

Modelování: obecné principy

Radek Pelánek

Přirovnání...

... learning about modeling is a lot like learning about sex:
despite its importance, most people do not want to discuss it,
and no matter how much you read about it, it just doesn't
seem the same when you actually get around to doing it.
(J. H. Miller, S. E. Page, Complex adaptive systems)

Model

model = zjednodušená reprezentace skutečnosti

Modelování: Ústřední myšlenka

Všechny modely jsou špatně.
Některé modely jsou užitečné.

(Připisováno autorům: George Box, Edwards Deming)

Všechny modely jsou špatně ...

model:

- **vždy** zjednodušením, abstrakcí reality
(jinak by to nebyl model)
 - **nikdy** nemůže být úplně dobře, vždy se něčím od reality liší

Myšlenky o modelování

... Některé modely jsou užitečné.

- **užitečnost** díky zjednodušení
 - *Umění je lež, která nám pomáhá uvědomit si pravdu.*
(Picasso)
 - Model je lež, která nám pomáhá pochopit realitu.
- jen **některé** modely jsou užitečné

Myšlenky o modelování

Příklad: Mapa



Myšlenky o modelování

Příklad: Mapa

- mapa = model prostoru
- **špatně** – neobsahuje všechny detaily, dochází u ní ke zkreslením, ...
- **užitečná**:
 - pochopení reality: mapa jako výuková pomůcka
 - plánování akcí: kterou cestou se mám vydat
 - usnadnění komunikace, sdílení myšlenek
- (ne každá mapa je užitečná)

Myšlenky o modelování

Příklady modelů

Zkuste vymyslet co nejvíce rozmanitých typů modelů.

Myšlenky o modelování

Příklady modelů

- matematické a výpočetní modely
- fyzické modely (dopravní prostředky, stavby, ...)
- mapy, plány, návrhy
- fyzikální zákony
- karikatury
- hry (v přírodě, deskové, počítačové)
- metafory, analogie, mentální strategie
- příběhy

Myšlenky o modelování

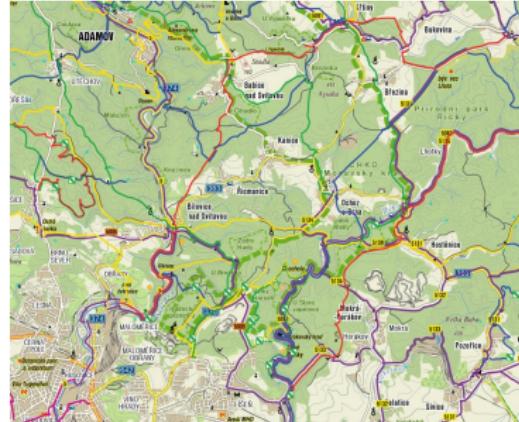
Jednoduchost

Hledej jednoduchost a nevěř jí. (A. N. Whitehead)

Všechno by mělo být tak jednoduché, jak je to jen možné, ale ne jednoduší. (A. Einstein)

Myšlenky o modelování

Political Map of Europe



Myšlenky o modelování

Zaměření, účel

Nemodelovat systém. Modelovat problém.

- aby mohl být model dobrý, musí mít **účel**
- kritérium hodnocení modelů: užitečnost (pro daný účel), nikoliv míra reálnosti
- mapy:
 - automapy, cyklomapy, turistické mapy, vodácké mapy
 - „univerzální mapa“ = nesmysl; byla by k ničemu
- příklad projektu: menzy

Myšlenky o modelování

Model a realita

Neplést si prst ukazující na měsíc s měsícem samotným.

- nezaměňovat model a realitu
- zdánlivě triviální fakt, zdrojem mnohých problémů a nedorozumění
 - na horách: na mapě nejsou bouřky
 - v politice: HDP
 - v ekonomii: finanční deriváty, modely, krize
 - ve výzkumu

Myšlenky o modelování

Myšlení jako modelování

- myšlení – (podvědomé) použití mentálních modelů
- v hlavě nemáme realitu, ale její (velmi zjednodušený) model
- rozhodnutí – „analýzy“, „simulace“ mentálních modelů

Myšlenky o modelování

Nezbytnost použití modelů

Otázka není, jestli budeme používat modely.

Otázka je, jaké modely budeme používat.

Myšlenky o modelování

Vyhodnocení užitečnosti modelů

modely:

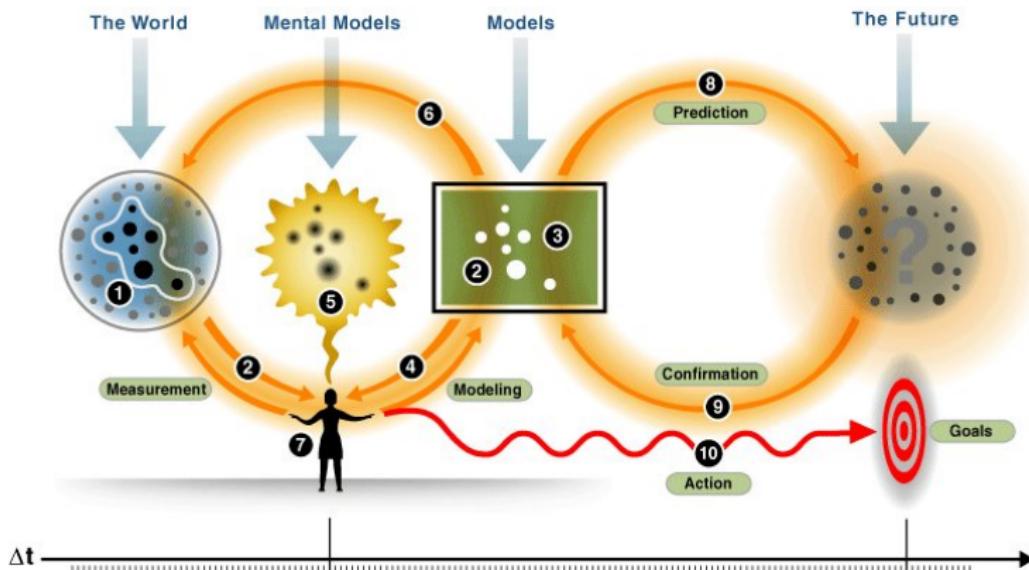
- srovnávat s jinými **modely**, ne s **realitou**
- vyhodnocovat vzhledem k danému **účelu**

Myšlenky o modelování

Modelování jako umění

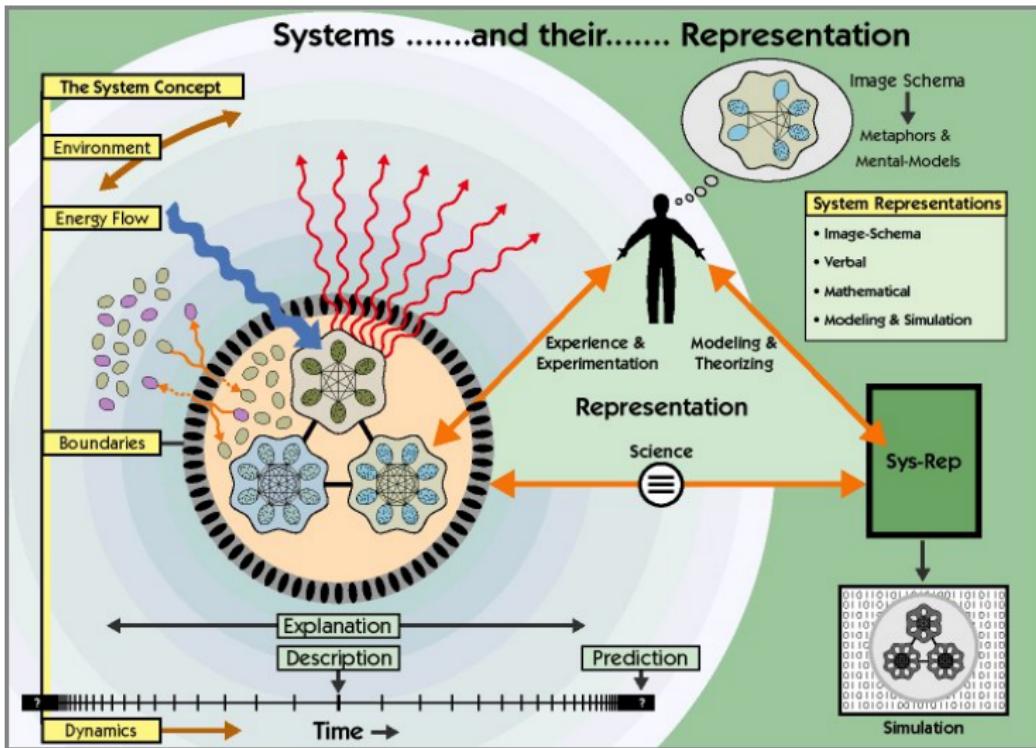
- ve většině případů není modelování exaktně daný postup
- modelování je kreativní
- hodnocení modelů je často subjektivní

Myšlenky o modelování



<https://necsi.edu/visualizing-complex-systems-science>

Systemsand their..... Representation



<https://necsi.edu/visualizing-complex-systems-science>

Role počítačů

Výpočetní modely

- model = matematický zápis (např. soustava rovnic) nebo program
- simulace = chování modelu = řešení rovnic, spuštění programu
- **abstraktní** – pouze symbolické entity (čísla, řetězce někde v paměti), srovnej fyzické modely
- **konkrétní** – počítač je velmi tupý ... nutný přesný zápis instrukcí, srovnej mentální modely

Role počítačů

Využití počítačů pro analýzu

- výpočetní modely – lze uvažovat i bez počítače
- simulace tužka & papír
- (výkonné) počítače prakticky nezbytné
- většina probíraných modelů:
 - jednoduché principy
 - mnoho interagujících prvků nebo iterací
 - ⇒ zkoumány až od 90. let 20. století

Simulace

Účel výpočetních modelů a simulací

Zkuste vymyslet co nejvíce různých příkladů použití výpočetních modelů a simulací.

K čemu to může být?

Účel výpočetních modelů a simulací

- ① porozumění, objevování, formalizace a testování hypotéz
 - organizace mraveniště, dynamika sociální skupiny, fungování buňky

Simulace

Účel výpočetních modelů a simulací

- ① porozumění, objevování, formalizace a testování hypotéz
 - organizace mraveniště, dynamika sociální skupiny, fungování buňky
- ② předpovídání
 - počasí, odhad spotřeby, vývoj cen, doprava

Účel výpočetních modelů a simulací

- ① porozumění, objevování, formalizace a testování hypotéz
 - organizace mraveniště, dynamika sociální skupiny, fungování buňky
- ② předpovídání
 - počasí, odhad spotřeby, vývoj cen, doprava
- ③ návrh systémů, zkoušení zásahů do systému „na nečisto“
 - technické obory

Účel výpočetních modelů a simulací

- ① porozumění, objevování, formalizace a testování hypotéz
 - organizace mraveniště, dynamika sociální skupiny, fungování buňky
- ② předpovídání
 - počasí, odhad spotřeby, vývoj cen, doprava
- ③ návrh systémů, zkoušení zásahů do systému „na nečisto“
 - technické obory
- ④ učení, trénink, zábava
 - výuka, letecké simulátory, SimCity

Simulace

Simulace jako třetí cesta vědy

Teorie Dedukce	Simulace	Experiment Indukce
modely	modely	realita
malé problémy	středně velké	velké systémy
exaktní	zejména popisné	popisné

Simulace

Srovnání matematických a výpočetních modelů

Je daleko lepší mít přibližnou odpověď na správnou otázku než přesnou odpověď na špatnou otázku. (J. W. Tukey)

Srovnání matematických a výpočetních modelů

	matematické modely	výpočetní modely
předmět zájmu	rovnováha	dynamika
přesnost výsledků	vysoká	podle okolností
flexibilita modelů	nízká	vysoká
počet částí	1, 2, ∞	středně velký
struktura	fixní	proměnlivá
heterogenita	nízká	vysoká
centralizace	vysoká	nízká

příklad: trh

Simulace

Výpočetní vs. statistické modely

(obzvláště zjednodušeně)

- výpočetní modely – modelujeme „procesy“
- statistické modely (strojové učení) – modelujeme „výsledky“

Výpočetní vs. statistické modely

(obzvláště zjednodušeně)

- výpočetní modely – modelujeme „procesy“
- statistické modely (strojové učení) – modelujeme „výsledky“

příklad – výukové systémy:

- výpočetní modely: modelujeme, jak student uvažuje při řešení problému
- statistický model: predikujeme šanci na úspěch na základě historických dat

Základní fáze modelování

- ① Formulace problému
- ② Základní návrh modelu
- ③ Budování modelu
- ④ Verifikace a validace
- ⑤ Simulace a analýza
- ⑥ Sumarizace výsledků

Modelování je iterativní proces.

Příklad na rozmyšlení: Sudoku

Modelování, jak lidé řeší Sudoku. Jak postupovat?

7	5		9	3			6
			4	5			3
		6	2		9	8	
		1	5			2	3
		9		1		7	5
	3			8	4		
9			6	1	5	7	

Fáze modelování

Formulace problému

- Nemodelovat systém. Modelovat problém.
- referenční vzor chování – co se snažíme modelem zachytit (nejlépe i numericky)
- zvolit časový horizont

příklady: klima, Sudoku obtížnost, ropa

Fáze modelování

Základní návrh modelu

- výběr základního modelovacího přístupu
- udržovat model co **nejjednoduší**
- určit **okraje modelu**, tj. výběr toho, co budeme modelovat;
okraje extenzivní (do šíře), intenzivní (do hloubky)
- **hlavní prvky modelu**, subsystémy a vztahy mezi nimi
- **kvalitativní** vztahy, nikoliv kvantitativní

příklady: klima, Sudoku

Fáze modelování

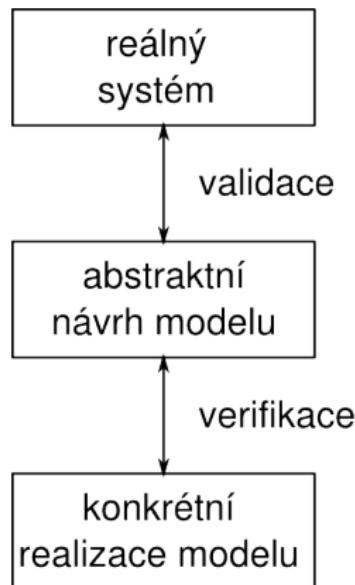
Budování modelu

- **reprezentace** klíčových prvků
- **uzavřít model** – doplnit chybějící části modelu, okolí
- **hodnoty** parametrů (podle pozorování, statistických měření, odhadu)
- doplňujeme **kvantitativní** informace, budujeme simulační model

příklady: klima, Sudoku

Fáze modelování

Verifikace a validace



Fáze modelování

Verifikace a validace modelu: otázky

- Reprodukuje model chování reálného systému?
- Chová se model realisticky při extrémních podmínkách?
- Odpovídá struktura modelu struktuře reálného systému?
- Jsou jednotky konzistentní?

Fáze modelování

Simulace a analýza

- spustit model, pozorovat, opravovat
- experimentovat s parametry
- analyzovat model
- zkoušet zásahy do systému a vyhodnocovat jejich efekt
- často iterativní návrat do předchozích fází



Fáze modelování

Ukázky výstupů analýz

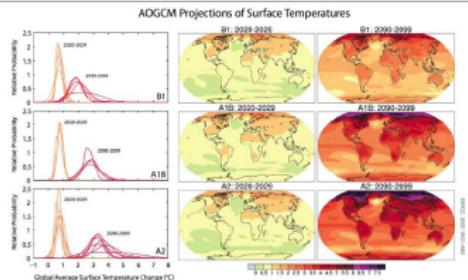
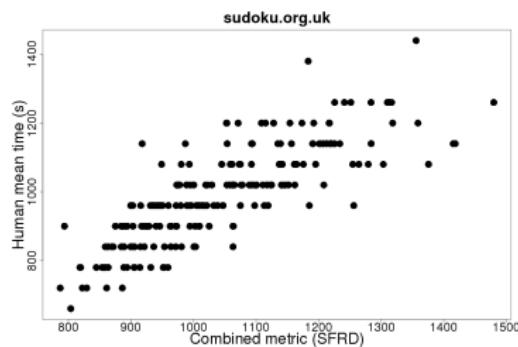


FIGURE SPM-6. Projected surface temperature changes for the early and late 21st century relative to the period 1980–1999. The central and right panels show the Atmosphere-Ocean General Circulation multi-Model average projections for the B1 (top), A1B (middle) and A2 (bottom) SRES scenarios averaged over decades 2020–2029 (center) and 2090–2099 (right). The left panels show the corresponding histograms of the range of projected global average warming from several different AOGCM and EMICs studies for the same periods. Some studies present results only for a subset of the SRES scenarios, or for various model versions. Therefore the difference in the number of curves, shown in the left-hand panels, is due only to differences in the availability of results. (Figures 10.8 and 10.28)



Fáze modelování

Sumarizace výsledků

studium výsledků, pokus o formulaci odpovědi

Otázky:

- Podařilo se najít odpověď na původní problém?
- Plynou z modelování a simulace nějaké závěry/poučení? Jaké?
- Je potřeba model rozšířit? Proč? Jak by to bylo možné?

Fáze modelování

Shrnutí

- Otázka není, jestli budeme modely používat. Otázka je, jaké modely budeme používat.
- Všechny modely jsou špatně. Některé modely jsou užitečné.
- Nemodelovat systém. Modelovat problém.