cíle modelování
- očekávané přínosy
- omezující podmínky
- stručný popis skutečného systému, který se má stát originálem modelu a jeho významné charakteristiky z hlediska modelování a simulace
- plánovaný časový harmonogram průběhu prací
- stanovení týmu pro sestavení modelu včetně výběru poradenské firmy
- návrh kontaktních pracovníků, kteří jsou schopni upřesnit popis modelovaného systému, a seznam těch, kteří budou pracovat s modelem v praxi
- odhadované náklady na sestavení modelu.

## 3) Analýza systému a stanovení koncepce modelu

Pro úspěšné sestavení modelu je potřeba co možná nejdříve popsat modelovaný systém z hlediska účelu a cílů modelování. Popis modelovaného systému může být proveden slovně, graficky, prostřednictvím symbolického aparátu matematiky a logiky. Důležité je stanovení hodnot proměnlivých parametrů, se kterými se bude experimentovat a určení rozsahu jejich uvažovaných hodnot. Pokud je nutno shromáždit určité údaje, je nutno zajistit jejich shromáždění (např. statistická data popisující počet objednávek různých výrobků v jednotlivých měsících od zákazníků za posledních pět let). Současně se stanoví kontrolní postup, který ověří správné chování modelu obvykle tím, že se sestaví několik zkušebních testovacích případů, kde k určité kombinaci vstupních parametrů známe příslušný výsledek tak, abychom prostřednictvím těchto případů mohli ověřit, že sestavený model pracuje správně. Na závěr se uvede výčet doporučení pro detailní sestavení modelu ( např. doporučený programový systém, návrh na dodavatele doporučeného systému, návrh na poradenskou firmu a pod.). Zároveň se zpřesňuje odhad nákladů na detailní sestavení modelu.

## 4) Detailní sestavení modelu

Teprve v této etapě sestavujeme vlastní model. Jeho sestavení se liší případ od případu podle typu modelu a použitých nástrojů při vytváření modelu. Obecně je možno doporučit začít nejprve se specifikací vlastností modelu z hlediska požadovaných funkcí a provozních vlastností. Specifikace se odvozuje jednak z formulace zadání, jednak z výsledků předchozí analýzy modelovaného systému a nakonec z požadavků na průběh experimentování s modelem.

Při tvorbě modelu bychom se měli snažit, aby model byl snadno ovladatelný, poskytoval srozumitelné indikace pro obsluhu a eliminoval případné chyby nebo opomenutí obsluhy a aby nebyla v mimořádných situacích ohrožena obsluha (např. při uvolnění modelu letadla v aerodynamickém tunelu, přetržení hadice s tlakovým olejem u trenažéru).

Model by měl být dostatečně kvalitně dokumentován a měl by být doprovázen jasnými a srozumitelnými pokyny pro pozdější uživatele, kterými bude používán.

## 5) Testování modelu

Po vytvoření modelu musí dojít k jeho prověření, zda opravdu věrně odráží vlastnosti a funkce originálního modelovaného systému. K tomu slouží připravené zkušební testovací příklady, prostřednictvím kterých ověřujeme, zda model funguje správně. Kromě těchto testů bychom měli ověřit, zda model dovede odmítnout chybné zásahy a zadání obsluhy a jak se dovede vypořádat s různými havarijními situacemi (např. přerušení proudu v el. síti). V průběhu testování nejen ověřujeme do jaké míry se shoduje chování modelu s modelovaným systémem, ale využíváme této etapy k získání významných údajů o době, potřebné k simulaci určitých případů, ke zjištění pracnosti přípravy jednotlivých experimentů apod. Shromáždění a vyhodnocení těchto údajů nám usnadní plánování pozdějších simulačních experimentů. Testy by měly být protokolovány a protokoly založeny, aby bylo možno testy zopakovat a porovnat výsledky kdykoliv jsou pochybnosti o správném fungování modelu nebo když jsou pochybnosti o výsledcích experimentu.

#### 6) Příprava experimentů

Úspěch tohoto kroku nezáleží jen na skutečnosti, že pro experimenty použijeme dobře sestavený a testy ověření model. Je nutno si připravit systematický a promyšlený plán experimentů s modelem, který by prostřednictvím získaných výsledků dal odpovědi na řešené problémy. V žádném případě bychom neměli spoléhat pouze na nahodilé zadávání parametrů a spoléhat, že se nám šťastnou náhodou podaří modelováním vyřešit existující problém. Při sestavování plánu experimentů musíme mít na paměti účel a cíl modelování, musíme vzít v úvahu funkce modelu, využít získaných zkušeností z testování modelu a snažit se vytvořit efektivní plán experimentů. Tento se často opomíjí k vlastní škodě uživatelů. Přitom by měl být plán modifikovatelný podle postupně získaných poznatků z provedených experimentů.

#### 7) Simulace

Vlastní simulace slouží k podpoře řešení problémů uživatele. Např. uživatel zadá požadovaný sortiment součástí, které mají být vyrobeny, stanoví několik možných variant jejich termínové realizace a způsobu výroby. Model jako odpověď poskytne údaje o předpokládaných nákladech, potřebných k výrobě součástí, předpokládané vytížení strojů a výrobních pomůcek a potřebu dělníků jednotlivých profesí na určitých pracovištích v denním rozčlenění.

Jednotlivé simulační experimenty by měly být vhodně protokolovány (obvykle s využitím možností modelu), abychom mohli zpětně experimenty vyhodnocovat.

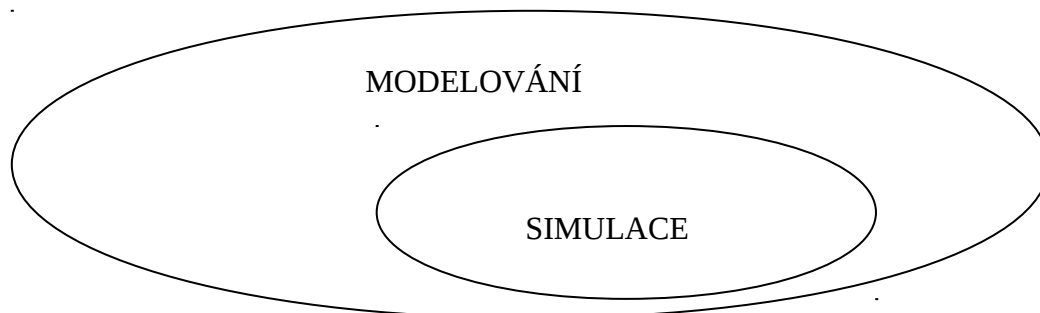
#### 8) Interpretace výsledků

Interpretací výsledků simulace rozumíme jejich vyhodnocení a přijetí konkrétních závěrů pro řešení zadaného problému.

#### 9) Vyhodnocení modelu a návrhy na jeho inovaci

Součástí užívání modelu by měl být i stanovený postup, jak bude model v průběhu času ve stanovených okamžicích vyhodnocován a zpracovány návrhy na jeho inovaci. Tato činnost by měla také sloužit k vyhodnocení přínosů modelu.

Simulace tedy představuje podmnožinu celé problematiky modelování, při níž hraje časové hledisko důležitou roli



## Používané nástroje

Přesto, že model lze vytvořit celou řadou prostředků:

- specializovanými elektronickými a mechanickými prostředky jednoúčelově zkonstruovanými pro danou aplikaci (letecké trenažéry, střelecké simulátory, automobilové trenažéry apod.)
- analogovými počítači, využívaných zejména pro modelování spojitých systémů, které jsou popsány diferenciálními rovnicemi
- apod.,

je v současné době nejvíce pro účely modelování použit samočinný číslicový počítač třídy IBM PC kompatibilní, jako univerzální modelovací nástroj pro širokou škálu nejrůznějších modelů. Je to způsobeno zejména:

- snadnou dostupností osobních počítačů
- jejich relativně nízkou cenou a nízkými provozními náklady
- jejich vysokým výpočetním výkonem, rozsáhlou paměťovou kapacitou a příznivou provozní spolehlivostí
- velkou nabídkou rozmanitého programového vybavení pro účely počítačového modelování a počítačové simulace
- možností snadné obsluhy modelů prostřednictvím výběru z nabídek funkcí jednoduše pomocí kurzoru (není potřeba tedy psát žádné složité příkazy přes klávesnici)
- existencí barevného grafického výstupu na obrazovku i tiskárnu, což značně zvyšuje vypovídací schopnost a srozumitelnost výsledků proběhnutých simulací.

Proto dále budou blíže rozvedeny jen nástroje, vhodné pro modelování na osobních počítačích třídy IBM PC kompatibilních. Samozřejmě větší počítače např. pracovní stanice UNIX apod. (např. pro simulaci následků výbuchu atomových elektráren se v USA používá jednoho z největších superpočítačů CRAY) zvládnou tyto problémy daleko rychleji, ale často při vyšších nákladech.

Jako pomocných nástrojů pro modelování na počítačích je možno použít několik různých prostředků:

A) Univerzálních programovacích jazyků např. Pascal, C (nověji objektově orientované verze těchto jazyků Turbo Pascal a C++) , FORTRAN a Ada. Prostřednictvím těchto jazyků lze naprogramovat poměrně složité, atypické a specifické modely. Nevýhodou je, že programování modelů v těchto jazyků je poměrně komplikované a velmi pracné. Proto i když počáteční náklady na zakoupení kompilátorů těchto jazyků jsou malé, náklady na programování a na testování modelů vycházejí příliš vysoké. Univerzálnost jazyků dovoluje vytvořit jednoduché ovládání uživatelem a pro něj srozumitelné výstupy z modelování, vyžaduje to však zdlouhavou, kvalifikovanou programátorskou práci.

B) Problémově orientovaných simulačních jazyků jakými jsou SIMULA 67, SIMSCRIPT, CLS, SOL a další. Tyto jazyky jsou speciálně navrženy pro potřeby programování modelů a simulace. Proto programování je v nich z hlediska tvorby a ověření modelu snadnější a model je rychleji k dispozici. Tyto jazyky však u nás nejsou příliš rozšířeny, zná je poměrně málo programátorů, a jejich kompilátory jsou několikanásobně dražší než kompilátory univerzálních programovacích jazyků, navíc minimum tuzemských prodejců software poskytuje těmto jazykům opravdu kvalitní podporu. I v těchto jazycích lze vytvořit model s jednoduchým ovládním a srozumitelnými výstupy..

#### C) Parametrické simulační systémy

Pro určité typy modelů (např. z oblasti teorie hromadné obsluhy apod.) lze naprogramovat předem sadu bloků, které řeší nejčastější prvky simulačních modelů. Z těchto lze pak poměrně snadno sestavit uživatelem model podle konkrétních požadavků a nastavit volitelné parametry bloků tak, aby se dosáhlo co nejuvěrnějšího chování modelu vzhledem k modelovanému systému. Tento způsob tvorby modelu vede poměrně rychle k získání modelu a systém obvykle bývá vybaven i vhodnými prostředky pro dokumentování sestaveného modelu a jeho testování. Příkladem může být např. systém GPSS (General Problem Simulation System), který představuje nejrozšířenější produkt této kategorie. České uživatelské prostředí lze v těchto systémech také vytvořit, ale může to být spojeno s určitými problémy.

#### D) Problémově orientované aplikační produkty.

S využitím objektově orientované technologie lze dnes sestavit softwarové produkty, orientované na určitý problém nebo třídu modelů např. diskrétní modely výrobních procesů. Pokud je potřeba sestavit model, patřící do této problémové skupiny, je poměrně snadno sestavit individuální model konkrétního výrobního procesu a simulovat jeho průběh. Pro usnadnění tvorby modelu se obvykle využívá vizualizačního programování prostřednictvím předdefinovaných a uživatelem definovaných ikon. To nejen urychluje tvorbu modelu, ale navíc velmi usnadňuje jeho testování. Systémy mají zabudován celý systém kontrol, který usnadňuje, aby se vytvořil logicky nesprávný model. Na druhé straně jsou tyto produkty poměrně drahé, i když přinášejí při správném použití vysoké přínosy, takže se rychle zaplatí. Konkrétními představiteli těchto prostředí jsou produkty: SIMPLAN, FACTOR/AIM, SIM FACTORY, WITNESS, STATEFLOW, MATLAB, PMF a další. Protože tyto produkty jsou již vyvíjeny intenzívně několik let, mají velmi propracované grafické rozhraní a nabízejí bohatou škálu různých výstupů, ze kterých si uživatel může vybrat podle potřeby.

#### E) Specializované modelovací prostředky

Pro tvorbu modelů a simulaci lze využít i prostředků založených na zvláštních principech:

- Modelování prostřednictvím neuronových sítí, kdy fungování modelů není založeno na předem naprogramované logice, ale na principu učení.
- Modelování s využitím stochastických procesů např. produkt MONTE CARLO, kdy je využito principu nahodilých jevů ke hledání nejlepšího řešení.
- Modelování založené na využití genetických algoritmů, kdy se využívá analogie mezi genetickými procesy a procesy při vyhledávání nejlepšího řešení zadaného problému.
- Modelování s využitím poznatků z výzkumů umělé inteligence (Artificial Intelligence) k realizaci heuristických algoritmů, které přibližují takové modely k tzv. expertním systémům. Expertní systém je programový produkt, vybavený bází znalostí a speciálním inferenčním podprogramem, který umožňuje prohlížení báze znalostí tak, aby systém byl schopen odpovídat na otázky uživatele, takže vzniká dojem, jako by uživatel konzultoval svůj problém s živým expertem, i když uživatel konzultuje svůj problém s počítačem.



- Modelování využívající multimediální prostředky (obraz, hudba, mluvené slovo, animace) nebo dokonce virtuální reality, kdy se speciálními prostředky (brýle, kukla na hlavu, rukavice a další) dosahuje interakce člověka s počítačem, takže jsou u člověka ovlivňovány jeho některé jeho smyslové vjemy a vniká u něho dojem skutečného, které je pouze neskutečné - virtuální.

- Modelování využívající teorie tzv. fuzzy množin, což je označení možností zadávat jako vstupní parametry takové výrazy jakými jsou: poměrně vysoká teplota, dosti nízký výkon, přibližně stěrná hodnota tlaku, velmi nízká produktivita, ve většině případů je výsledek přijatelný ...apod. To umožňuje konstrukci modelů pro případy, kdy nemůžeme pracovat s úplně přesnými hodnotami parametrů modelu.

Všechny tyto prostředky se snaží využít progresivních technologií v oblasti software pro zlepšení funkčních vlastností modelů, a pro usnadnění tvorby modelů. Ceny těchto prostředků však mohou být velmi vysoké a použití těchto nástrojů může být vázáno v některých případech na zvládnutí odpovídajících znalostí, aby mohly být využity specifické přednosti použité progresivní technologie. Řada těchto technologií je teprve na začátku svého průmyslového využití (virtuální realita, expertní systémy, přímé zpracování lidského hlasu a mluvené řeči), takže je nutno ještě počkat, než tyto technologie dosáhnou průmyslové zralosti na našem trhu a budou poskytovány za přijatelnou cenu. Přesto, pokud je na nich založený nabízený programový produkt pro konkrétní použití vhodný, mohou být dosahované výsledky velmi dobré, což je potřeba zjistit případ od případu. Podobně je to i s českou lokalizací. Většina produktů není pro český trh lokalizována.

## **Úloha poradenství při modelování**

Modelování a simulace je metoda velmi efektivní, ale poměrně náročná na řadu speciálních znalostí z oblasti technické kybernetiky, systémového inženýrství, teorie systémů, ovládání speciálních produktů, znalosti simulačních programovacích jazyků apod. (viz např. přehled dostupných nástrojů k vytvoření modelů)

Je někdy obtížné, aby všechny tyto potřebné znalosti měli vedoucí pracovníci, kteří chtějí modelování použít. Pro řadu menších firem je neefektivní mít specialistu nebo dokonce několik specialistů ve zvláštním podnikovém oddělení, kteří by se výhradně této problematice věnovali.

Možné řešení dnes spočívá ve využití služeb poradenských firem. Poradenská firma je schopna:

- poskytnout odborníka, který se zúčastní práce při navrhování modelu a v průběhu experimentování s modelem
- vypracovat návrh modelu „na klíč“ podle požadavků objednatele
- realizovat model a provést simulaci v rámci své programové licence
- poradit při specifických problémech, kdy uživatel nedovede problém vyřešit sám
- atd.

Poradenství je pro řadu našich firem a vedoucích pracovníků nová forma kooperace, na kterou nejsou zvyklí. Proto není na škodu uvést několik rad:

- Vždy vyžadujte od poradenské firmy reference na realizované akce, které si ověřte. Vyhněte se tak případu, že si najmete firmu, která se na Vás bude teprve učit.
- Svoje požadavky vždy formulujte písemně. To Vás donutí je přesněji specifikovat.
- Nezapomeňte si vždy stanovit měřitelné ukazatele a způsob jejich objektivního ověření, které umožní stanovit, zda cílů bylo dosaženo a zda poradenská činnost byla účinná.

- Pečlivě naslouchejte poradcům a přemýšlejte o jejich radách. Proto jste se na ně obrátili! Je zajímavé, že řada firem si sice poradce najme, ale pak ignoruje jejich doporučení. Pokud jim nedůvěřujete nebo pochybujete o jejich odborné úrovni, nenajímejte si je!

- Nesvalujte vinu na poradce! Za finální řešení a přijatá rozhodnutí jste odpovědni Vy! Na druhé straně musíte poradcům hned na začátku zřetelně vysvětlit, co od nich firma očekává.

Účast poradců je možno doporučit zejména těm firmám, které teprve začínají v této oblasti. Po určité absenci poradenských firem v této oblasti je v ČR několik specializovaných firem, které jsou schopny poskytnou kvalifikované služby v této oblasti, často navázané na schopnost dodávky specializovaných programových produktů:

**-TIMIG Praha, Heřmanova 30, 170 00 Praha**

( [timing@timing.cz](mailto:timing@timing.cz), [www.timing.cz](http://www.timing.cz))

Modelování a simulace prostřednictvím produktu Project Management Forecast problémů, které spadají zejména do následujících oblastí:

- hodnocení žádosti o úvěr, optimalizace smluvních a platebních kalendářů
- investiční výstavba, hodnocení variant záměru , optimální rozdělení investic
- oceňování nemovitostí výnosovou metodou včetně analýzy rizika
- řízení cash-flow a čisté současné hodnoty projektu
- výběr podnikatelských plánů z množiny alternativ
- optimalizace velikosti minimálních zásob včetně finančních
- optimalizace osevních plánů
- optimalizace reklamních kampaní
- plánování životních cyklů různých zařízení
- ekonomická návratnost investic a investičních akcí
- optimální poměr ploch restaurací, kaváren a hotelů tak, aby se maximalizoval zisk a minimalizovalo riziko, s uvažováním vlivu sezóny a víkendů
- časová analýza výnosu cenných papírů
- predikce věkové struktury zaměstnanců firmy
- modely krizových situací
- apod.

**-HUMUSOFT, Novákových 6, 180 00 Praha**

([witness@humusoft.cz](mailto:witness@humusoft.cz), <http://www.humusoft.cz>)

Simulace systémů diskrétních událostí pro účely:

- podpory manažerského rozhodování
- strategickou operační analýzu
- simulace výrobních, dopravních a distribučních systémů.
- simulace systémů hromadné obsluhy.

Zpracování modelů je prováděno v produktu WITNESS. Výhodou systému je řada předdefinovaných výstupních zpráv, které může uživatel požadovat pro svou potřebu vyhodnocení simulačních experimentů. Produkt je orientován na vizualizační programování a podporuje grafický způsob prezentace výsledků simulačních výpočtů.

V návaznosti na své dodávky systému MATLAB firmy MathWorks, je tato firma schopna poradit i při simulaci spojitých systémů, které lze popsat systémem diferenciálních rovnic (tepelné, elektrické, hydraulické, kinematické mechanické systémy, chemické procesy, apod.). Dalším rozšířením systému MATLAB je produkt STATEFLOW, kterým lze modelovat systémy prostřednictvím metody konečných automatů.

- **COMPSIM, Sedlákova 16, 602 00 Brno**

[Info@compsim.cz](mailto:Info@compsim.cz), [www.compsim.cz](http://www.compsim.cz)

([simeonov@uvss.fme.vutbr.cz](mailto:simeonov@uvss.fme.vutbr.cz))

Využití simulačních metod pro projektování, plánování, rozvrhování a řízení výrobních systémů a také jejich optimalizace (snižování rozpracovanosti výroby, snižování nákladů, dodržení termínů dodávek, apod.).

Simulace při projektování výrobních systémů a výrobních plánů pro oblast strojírenské výroby.

Řešená problematika zahrnuje poradenství a aplikace SW pro oblast výrobní a distribuční logistiky, např. krátkodobého operativního plánování výroby, reagující na denní změny ve výrobě prostřednictvím systému SIMPLAN (SIMulační PLÁNovací systém - APS), kdy se zpracovává celkový plán využití kapacit - TCM (Total Capacity Management).

Dále problematika simulace různých variant projektů sledu operací ve výrobě s cílem optimalizace výrobních nákladů, zkrácení průběžné doby výroby, maximálního využití strojů, operačního nářadí, měřidel a dalších výrobních pomůcek. K simulaci se využívá produkt FACTOR/AIM (Factor's Analyzer for Improving Manufacturing) a AweSim. Dále firma nasazuje produkty SyteAPS a Syteline.

Personální propojení firmy na vysokou školu VUT Brno poskytuje firmě možnost řešit skutečně velmi širokou škálu různé problematiky zapojením pracovníků jednotlivých vědeckých pracovišť školy.

- **TEAM Technologies, Za potokem 46, 106 00 Praha 10**

([rchudoba@teamech.cz](mailto:rchudoba@teamech.cz))

Firma využívá amerického know-how pro české klienty zejména v oblasti modelování časového průběhu, modelování průběhu nákladů a modelování průběžné potřeby zdrojů na různé projekty, s cílem odhalit možná rizika projektů a stanovit jejich míru. Zejména se jedná o rozsáhlé investiční akce, velké stavby a složité rekonstrukce komplikovaných výrobních zařízení.

Firma je schopna následně poskytovat široké spektrum různých konzultačních služeb při návrhu a implementaci projektů.

TECON s.r.o., Národní tř. 35, 110 00 Praha 1

([tecon@tecon.cz](mailto:tecon@tecon.cz))

Firma poskytující poradenství při modelování a simulaci cashflow investičních projektů jak ve fázi studie proveditelnosti (feasibility study) tak ve fázi inicializaci projektů resp při analýzy nákladů a přínosů, podle metodiky UNIDO (United nations Industrial Development Organization). Pro simulaci používá počítačový simulační model COMFAR III Expert, který byl České republice poskytnut v rámci pomoci rozvojovým zemím organizací UNIDO.

## **Vhodnost a nevhodnost modelování**

Výhody a přínosy modelování a simulace se zejména uplatní v následujících situacích:

A) Vyhnete se následkům špatného rozhodnutí, které mohou způsobit velké škody firmě nebo i katastrofu.

Např. při rozboru havárie atomového reaktoru v Černobylu se prokázalo, že pokud by se zamýšlený experiment napřed řešil s pomocí počítačové simulace, mohla se obsluha neřízené

řetězové reakci v atomovém reaktoru vyhnout. Právě nezvládnutí experimentu se skutečným objektem přivodilo tragickou událost s celosvětovými ekologickými hroznými následky.

B) Jednou sestavený model se opakovaně mnohokrát, zpravidla velmi levně, použije a přinese tak několikanásobný užitek.

Např. dobře vyřešený model operativního plánování výroby lze každodenně použít, což při ročním vyhodnocení přináší miliónové úspory.

C) Získáme čas.

Čas je dnes kritickým faktorem úspěchu. Můžeme-li si např. na staveném modelu ověřit správné rozmístění a počet strojů v připravované nové hale pro výrobu inovovaného výrobku, ušetříme tím nejen náklady na pozdější případné přemístování strojů a čekání na dodávky dokupovaných strojů resp. vícenáklady za nevyužité stroje, ale zkrátíme dobu pro uvedení inovovaného výrobku k zákazníkům, což představuje jeden z rozhodujících faktorů pro úspěšné ovládnutí trhu.

Na druhé straně je potřeba upozornit, že věnujeme-li čas a vysoké finanční prostředky na vytvoření modelu, který pak použijeme jen jedenkrát s minimálními přírůsky, pak se nám tato metoda může jevit jako velmi neefektivní.

Rovněž je nutno varovat před používáním neověřených, nesprávných modelů, které mohou poskytovat zavádějící výsledky.

## **Modelování a simulace projektů**

**Modelování a simulaci můžeme v projektovém řízení využít v rozličných situacích:**

- Můžeme simulovat celý průběh projektu s ohledem na různé nahodilé jevy a zjišťovat celkové výsledné náklady, přírůsky, délku trvání nebo spotřebu některých kritických zdrojů.
- Můžeme sestavit model, který nám umožní zjišťovat vliv různých rizikových faktorů na některé důležité charakteristiky projektu (náklady, délka projektu, apod.)
- Můžeme sestavit modely, které nám umožní lépe odhadnout spotřebu času, nákladu a zdrojů pro dílčí plánované činnosti, protože stále méně můžeme pro stanovení plánovaných parametrů použít normativy nebo statistickou analýzu.
- Projektový tým může použít modelování a simulaci také pro zjišťování možných dopadů plánovaných opatření na projekt v době realizace projektu v okamžiku, kdy je potřeba řešit různé složité problémy např. zpoždění projektu.

K modelování projektů potřebujeme vhodný programový produkt. Např. Project Management Forecast od firmy TIMING Praha je právě takovým nástrojem.

Modelování projektů je založeno na několika principech:

- Modelujeme události skutečného projektu, jako tvrzení o určitých skutečnostech, které nastávají v průběhu projektu, kdy se v čase mění čerpání času, nákladů a zdrojů.
- Modelujeme čas obvykle prostřednictvím zvláštního kalendáře událostí, což nám dovoluje, aby např. roční projekt byl simulován v délce několika minut
- Modelujeme nahodilé události prostřednictvím tzv. Generátoru náhodných čísel

## Závěr

Modelování a simulace patří dnes k progresivním technikám, které firmám, jenž tuto techniku důmyslně a správně používají, může přinést konkurenční výhodu a tím zlepšení jejich konkurenční schopnosti.

Doplňuje nebo dokonce nahrazuje stávající techniky např. při odhadování, kdy nemůžeme v projektech použít normativních výpočtů nebo statistické analýzy. Pro některé složité případy expertních odhadů, výpočty pro analýzu rizik apod. Se stává modelování a simulace dokonce jediným přiměřeným řešením problémů.

Prognostičtí odborníci předpokládají, že tato situace bude trvat ještě 5 až 10 let. Současné turbulentní tržní prostředí, globalizace trhu a radikální zkracování inovačních cyklů povede k tomu, že modelování a simulace se po roce 2005 stane standardní technikou nejen pro podporu rozhodování, ale i pro návrh a vývoj nových výrobků a služeb. Nepoužívání modelování a simulace u konkrétní firmy se stane po roce 2005 zpoždovacím (retardačním) faktorem, který bude způsobovat snižování její konkurenční schopnosti.

Podobně to platí i pro oblast projektového řízení, kde pro plánování a řízení projektů selhávají dosud používané klasické techniky.

V oblasti modelování a simulace probíhá intenzivní výzkum a jsou vyvíjeny nové nástroje, založené např. na neuronových sítích, které se snadněji používají, protože jejich fungování je založeno na principu učení, nikoliv na principu explicitního programování [13]. Nově se také aplikují v oblasti modelování zásady objektivě orientovaného přístupu [2,9]

Proto by vedoucí pracovníci současných českých firem měli učinit taková opatření, aby modelování a simulaci do praxe svých firem co nejdříve zavedli a pracovníky svých firem s touto technikou dokonale seznámili.

Lektoroval: RNDr Jiří Weinberger, CSc.

## Seznam doporučené literatury:

- 1) Milgram, P. - Roberts, J.: Modely rozhodování v ekonomice a managementu.  
Grada 1998, Praha
- 2) Duben, J.: Objektové modely podniku  
Grada 1996, Praha
- 3) Klír, J.: Kybernetické modelování.  
Státní nakladatelství technické literatury 1965, Praha
- 4) Walter, J. - Lauber, J.: Simulační modely ekonomických procesů  
Státní nakladatelství technické literatury 1975, Praha
- 5) Ondráček, E. - Janíček, P.: Výpočtové modely v technické praxi.  
Státní nakladatelství technické literatury 1990, Praha
- 6) Kindler, E.: Simulační programovací jazyky.  
Státní nakladatelství technické literatury 1980, Praha
- 7) Arlt, J.: Moderní metody modelování ekonomických časových řad  
GRADA 1998, Praha
- 8) Janíček, P. - Ondráček, E.: Řešení problémů modelováním.  
PC-DIR Real s.r.o. Brno 1998 (skriptum VUT FSI Brno)
- 9) Kindler, E.: Simulace systémů, které simulují samy sebe  
Automatizace, roč.43 (2000) č.3, str. 158 - 162

- 10) Weinberger, J.: : Objektově orientované programování a jeho aplikace v diskretní simulaci. Sešity ASŘ, INORGA Praha 1990
- 11) Štefan,J.-Suchý,K.: Modelování a simulace systémů – nedílná část řešení otázek automatizace. Automatizace, roč.43 (2000) č.3, str.155
- 12) Havlena,V.-Prospěch,R.: Prediktivní řízení s modelem – nová oblast využití matematických modelů v energetice. Automatizace, roč.43 (2000) č.3, str.181-182
- 13) Adam,R.: Tvorba predikčních a optimalizačních modelů pomocí neuronových sítí. Automatizace, roč.43 (2000) č.3, str. 194 – 195
- 14 ) Simeonov, S. Simeonovová, J. "Application of Simulation Method in Logistics"  
Proceedings of the International Conference HMS '99, Genova, Italy, September 16-18, 1999, ISBN 1-56555-175-3
- 15) Simeonov, S. Simeonovová, J. "FACTOR/AIM Optimization System"  
Proceedings of the International Advanced Simulation Technologies Conference ASTC 2000, Washington, D.C., USA, April 16-20, 2000
- 15) Simeonov, S. Simeonovová, J. "New approaches for Production Planning and Scheduling" Proceedings of the Conference Automatizace ve strojírenství AUTOS 2000, Plzeň, June 14-15, 2000

Příspěvek byl zpracován v rámci výzkumného záměru MŠMT č. CEZ J22/98:26000013

Publikováno ve sborníku semináře:

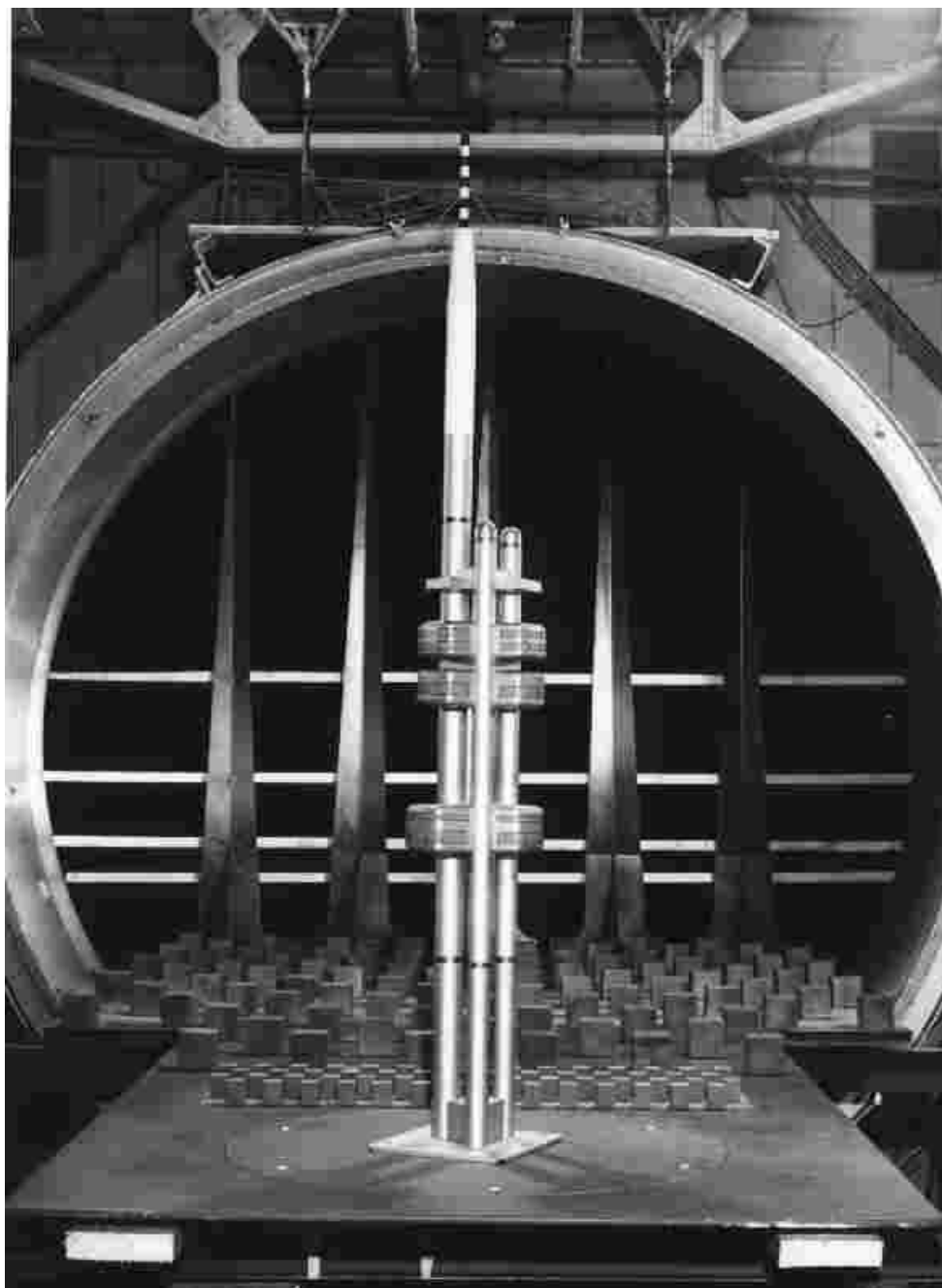
MSP2001 – Modelování a simulace projektů.

VUT v Brně 2001 Brno, str.5-20 (ISBN 80-214-1734-X)

Model letounu ALBATROS L-39 v aerodynamickém tunelu  
Výzkumného a zkušebního leteckého ústavu Praha



Měření vlivu větru na televizní věž v aerodynamickém tunelu  
Výzkumného a zkušebního leteckého ústavu Praha

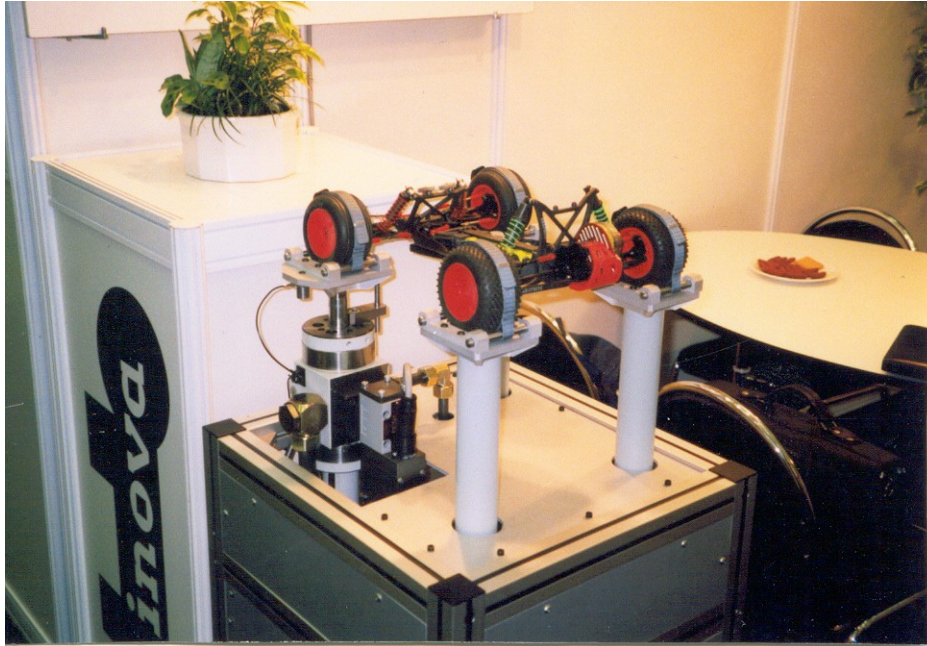




Trenažér pro výcvik pilotů  
Letiště Ruzyň Praha



Model podvozku pro simulaci kmitání tlumičů v expozici firmy INOVA na MSV Brno



Simulace protržení hráze v testovacím vodním kanálu VUT Brno  
Brno Rozdrojovice



Simulace průtoku vodní propustí ve zkušebním kanálu VUT Brno  
FAST Brno Veverčí



