





Simulace dynamických systémů

Zdeněk Hadaš

Náplň

Úvod do modelování a simulace systémů.

Abstraktní a simulační modely.

Spojité (diskrétní a kombinované) modely.

Modelování a simulace řízených systémů.

Navrhování a řízení simulačních experimentů, vizualizace a vyhodnocování výsledků simulace.

Vstupní znalosti

- Základy matematiky včetně diferenciálního a integrálního počtu funkcí jedné a více proměnných a řešení systému diferenciálních rovnic,
- základy fyziky, mechaniky, elektrotechniky a automatického řízení,
- prostředí Matlab.

Cíle

Osvojení metod a vybraných prostředků počítačové simulace.

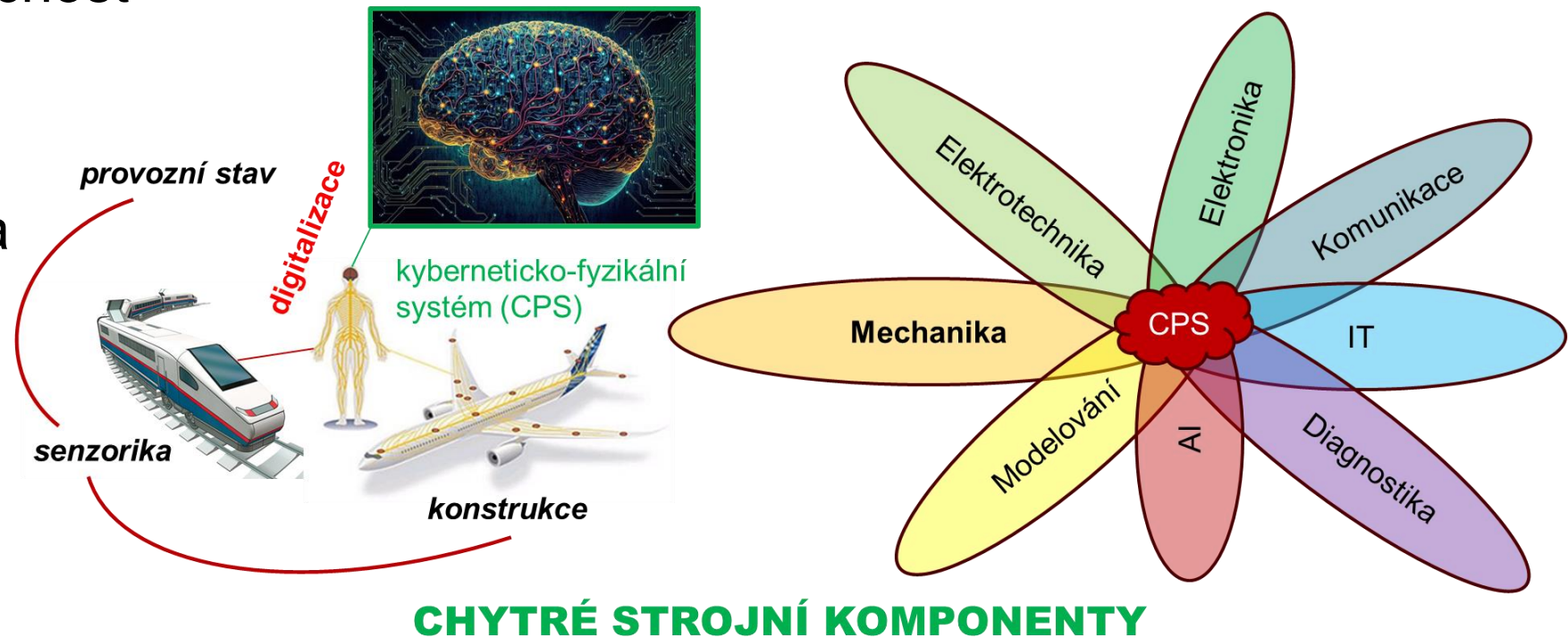
Schopnost používat metody a prostředky počítačové simulace.

Pravidla hodnocení a ukončení předmětu

- Písemná a ústní zkouška z obsahové náplně kurzu.
- Zápočet z průběžných projektů.
 - Výuka je kontrolována zpracováním projektu.

Současné a budoucí výzvy

- Digitalizace průmyslu/strojírenství/dopravní infrastruktury
- Chytré materiály a technologie
- IoT a kyberbezpečnost
- BIG DATA
- AI
- Prediktivní údržba
- ...



Simulace dynamických systémů (modelování)

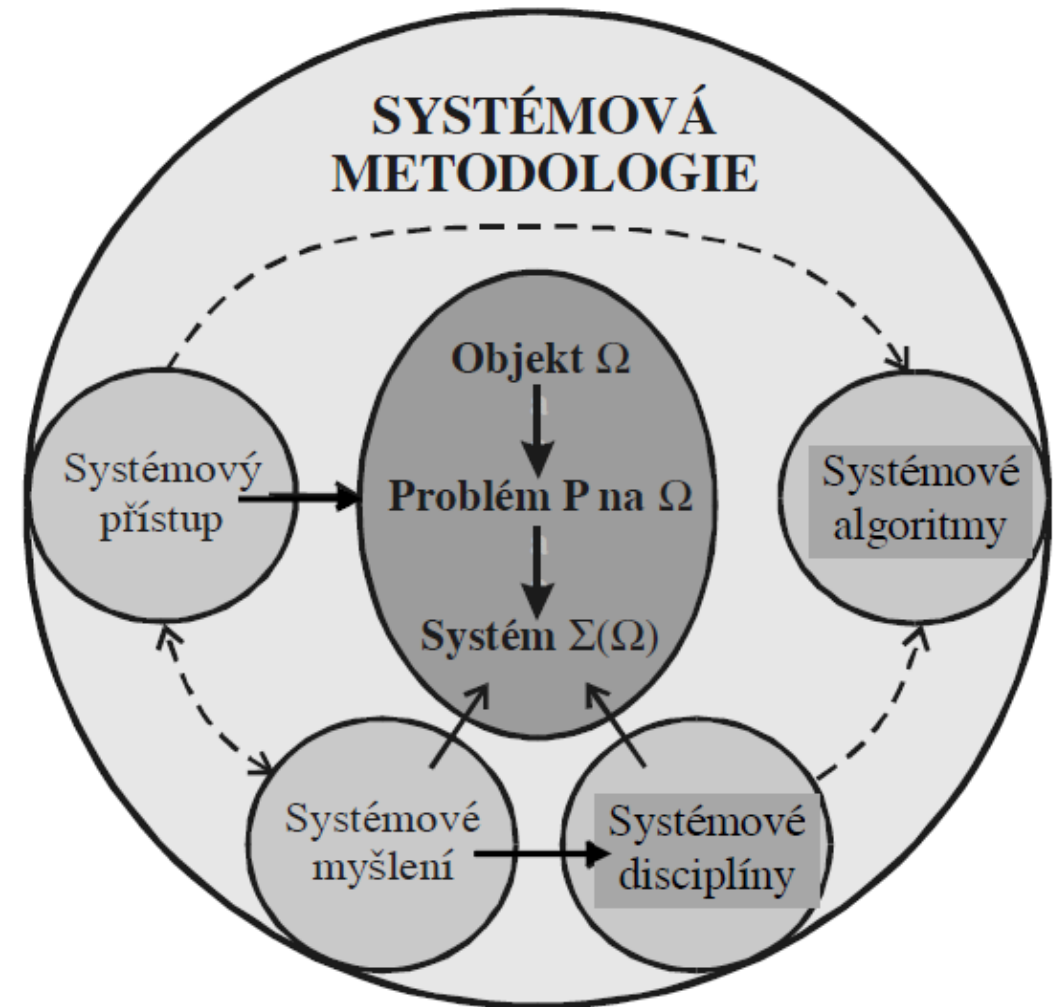
- Matematický model
- Simulační model
- Počítačový model
- Výpočtový model
- Virtuální prototyp/dvojče
- Virtuální zprovoznění
- Digitální stín
- Digitální dvojče
- SIL/HIL
- ...

Systemový přístup

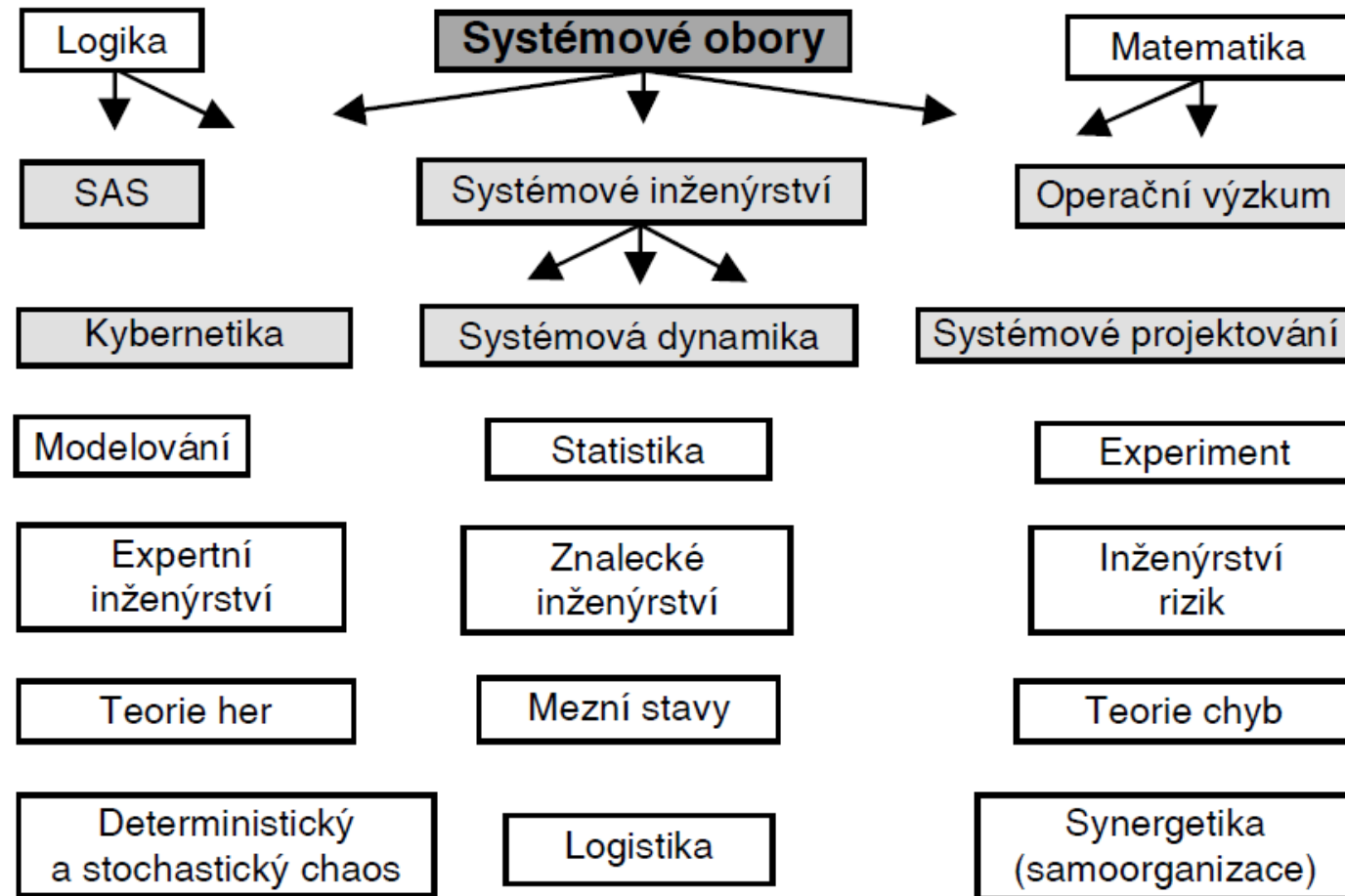
Teorie systémů je teoreticko-filozoficko-praktická vědní disciplína, která se komplexně a na obecné úrovni zabývá hledáním nadoborových přístupů, postupů, metod, teorií zákonů apod., podle nichž se chovají různorodé reálné i abstraktní soustavy.

Správné vymezení a formulace problému

Systemová analýza a syntéza



Nadoborový pohled ...



Pojmy systémové terminologie

- Entita, okolí entity, hranice entity
- Struktura a strukturovatelnost
- Rozlišitelnost rozlišovací úroveň
- Prvek entity, oddělování a uvolňování prvku z entity
- Vazba a interakce
- Systém a soustava

Procesy na entitě

- Aktivace entity
- Ovlivňování entity
- Proces na entitě a stav entity

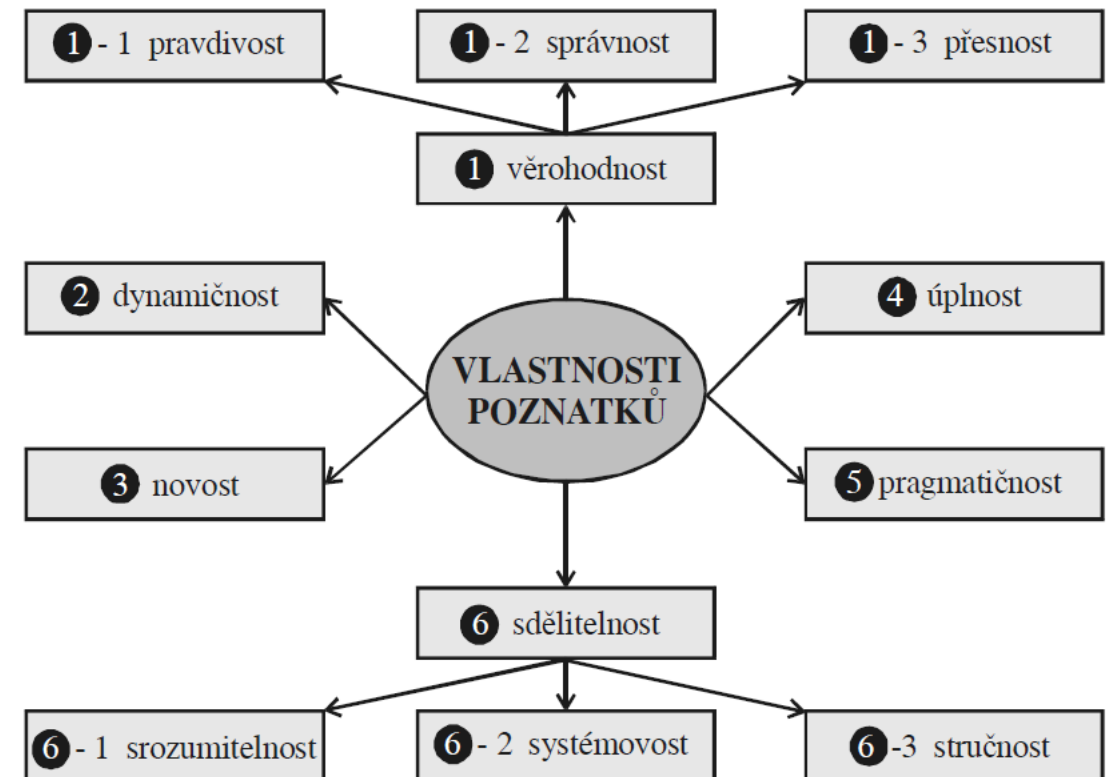
Proces je dynamický řetězec vzájemně propojených funkcí, zdrojů a činností, který zajišťuje cílové chování objektu tím, že přeměňuje vstupy do objektu na výstupy z objektu různými prostředky (stroje, nástroje, mechanismy, matematické teorie apod.).

Stav entity (soustavy) je množinou všech podstatných, oborově a problémově orientovaných vlastností entity (soustavy), které lze rozpoznat na struktuře entity (soustavy) za definovaných podmínek v daném časovém okamžiku a v daném prostoru.

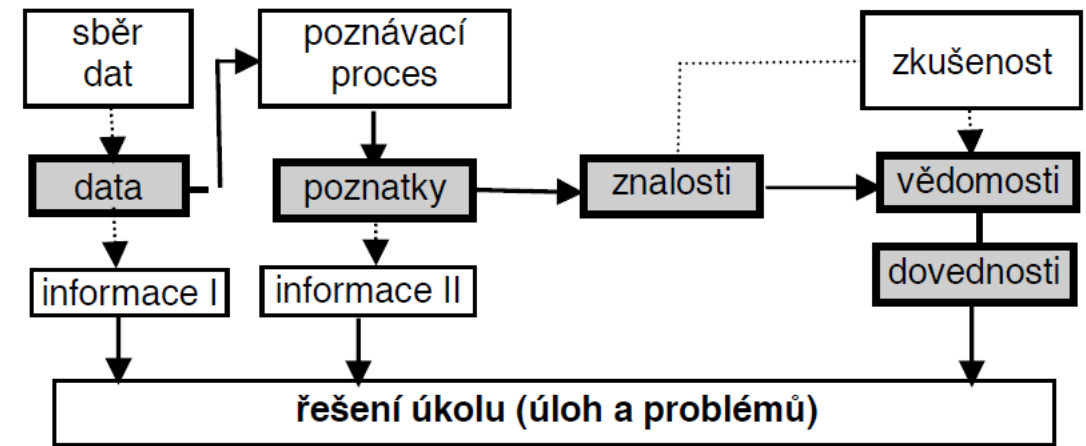
- Jev, projev a chování entity, důsledek
- Situace

Poznávání entity

- Vlastnosti a funkce entity
- Poznávací proces
- Poznatek
- Znalost
- Pojem: **poznání**



- Vědomosti a dovednosti
- Data
- Informace
- Informačně-dovednostní soustava
- Teorie, hypotéza – souvislosti
- Inženýrství, technika
- Věda a vědeckost
- Zákonitosti, zákon, náhoda
- Komplexnost, komplexita



Kvantifikace entit

- Veličina
- Chyba

Modelování

- Neurčitost, nejistota, vágnost
- Spolehlivost, životnost, bezpečnost (mezní stav)
- Nebezpečí, zdroj nebezpečí, riziko
- Deterministické a stochastické veličiny a procesy
- Deterministické a stochastické modely
- Deterministické a stochastické zákony

Podstata procesu modelování

Podstatou procesu modelování je transformace reálných objektů (strojů, technických soustav) do podoby fiktivních **abstraktních objektů** (elektromechanického modelu) **s idealizovanými vlastnostmi**.

Vlastnosti reálných objektů se těmito ideálními vlastnostmi jen více či méně **blíží**.

Tyto tzv. **ideální objekty** (např. hmotný bod, dokonale tuhé těleso, lineární pružina/potenciometr, ideální cívka atd.) nikde v realitě neexistují, ale fyzika, mechanika, elektrotechnika, automatizace a ostatní inženýrské vědy formulují své poznatky právě jen o těchto fiktivních abstraktních objektech.

Řešení problémů v systémovém pojetí

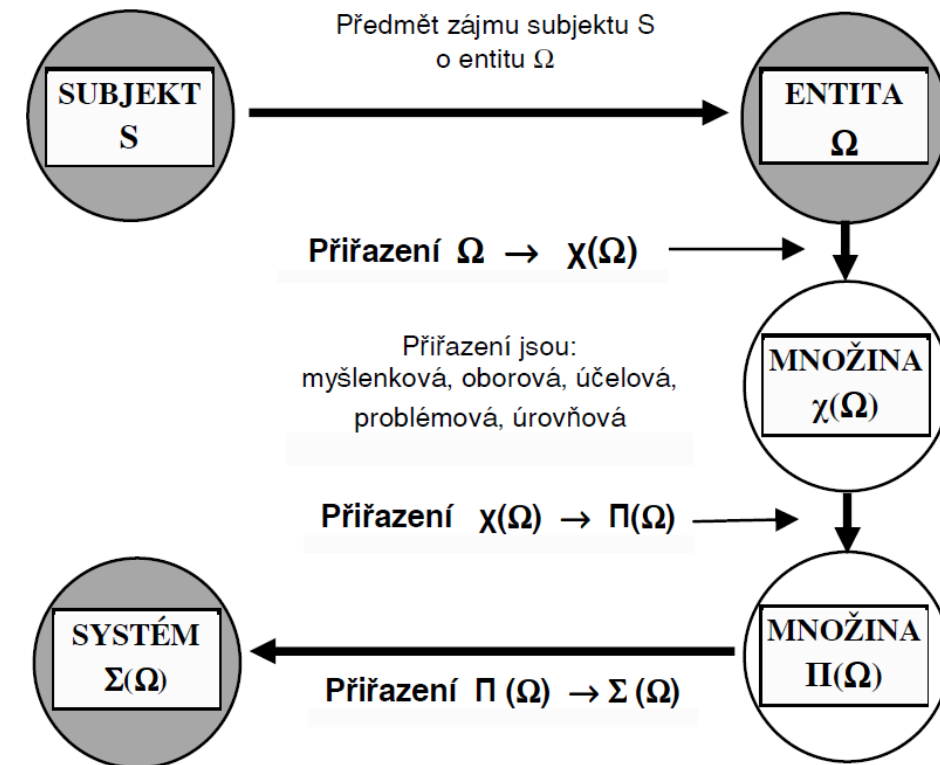
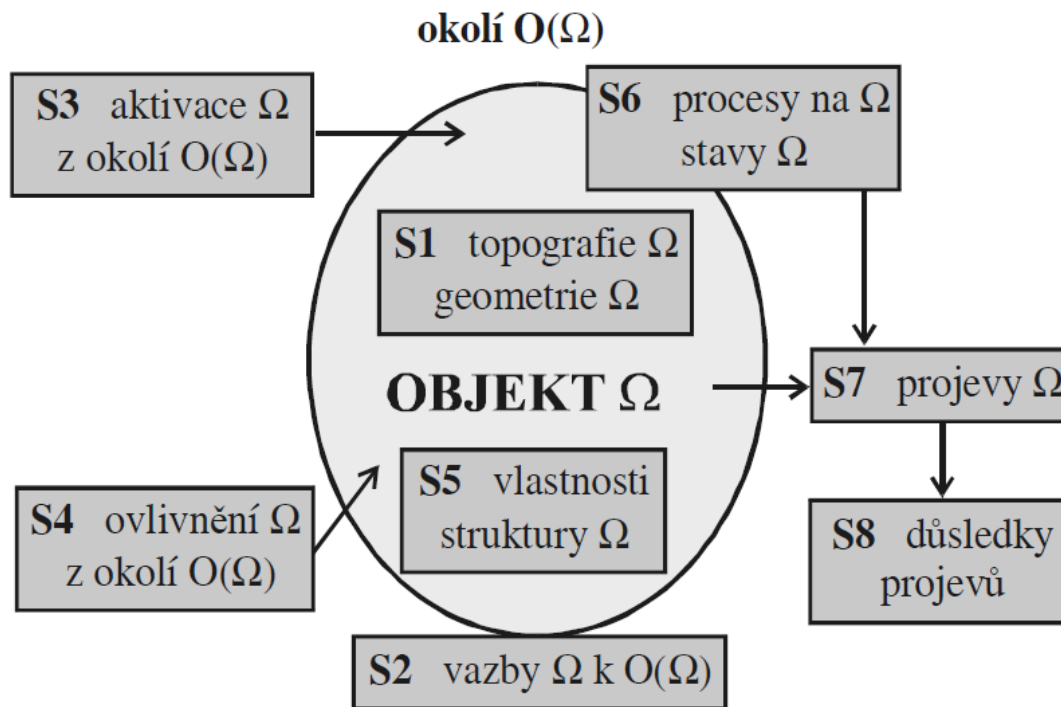
- Problémová situace, problém
- Pojmy: úkol, úloha, problém

Etapy v technickém životě technického objektu – problémy:

- Konstrukční (návrhový, výrobní, kontrolní),
- Poznávací, komerční, rekonstruktivní, inovační
- Monitorující, havarijní a likvidační

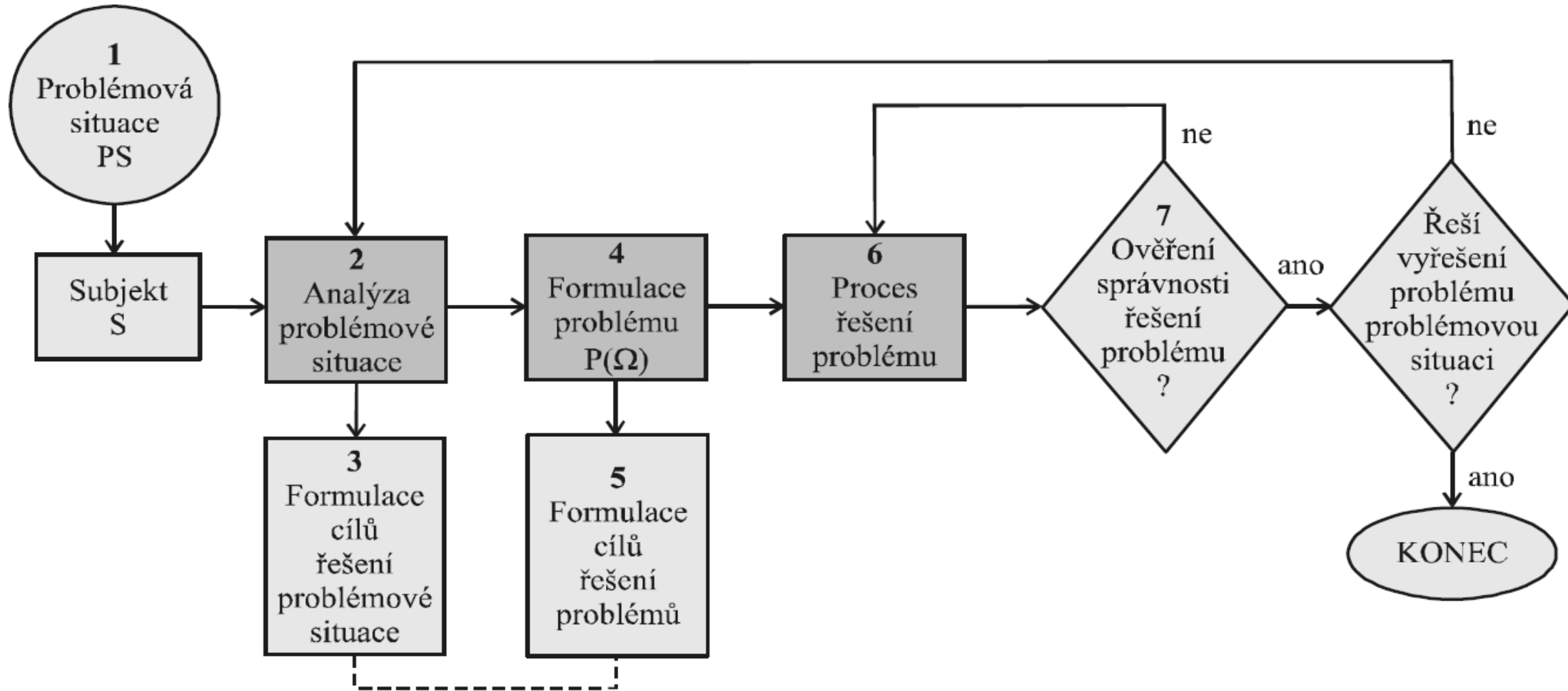
Jednotný scénář řešení problémů

- Vytváření systému podstatných veličin
- Podmnožiny systému veličin



- **Přímý a nepřímý problém**

Struktura procesu řešení problému



Rozpory v řešení problému

Překážky a bariéry v řešení problému

- Hledisko činností – překážky v náročnosti (čas a peníze)
- Hledisko systémových atributů – narazit na překážku či bariéru

Ve vysokoškolské výuce by mělo platit, že v jednotlivých předmětech by měli být posluchači seznamováni jak s existujícími přístupy, metodami a teoriemi, tak i s přehledem teoretických a experimentálních bariér, které se v daném oboru vyskytují.

- Problémově orientované vysokoškolské vzdělávání

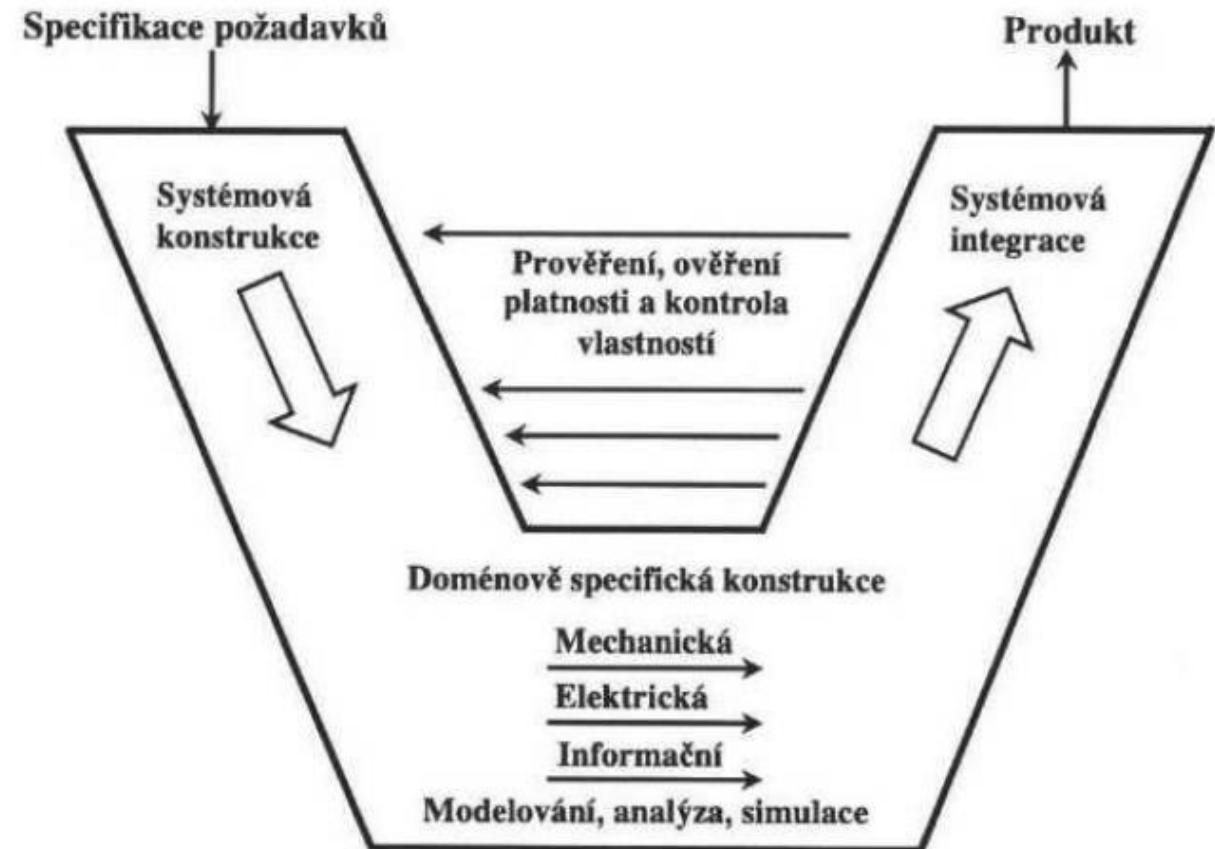
Systémové pojetí řešení konstrukčních problémů

Mechatronický přístup

Modelování

Simulační nástroje

Chování systému



Nejsme schopni cokoli tvrdit o **reálném stroji**, naše závěry se výlučně vztahují k **mechatronickému modelu složenému z ideálních objektů**.

Míra shody mezi vlastnostmi reálného objektu a jeho idealizovaného modelu je zásadní pro platnost závěrů inženýrských výpočtů a pro možnost použití inženýrských věd pro racionální práci inženýra.

Proto je modelování tak důležité pro každého inženýra.

Význam modelování stále roste díky **rostoucím možnostem použití počítačů** pro studium vlastností *idealizovaných modelů reálných objektů*.

Fáze modelování

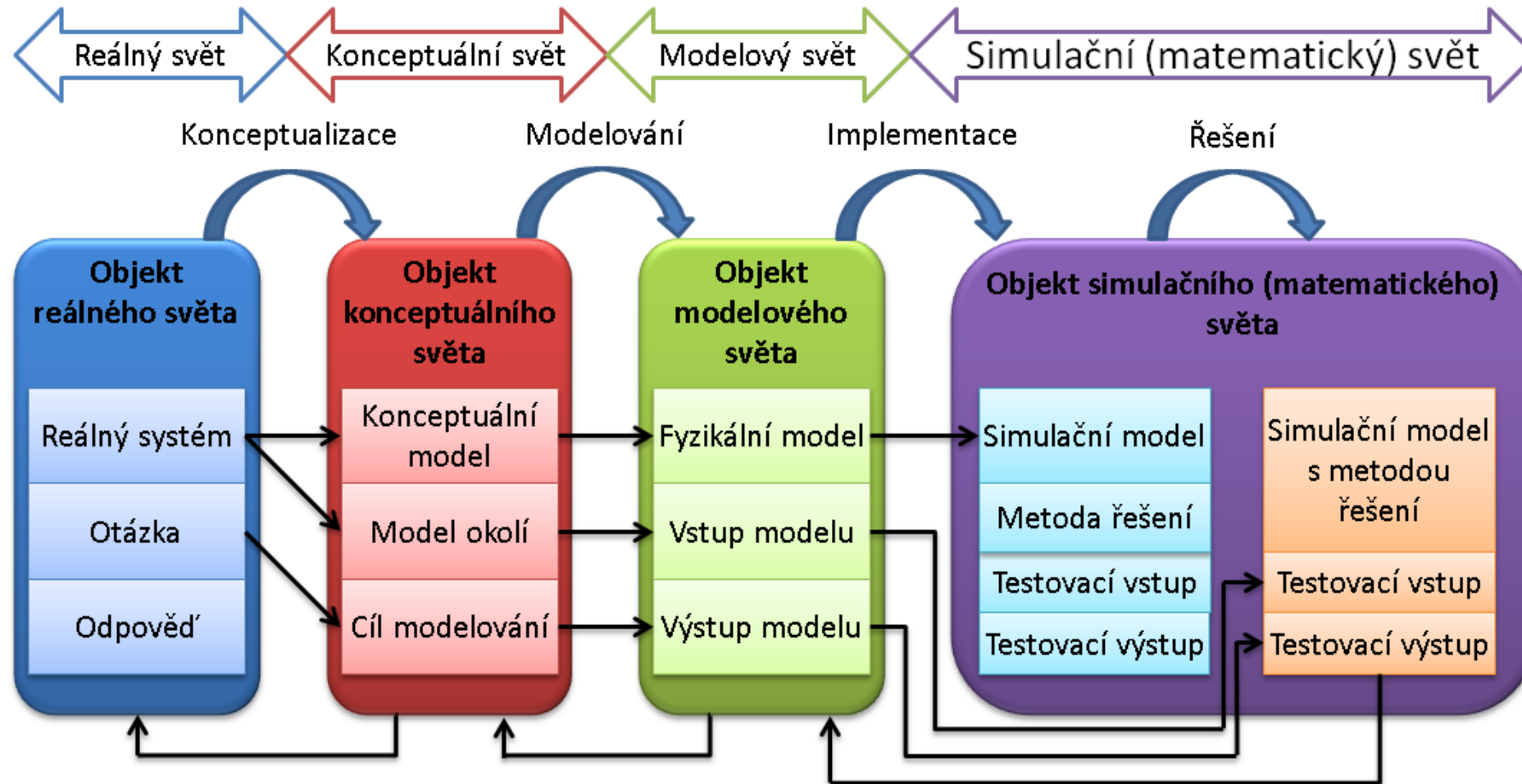
Transformace **reálného** objektu na **idealizovaný** model a řešení zkoumaného **problému**.

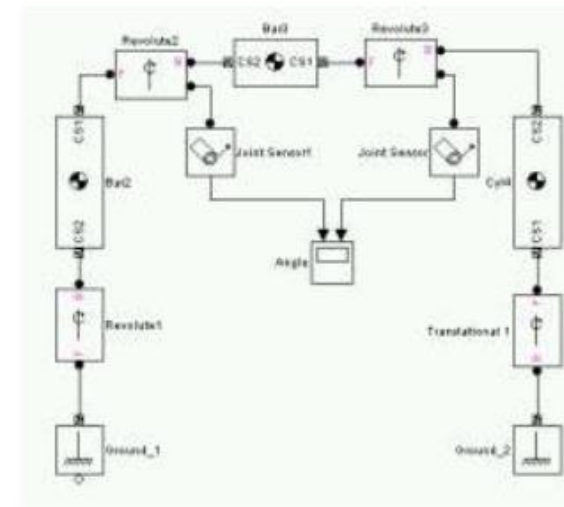
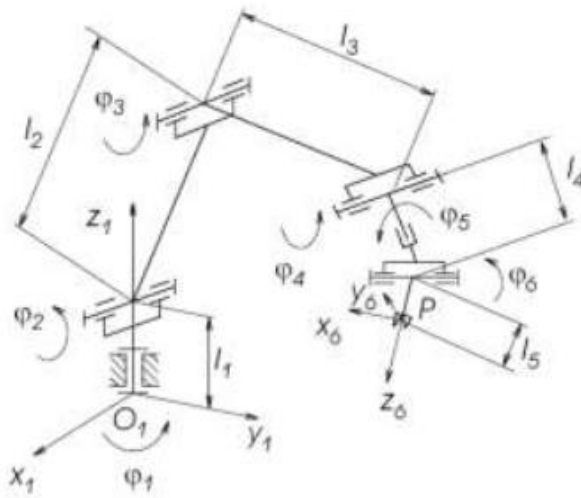
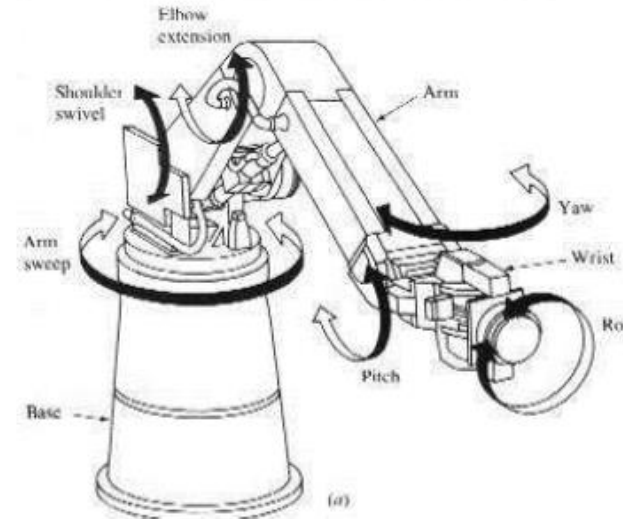
Model je základ jakéhokoliv návrhu a systému řízení mechatronické soustavy.

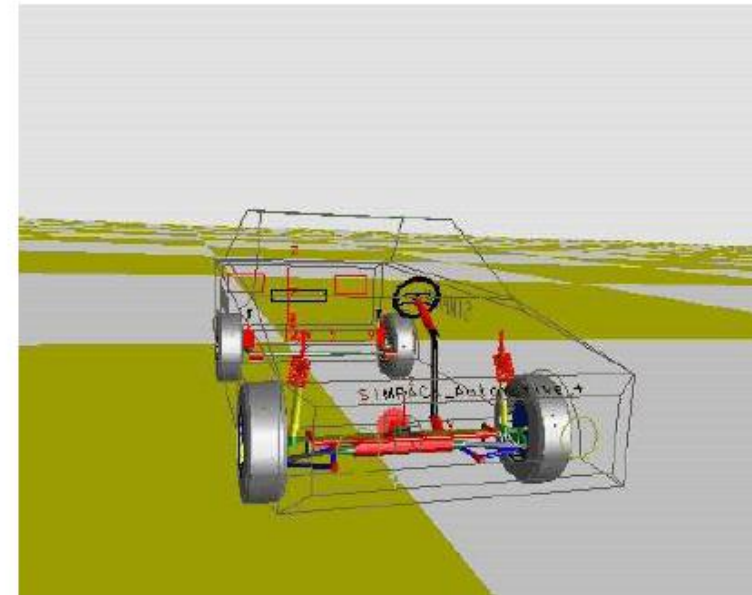
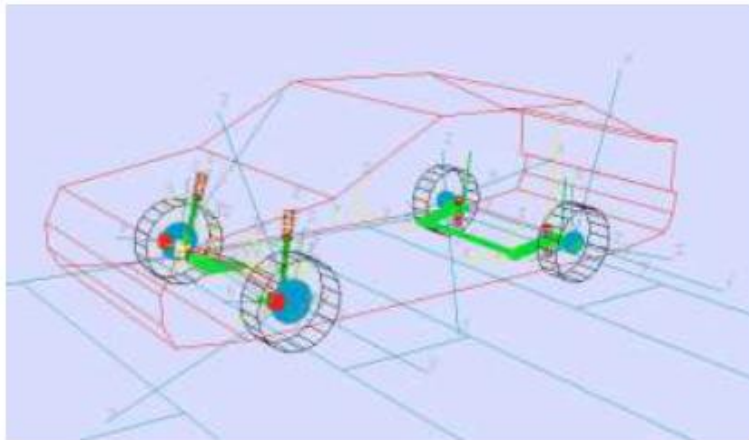
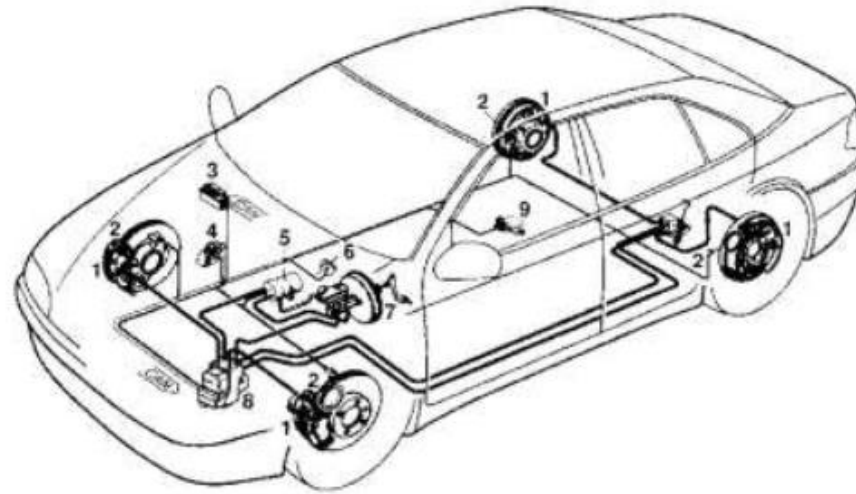
Modelování = vývojový proces mechatronického modelu

Mechatronický model je dále transformován na matematický a/nebo **simulační model** pro další zkoumání (analýza, simulace, syntéza, návrh řízení, systém řízení, kalibrace, diagnostika atd.).

Postup modelování







Ideální objekty

Základ modelování je transformace reálných objektů (strojů, technických systémů, např. robotických systémů) na fiktivní abstraktní objekty s idealizovanými vlastnostmi = tzv. **ideální objekty**

Ideální objekty – hmotný bod, tuhé těleso, lineární pružina, ideální plyn, elektrická kapacita

Věda umí formulovat teorémy jen o ideálních objektech, věda přímo nepředpovídá nic o reálných objektech

Vlastnosti reálných objektů jsou pouze do jistého rozsahu podobné vlastnostem ideálních objektů

Věda (inženýrský výpočet) je platná pro reálné objekty podle stupně shody vlastností reálného a **ideálního objektu (idealizovaný model)**

Proto je modelování absolutně základní pro každého inženýra. Modelování je základ každého řešení inženýrského problému. Důležitost modelování roste plynule s používáním počítačů.

Kroky vývoje simulačního modelu

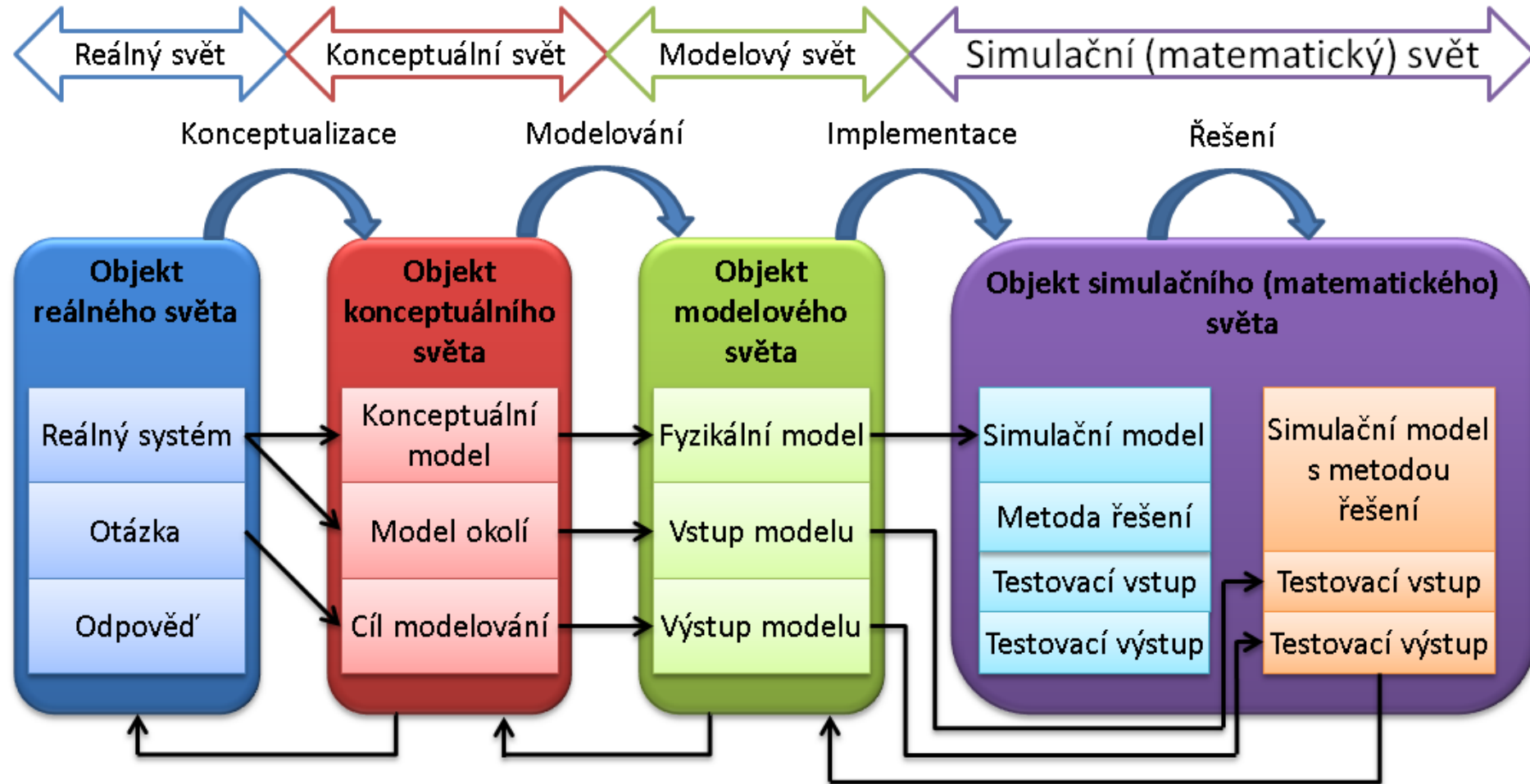
1) Analýza reálného objektu

Analýza

- *Reálného objektu*
- *Okolí*
 - Zkoumaný objekt vyšetřujeme v rámci jistého okolí **experimentálního rámce** (např. vnější tíhové pole, buzení automobilu nerovnostmi vozovky), v němž se soustředujeme na jeho chování, které nás zajímá.

Otázky --- > Odpovědi - **ŘEŠENÍ**

Postup modelování



2) Transformace – „konceptualizace“

reálného objektu na konceptuální objekt (3D CAD)

Hierarchický rozklad a popis systému a okolí na jednotlivé komponenty

- **AUTO** (podvozek, karoserie, motor, zavěšení kol, tlumiče, řízení, elektronika ... vozovka ...)

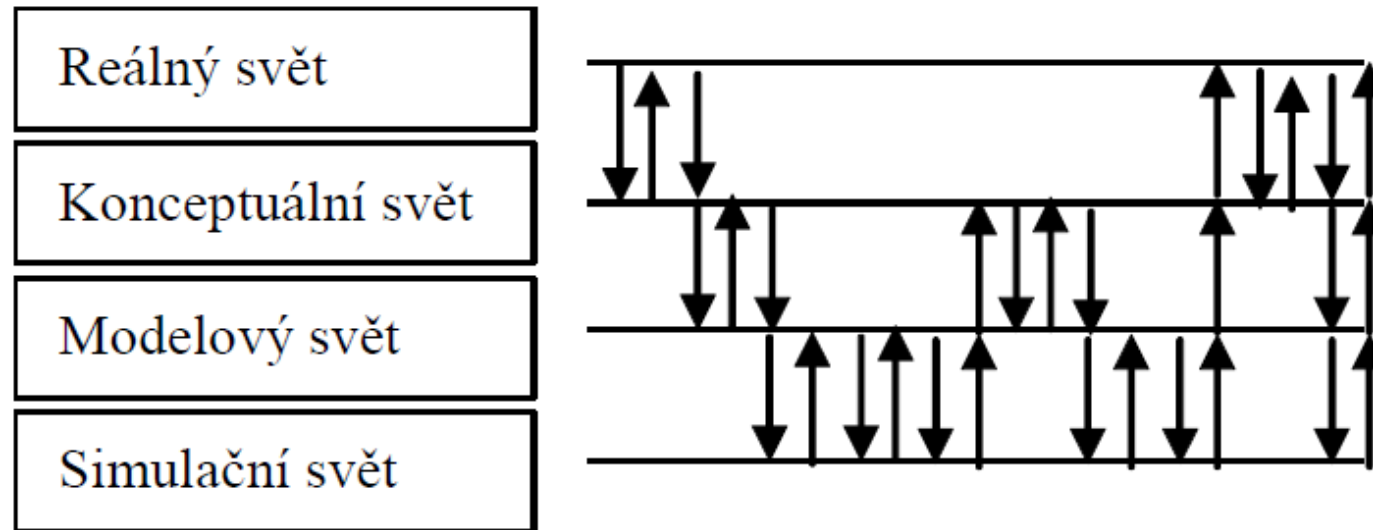
Popis funkce (fyzikální interakce)

Přijímáme předpoklady, které vedou ke **zjednodušení reality** do následného **idealizovaného modelu**.

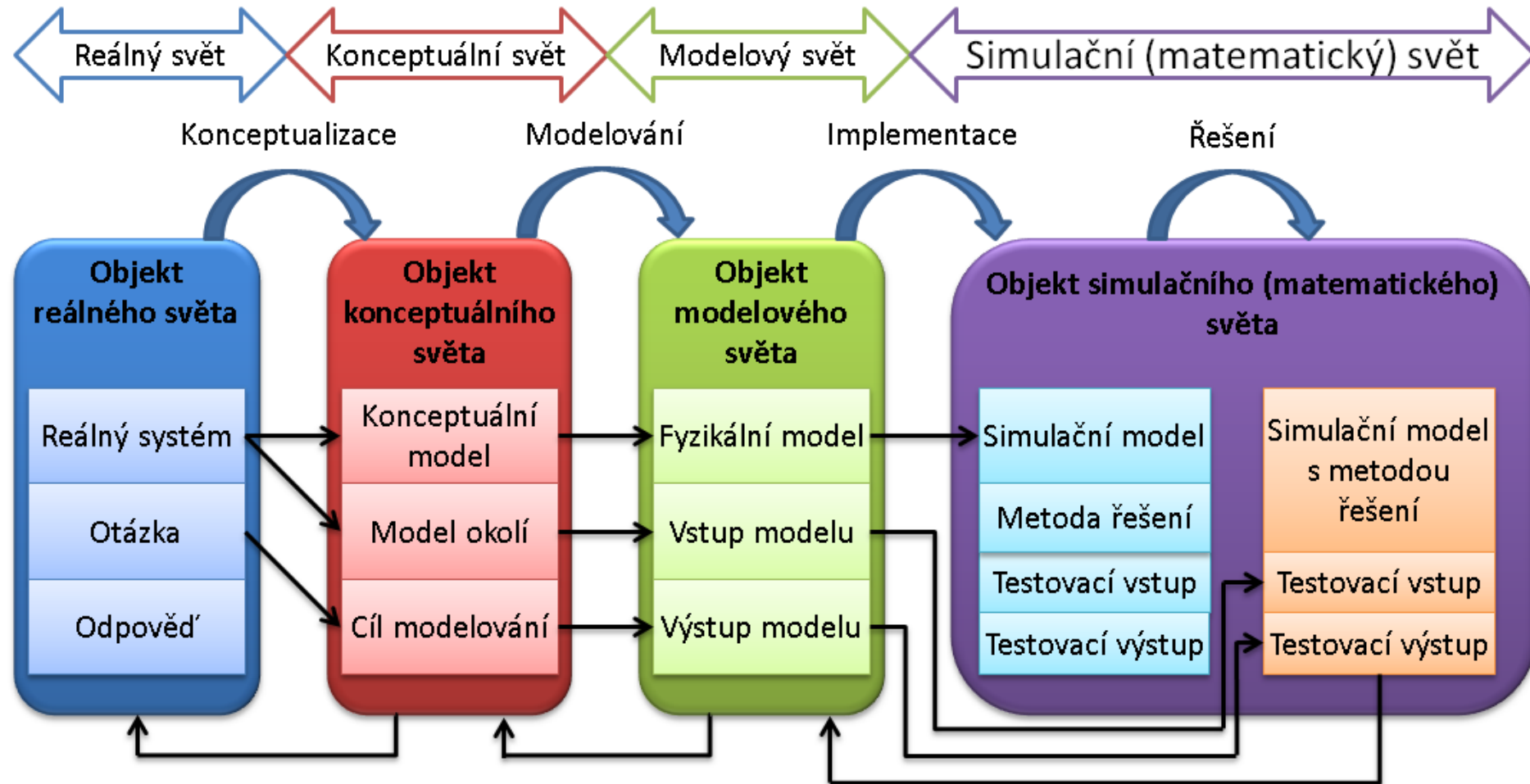
Reálný svět - >

KONCEPTUÁLNÍ MODEL + MODEL OKOLÍ

Modelování – iterační proces



Postup modelování



3) Fyzikální (Výpočtový) model

Transformace *konceptuálního objektu na fyzikální model* (*ideální objekty*)

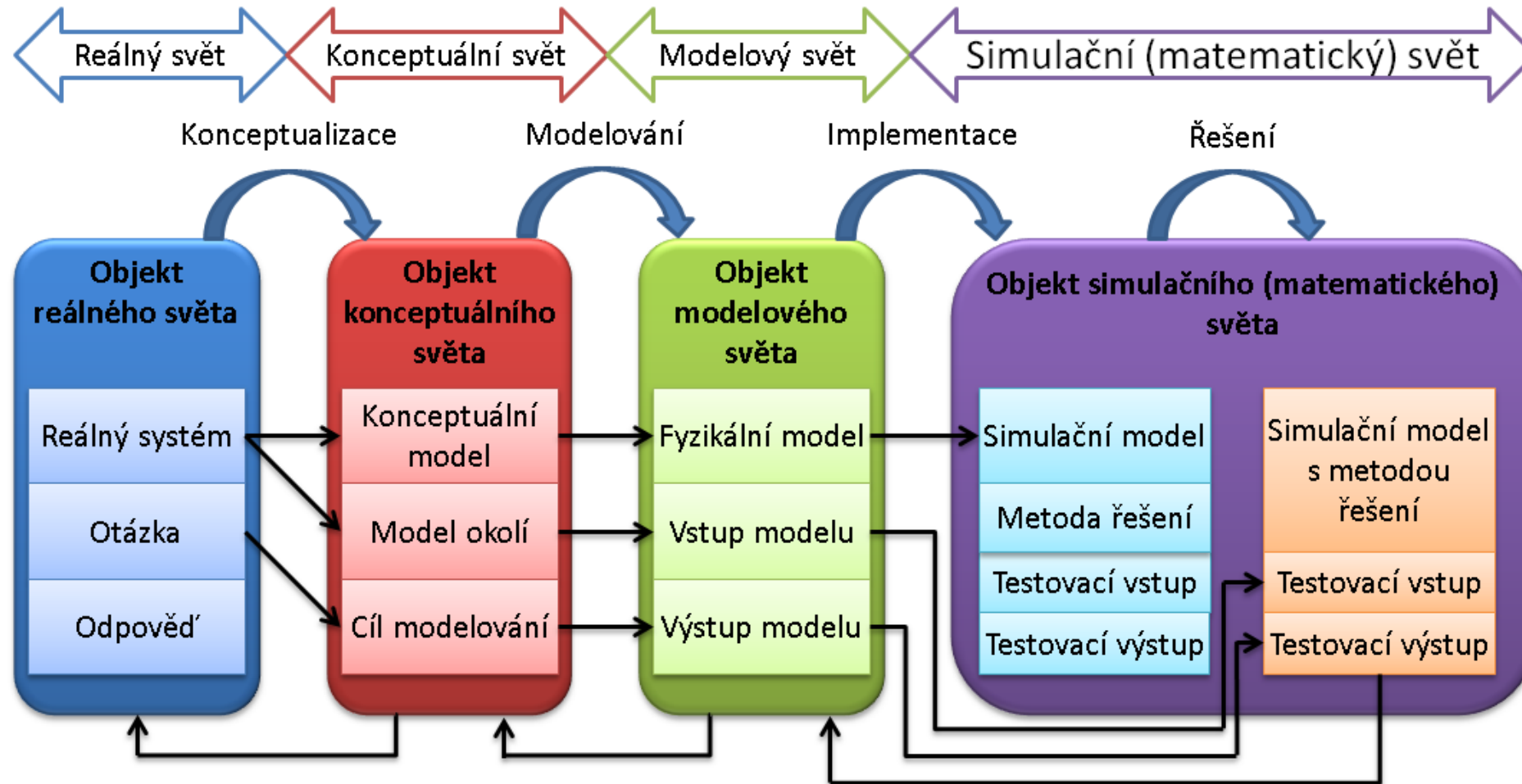
Idealizovaný model soustavy a okolí, který je předmětem zkoumání inženýrských věd (mechanický model atd. ...)

Systém je složitý jen tak jak je to **nezbytné** pro daný účel (položenou otázku na reálný objekt).

Modelování je otázka **ekonomická a manažerská!!!**

- Před modelováním se musí zvážit okolnosti, zda je účelné modelovat něco podrobně!
 - Zvýšení času stavění modelu
 - Zvýšení výpočetní náročnosti

Postup modelování



4) Matematický model

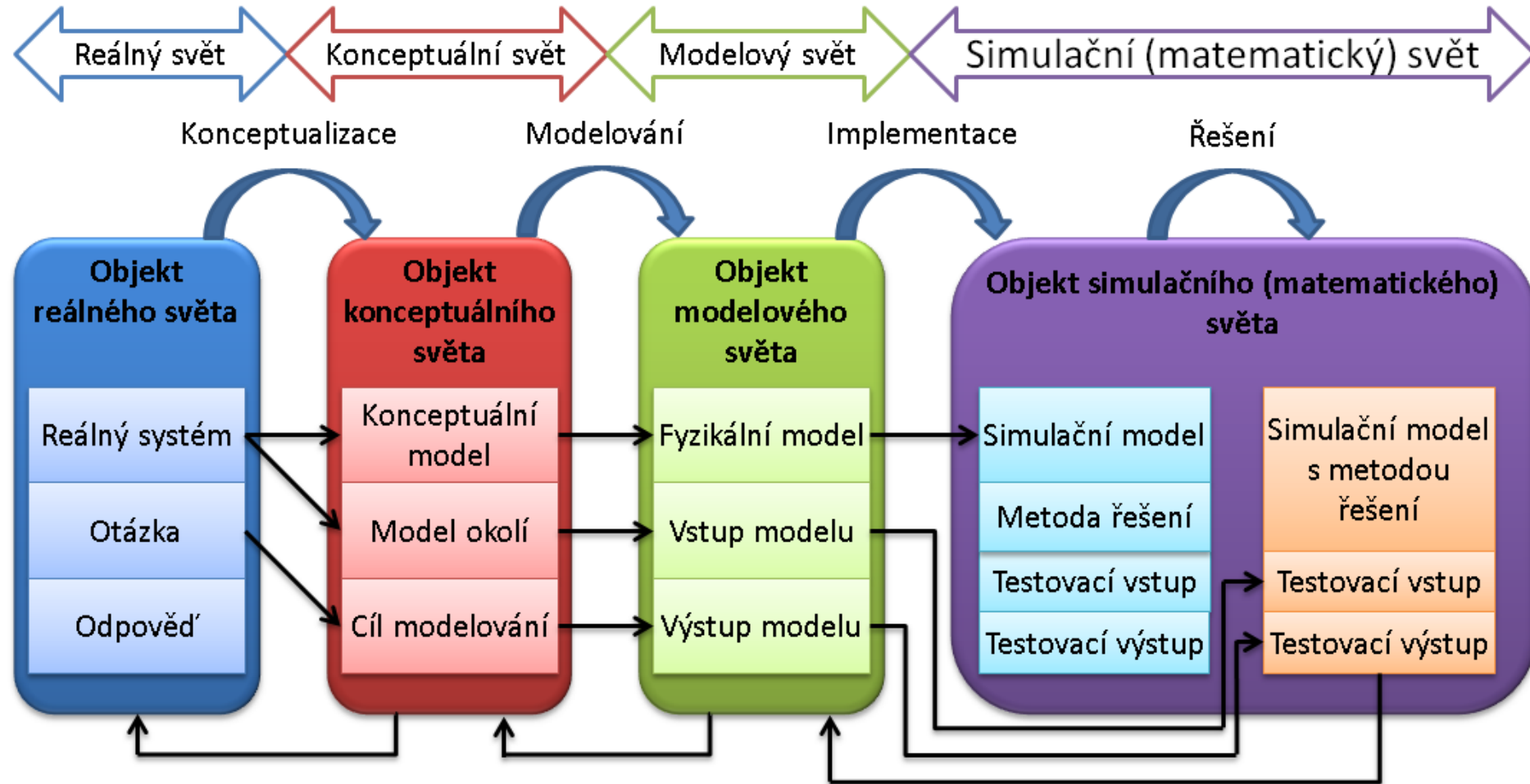
Pro ideální model platí zákony a principy

(mechaniky, elektrotechniky, řízení ...)

a jejich užitím popíšeme chování modelu matematicky.

Současně s modelem jsou **matematicky popsány** i **vstupy** modelu a zkoumané **výstupy** modelu.

Postup modelování



5) Řešení

Výběr vhodné **metody řešení** matematického modelu a jeho **řešitelnost** pro vstupy modelující působení okolí na zkoumaný objekt.

Jsou vyšetřeny výstupy modelu popisující odpověď na položenou otázku. Řešení matematického modelu **musíme interpretovat pro formulaci odpovědi na otázku** položenou o reálném objektu.

Formulace odpovědi je součástí širší **diskuse výsledků**, která musí alespoň v tomto kroku proběhnout!!!

Jejím obsahem je **posouzení, zda vytvořený model a výsledky jeho řešení splňují všechny předpoklady**, které byly při jeho postupném vytváření formulovány.

Při diskusi výsledků je důležité si uvědomit, že jsme **řešili model** (nikoli reálnou situaci) a **nelze očekávat, že by se reálná soustava chovala přesně podle vypočtených výsledků**.

SIMULAČNÍ MODELOVÁNÍ

náplň 4.) a 5.) kroku je TRADIČNÍM ŘEŠENÍM.

V současné době se většinou podstatná část těchto kroků realizuje na počítači použitím simulačních a dalších programů.

V ideálním případě je 4.) krok proveden implementací elektro-mechanického modelu v **simulačním programu**, který jako své základní stavební prvky obsahuje přímo **ekvivalenty ideálních objektů**.

V takovém případě je sestavení matematického modelu **řešeno a automatizováno počítačem**.

O to více však většinou **musíme ověřovat správnost** takové implementace!!!

POČÍTAČOVÝ EXPERIMENT

Implementace simulačního modelu se ověřuje působením **testovacích vstupů**, u nichž jsme schopni posoudit, zda chování vytvořeného simulačního modelu **odpovídá přijatým předpokladům** a tedy **realitě**.

Takto **odladěný simulační model** použijeme na řešení problému formulovaného v otázce na vlastnosti a chování reálné mechatronické soustavy.

Mluvíme o tom, že provedeme (výpočtový) **počítačový experiment**.

UPOZORNĚNÍ:

Míra shody reality a počítačového experimentu záleží na míře **zjednodušení** a **zachování podstatných vlastností!!!**

Odhad co **je** a co **není podstatné** pro modelování???

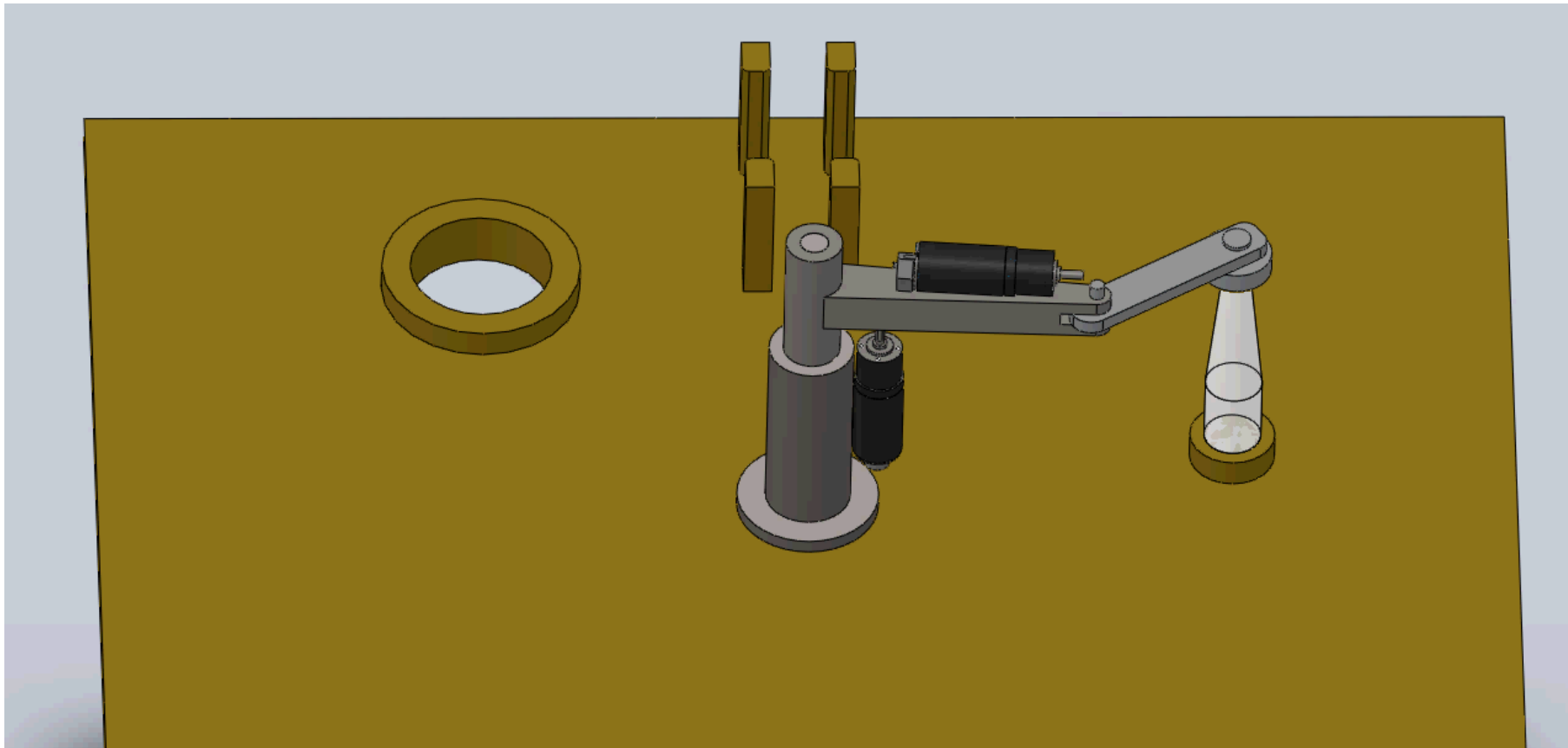
- Využijeme všechny ***naše***

poznatky z inženýrských věd!!!

Ilustrační případ - Entita: Scara robot



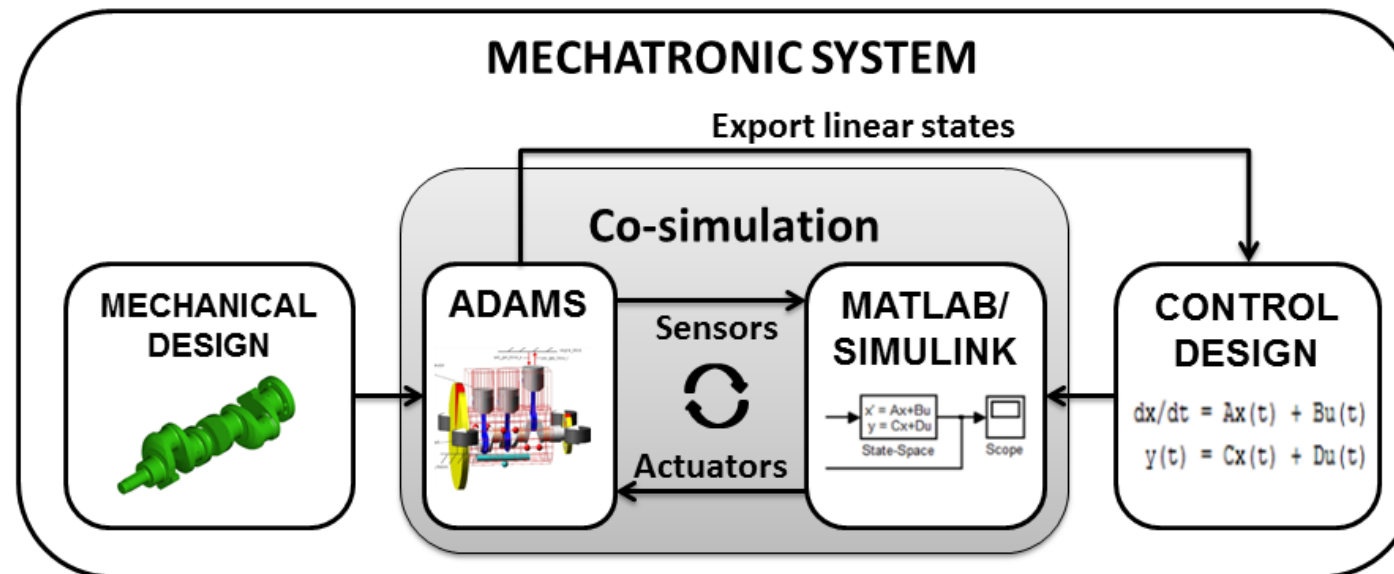
Model Based Design



Co-simulation of mechatronic system

Generally the mechatronic system consists of a mechanical system, actuators, sensors, control systems and a user interface. A mechanical design of the mechanical system is designed and assembled in some 3D CAD software. This assembly of the mechanical system is imported to ADAMS environment.

The ADAMS model can be used for a control design or the control design is developed in SIMULINK environment directly. State variables of the ADAMS model are connected with the control system in SIMULINK and the whole virtual prototype is tested. This system, which is based on co-simulation techniques.





Děkujeme za pozornost

