

# Metody analýzy modelů

Radek Pelánek

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



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Fáze modelování

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

# Simulace a analýza

- klíčová součást modelování
- především otázka praxe – důležitá část projektu
- přednáška – stručné poznámky:
  - analýza citlivosti
  - vizualizace běhu modelu, výsledků simulací

# Poznámky k projektům

- analýza modelu je klíčová součást projektu
- raději jednodušší model s dobrou analýzou než komplikovanější model s povrchní analýzou
- častá chyba – „ověřování hypotéz“

# Analýzy, hypotézy, předpoklady

- analýza modelu není ověřování hypotéz
- ověřování hypotéz – typicky skrz randomizované experimenty
- modelování
  - „předpoklady“
  - analýzy ukazují důsledky vložených předpokladů, většinou je nemohou „ověřit“
  - můžeme porovnávat různé modely (předpoklady), zejména pokud máme numerická data

## *sensitivity analysis*

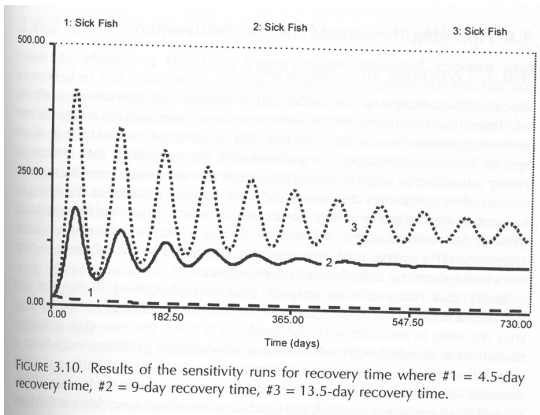
- určení **vlivu parametrů** na chování modelu
- jak moc jednotlivé parametry ovlivňují chování modelu

# Analýza citlivosti – důvody

- význam **odhadů**:
  - jak odhady ovlivňují chování modelu?
  - závislost výsledků simulace na správnosti odhadu
- jak **ovlivňovat** chování systému:
  - parametry s vysokým a nízkým vlivem na chování modelu („leverage points“)
  - návrh „politik“ pro změnu chování systému

# Příklad

- tři běhy s různými hodnotami jednoho z parametrů
- parametr s vysokým vlivem: ovlivňuje výrazně velikost sledované zásobárny i její průběh (přítomnost/absence oscilací)





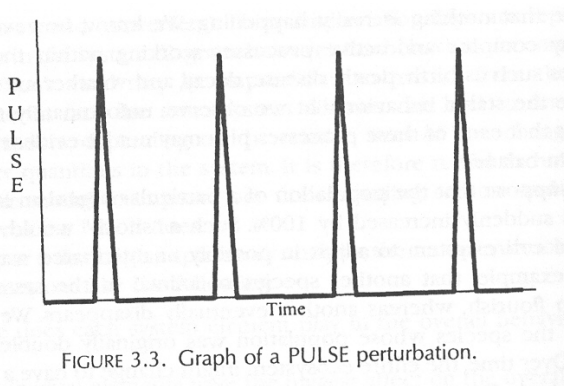
# Automatizovaná analýza citlivosti

- simulační nástroje obsahují podporu pro automatizované spouštění více běhů
  - Stella – SensiSpec
  - NetLogo – Behavior Space
- výsledky nejlépe zpracovat v statistickém softwaru (např. R project)

# Změny hodnot parametrů

- jak se chová model za dynamicky se měnících podmínek?
- cíle pokusů:
  - zkoumat vliv různých „politik“ na chování systémů (policy analysis)
  - zkoumat robustnost modelu
- příklady experimentů (změna určitého parametru během simulace): Puls, Ramp, Step

# Puls



# Step

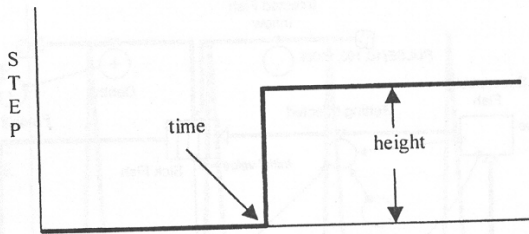
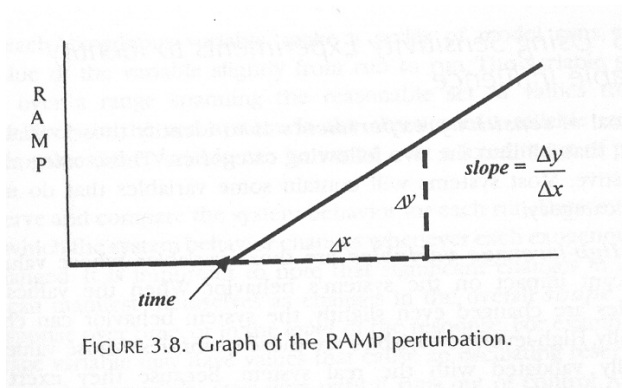


FIGURE 3.6. Graph of the STEP perturbation.

# Ramp



# Příklady: lovec-kořist

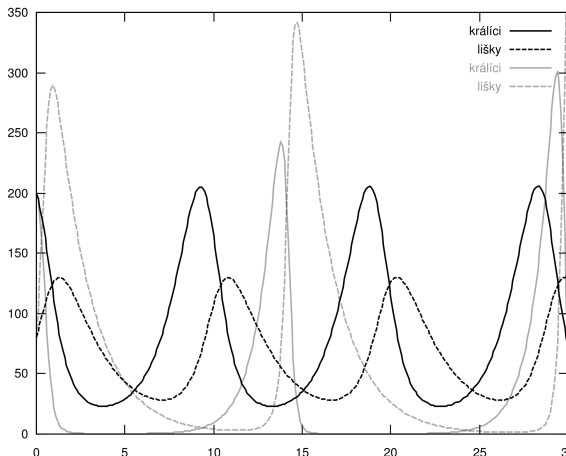
- ABM model králík-tráva
- základní systémový model Lotka-Voltera

$$dL/dt = p_l KL - u_l L$$

$$dK/dt = p_k K - u_k KL$$

# Verifikace modelu

- systémový model (hodnoty parametrů:  
 $p_l = 0,006$ ,  $u_l = 0,5$ ,  $p_k = 1$ ,  $u_k = 0,015$ )
- černé křivky – numerický výpočet s  $\Delta t = 0,001$
- šedé křivky – numerický výpočet s  $\Delta t = 0,05$



# Vizualizace běhů, dat

- doporučená literatura:  
E. R. Tufte: The Visual Display of Quantitative Information
- kurzy
  - PV251 Vizualizace
  - PA055 Vizualizace komplexních dat

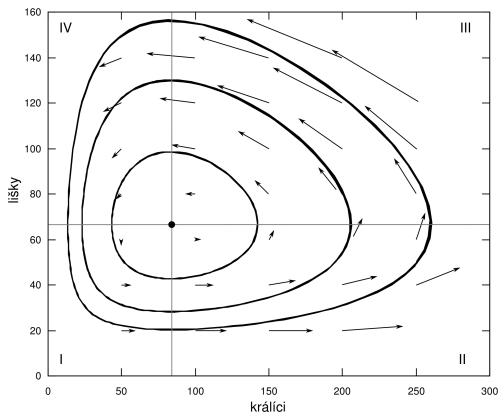


- základní způsob zobrazení dynamického chování
- přemýšlet, nepoužívat jen automaticky „default“, např.
  - sumární proměnné – způsob počítání u ABM
  - více proměnných současně
- důležité věnovat pozornost:
  - délka zobrazovaného intervalu
  - osa y, zvláště při více proměnných

# Stavový prostor

- model – vektor délky  $n$
- stavový prostor –  $n$  rozměrný prostor
- přímočaré zobrazení pro  $n = 2$
- pro vícerozměrné používáme vhodný průmět (vybrané sumární proměnné)

# Stavový prostor: systémový model



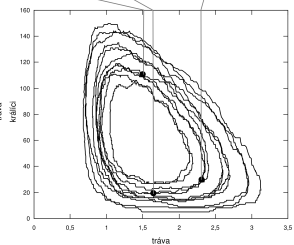
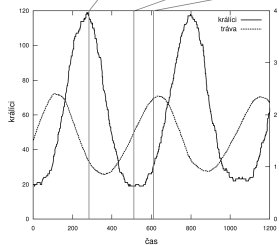
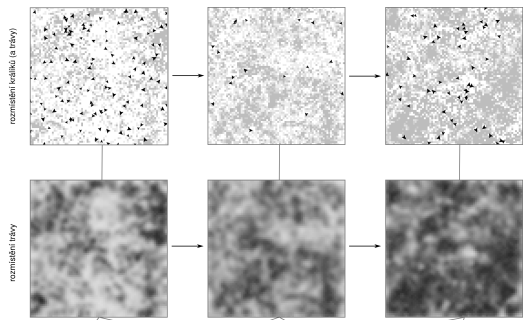
$$dL/dt = p_l KL - u_l L$$

$$dK/dt = p_k K - u_k KL$$

# Vizualizace modelu

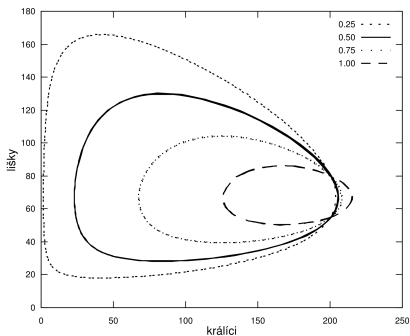
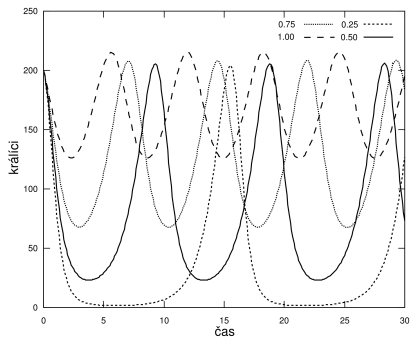
U ABM modelů důležitá vizualizace: ladění, marketing, pedagogické účely, ...

- sledování jednotlivce, zobrazení z pohledu jednotlivce
- numerické informace – velikost objektů, odstín barvy (šedi)
- nedávat všechny informace do jedné vizualizace, nabídnout více různých vizualizací

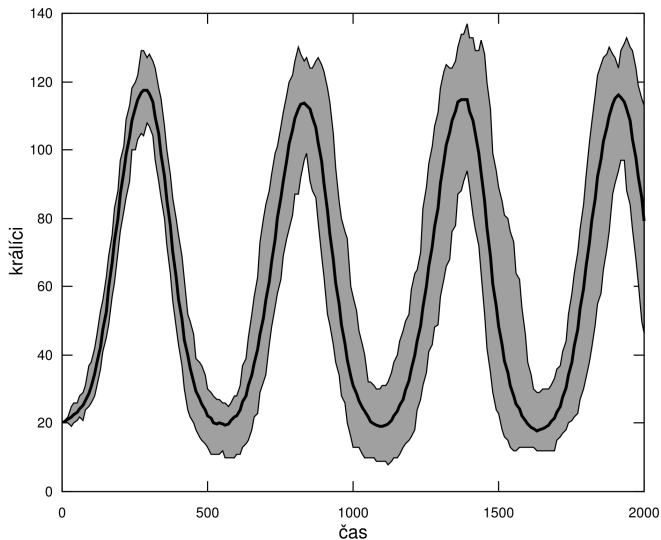


# Analýza citlivosti: systémový model

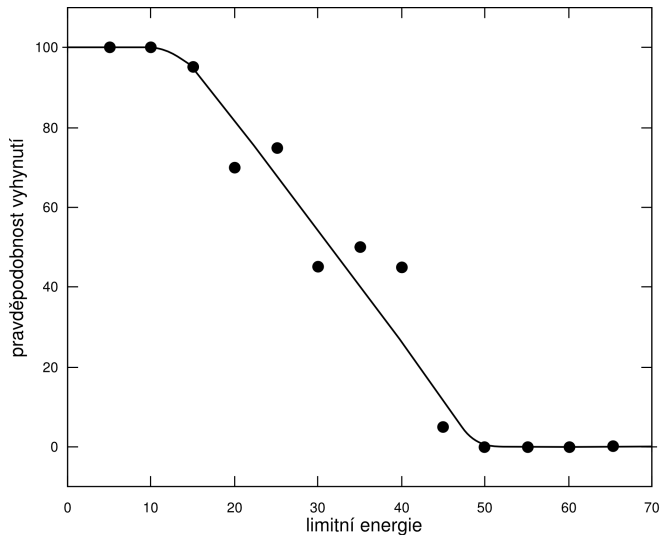
systémový model: změna hodnoty parametru  $u_I$



# Analýza citlivosti: náhoda u ABM modelu

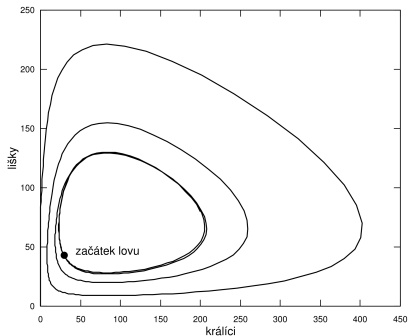
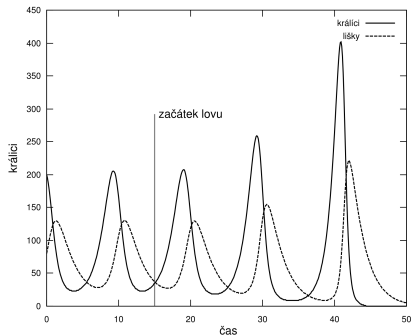


# Analýza citlivosti: závislost na parametru





# Příklad: step experiment – skoková změna (lov)



# Stupně abstrakce

<http://worrydream.com/LadderOfAbstraction/>

- konkrétní simulace
  - vývoj, ladění
  - pochopení modelu, základní intuice o chování
- abstrakce (znázornění více běhů, abstrahování času nebo některých proměnných)
  - hlubší vhled
  - poučení pro zásahy

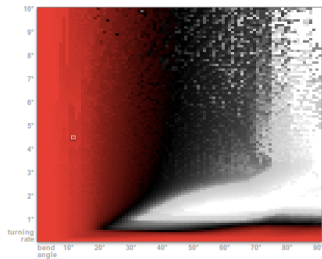
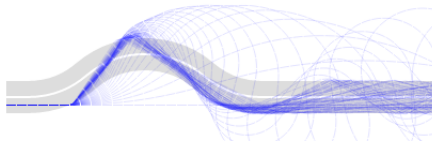
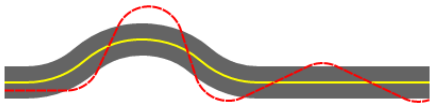
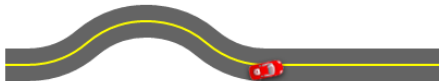
**At each step:**



Move forward 1 pixel.

If left of the road, turn right by  $2^\circ$ .

If right of the road, turn left by  $2^\circ$ .



- důkladná analýza modelu tvoří klíčovou součást modelování
- časová osa, stavový prostor, vizualizace (ABM), analýza citlivosti, experimenty s modelem
- i s velmi jednoduchým modelem lze provádět docela komplikované a zajímavé analýzy
- projekt – důraz právě na analýzy