

# Modelování sociálních a ekonomických systémů

Radek Pelánek

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Generativní sociální věda

- sociální vědy:  
pozorování chování sociálních systémů a snaha vysvětlit toto chování
- problém s experimenty a falsifikací teorií
- jak se pozná dobré vysvětlení?
- Epstein: „pokud to neumíš vypěstovat, pak to neumíš vysvětlit“
- *J. M. Epstein: Generative Social Science*

# Archeologie a modelování

- nemožné dělat experimenty
- většinou jen hypotézy
- ABM – možnost přehrát si minulost

# Anasazi: Historie

- kultura v Severní Americe (Pueblo), Arizona, údolí Long House Valley (96 km<sup>2</sup>)
- hlavní rozkvět 800-1300
- po roce 1300 údolí opuštěno
- velmi dobrá data dostupná (klimatické podmínky, úrodnost, osídlení,...)
- viz převzaté slidy anasazi.pdf

# Artificial Anasazi

- simulace kultury Anasazi
- cíle:
  - hledání odpovědí na otázky: proč údolí opuštěno?  
enviromentální vlivy nebo i něco jiného?
  - zachytit hypotézy o chování modelem a porovnat s daty

# Základní pravidla

agenti = usedlosti, pravidla:

- pěstování a konzumace **jídla**
- **stěhování**, při stěhování se zohledňuje
  - úrodnost půdy
  - dostupnost vody
  - obsazenost
- **rozdělení** usedlosti (sňatek)

rozšíření: agenti = jednotlivci, větší heterogenita  
[ Video simulace ]

# Důchodový věk: motivace

- USA, 1961: snížení minimálního důchodového věku z 65 na 62
- trvalo asi 30 let než došlo k posunu

# Model

- model s agenty
- pro každý ročník 100 agentů
- každý agent má svou **sociální síť** – náhodně vybraní agenti z přibližně stejně starých ročníků
- tři typy agentů podle toho, kdy jdou do důchodu:
  - **racionální**: v minimálním důchodovém věku
  - **náhodní**: jestliže mohou, jdou do důchodu s pstí  $p\%$
  - **imitátoři**: jestliže mohou a více než  $t\%$  agentů v jejich sociální síti je v důchodu

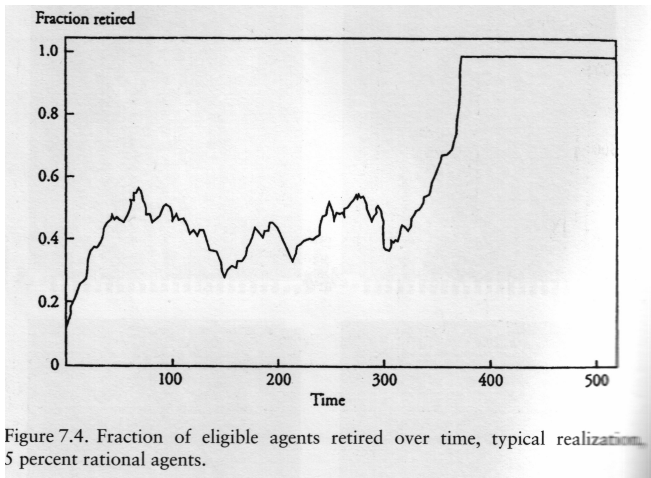


# Simulace

- základní ustanovení normy (65 let)
- přechod z jedné normy na druhou (65 → 62 let)
- dvě oddělené populace

[ Demo ]

# Sumárně znázorněný průběh simulace



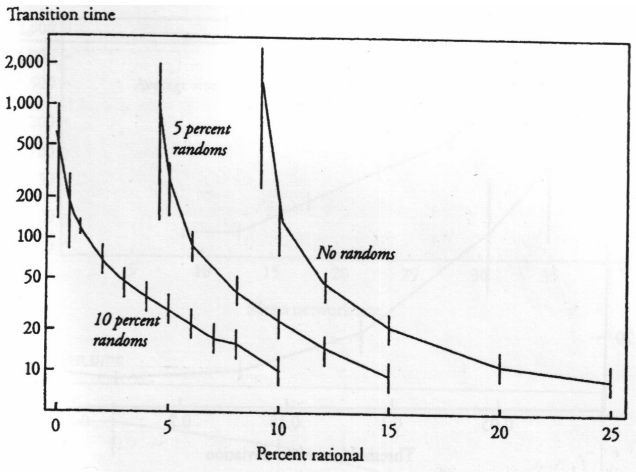
# Analýzy citlivosti

čas potřebný k **ustálení normy** v závislosti na **parametrech**:

- poměr racionálních, náhodných, imitátorů
- velikost sociální sítě
- mez imitace

Výsledky: stačí velmi málo racionálních

# Analýza citlivosti



# Model povstání

- ABM model
- decentralizované povstání (rebellion) proti centrální autoritě
- modeluje dynamiku, nikoliv podstatu povstání

# Parametry

vnější parametry (jejich dynamiku nemodelujeme)

- $H$  (hardship) – útrapy (individuální pro každého agenta)
- $L$  (legitimacy) – legitimita režimu (globální)
- $G$  (grievance) – rozhořčení,  $G = H(1 - L)$
- $R$  (risk aversion) – obava riskovat (individuální pro každého agenta)

# Agenti: občané

- omezený rozhled
- náhodný pohyb v rámci rozhledu
- **rozhodnutí** zda být aktivním rebelem:
  - počet policistů ve výhledu  $C$
  - počet aktivních rebelujících ve výhledu  $A$
  - odhad pravděpodobnosti zatčení:

$$P = 1 - \exp(-k(C/A))$$

- budu aktivní pokud  $G - PR > T$ , kde  $T$  je fixní mez

# Agenti: policisté

- pokud ve výhledu aktivní rebel  $\Rightarrow$  do vězení
- jinak náhodný pohyb
- policisté se nikdy nevzbouří
- vězení: náhodně zvolená délka pobytu ve věznění z určitého intervalu



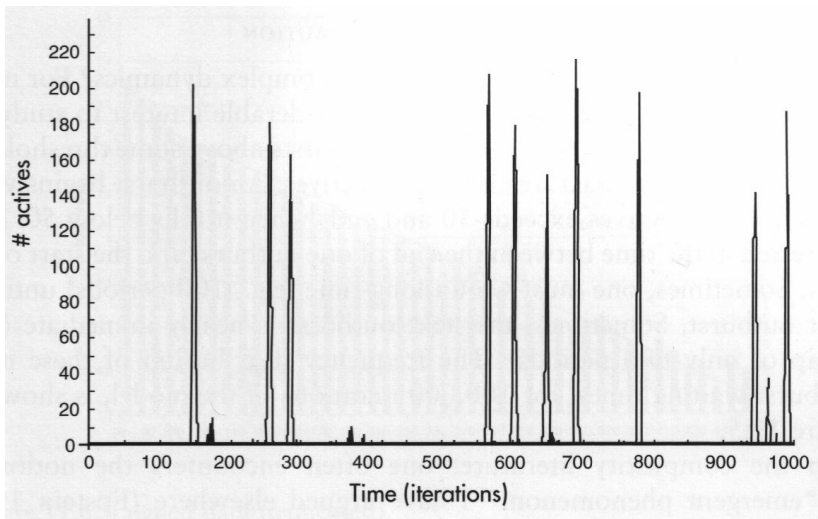
# Simulace

dvě paralelní zobrazení:

- aktuální stav agentů: aktivní X poklidní
- aktuální nálada agentů: rozhořčení

[ Demo ]

# Počet aktivních demonstrantů v čase



# Čas mezi dvěma nepokoji

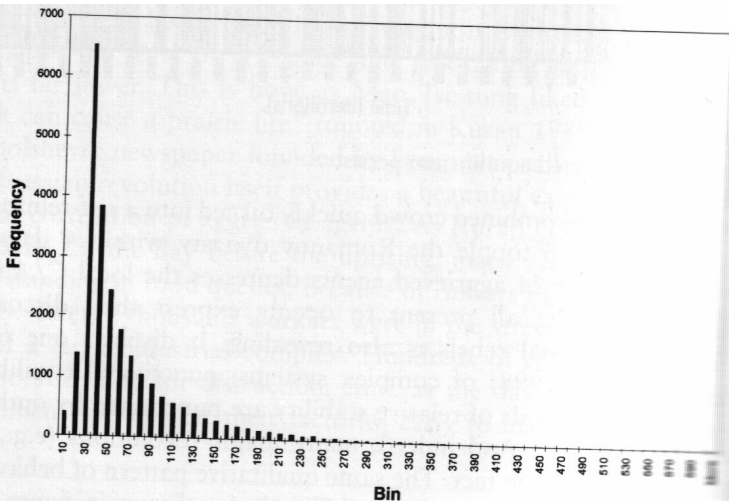
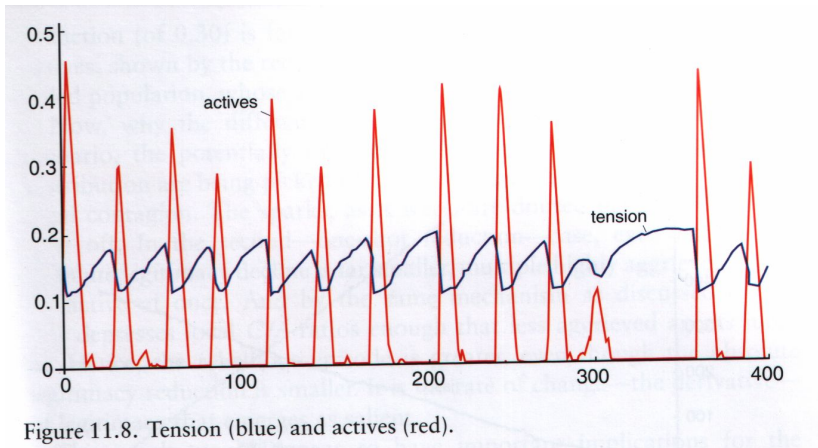
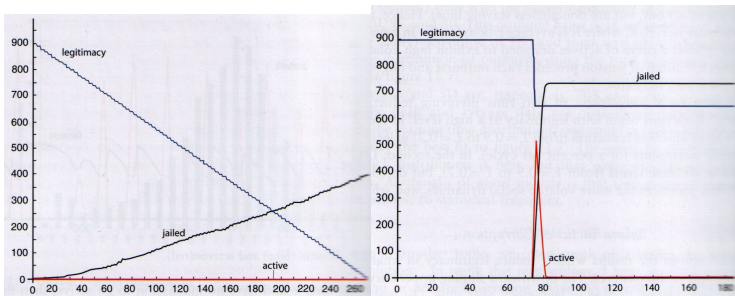


Figure 11.5. Waiting time distribution.

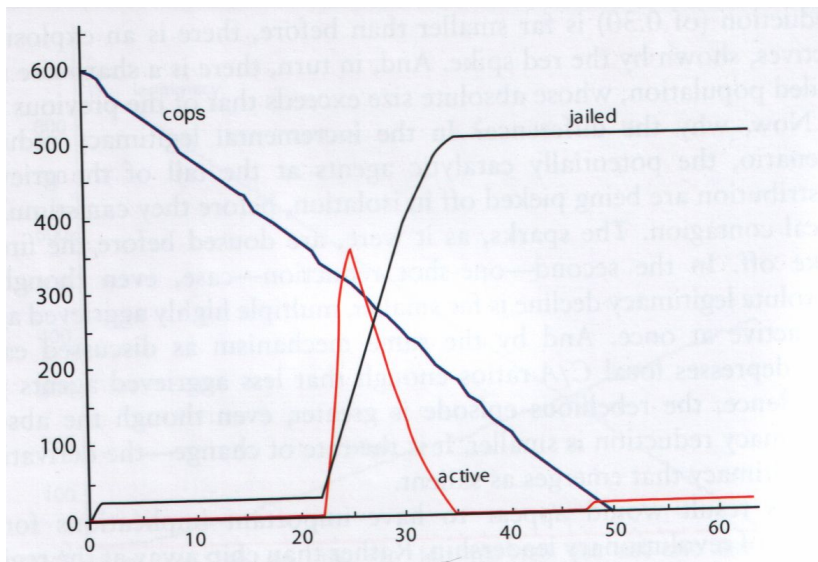
# Napětí a aktivita



# Změna vnímání legitimacy režimu



# Změna počtu policistů



# Komentáře

- relativně jednoduchý model, zajímavá dynamika
- výsledky analýz: grafy, konkrétní závislosti a závěry (nejen barevné obrázky)
- pozitivní zpětná vazba – čím víc rebelů, tím spíš se ostatní přidají
- negativní zpětná vazba – vězení

# Etnické násilí

- variace předchozího modelu
- dvě skupiny obyvatel
- pozitivní zpětná vazba: zabíjení vede k zabíjení



# Modelování v ekonomii

- (neo)klasická ekonomie (hlavní proud):
  - předpoklad racionálního chování
  - chování agentů vyjádřeno pomocí funkce užitečnosti
  - matematické modely
  - analytické řešení modelů – hledání ekvilibria soustavy rovnic
- agent-based computational economics
  - omezená racionalita, heterogenita, ...
  - výpočetní metody, ABM modely

# Příklad modelu trhu

## *Asset Pricing Under Endogenous Expectations in an Artificial Stock*

model trhu: srovnání klasický model vs. ABM model

podobný základní princip jako El Farol Bar

# Jednoduchý model trhu

- zaručený vklad (risk free asset) - vynáší pevný zisk  $r\%$  (úroková míra)
- akcie (jeden druh)
  - cena  $p_t$
  - vynáší dividendy  $d_t$  - „vnější“ veličina, náhodně se mění

# Agenti na trhu

- agenti mají k dispozici informace o trhu (minulý vývoj)
- na základě toho odhadují budoucí vývoj dividend
- dle odhadu se rozhodují kolik akcií v každém kole koupit/prodat (zbytek jde do vkladu)

# Racionální agenti

Racionální agenti – předpoklady:

- jsou homogenní – všichni mají stejná očekávání o budoucím vývoji
- jsou plně racionální
- znají přesný mechanismus určování ceny
- ví vše výše uvedené

(připomenutí: hádanka piráti)

# Racionální agenti – analytické řešení

- na základě uvedených předpokladů lze situaci řešit analyticky = vypočítat rovnice popisující chování agentů
- trh je v rovnováze
- cena akcií kopíruje „vnější“ vývoj dividend
- objem obchodování je minimální, nedochází ke spekulacím, bublinám, krachům, ...

$$p_t = \beta \sum_j w_{j,t} \left( E_j[d_{t+1}|I_t] + E_j[p_{t+1}|I_t] \right)$$

# Artificial stock market

- pokus o uvolnění předpokladů na racionalitu, homegenitu
- snaha o realističtější model včetně spekulací, bublin, ...
- nahrazení deduktivního uvažování (perfektní racionalita) **induktivním** uvažováním (učení se ze zkušeností)
- **artificial stock market** - prostředí pro simulaci heterogenních, adaptabilních, induktivně uvažujících virtuálních agentů

# Adaptabilní agenti

- model agenta = variace na **classifier system**
- odhad vývoje dividend: podmínka  $\Rightarrow$  odhad
- **podmínka**: 12 bitů, dva typy informací
  - „fundamentální“: je hodnota dividend větší než cena akcií  $\times$  úroková míra?
  - „technické“: je aktuální cena vyšší než průměr za posledních 10 kol?
- **odhad**: lineární kombinace ceny akcií a hodnoty dividend
- k odhadu se využívá několik nejúspěšnějších pravidel, jejichž podmínka odpovídá aktuální situaci



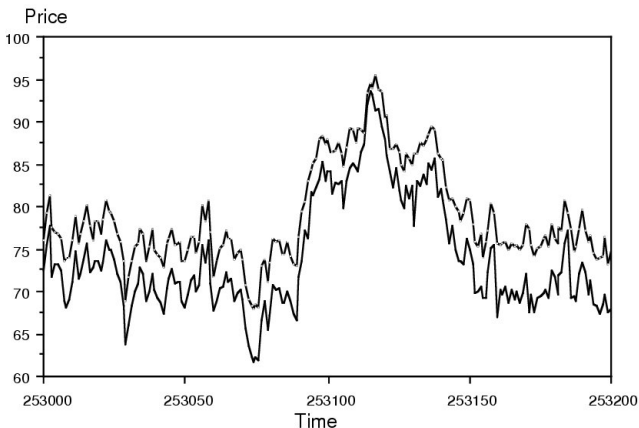
# Adaptabilní agenti – učení

- 1 úprava odhadu na základě zkušeností  
po každém kole se upraví pravidla a jejich úspěšnost
- 2 výměna pravidel: zrušení málo úspěšných, vygenerování nových (genetický algoritmus)

# Simulace

Simulace trhu ukazuje dva „režimy“ fungování:

- **pomalé učení** (malá frekvence výměny pravidel): chování směřuje k rovnováze, odpovídá teoretickému deduktivnímu řešení
- **rychlé učení** (velká frekvence výměny pravidel): dynamické komplexní chování včetně spekulací



Figs 1a and 1b. Rational-expectations price vs. price in the rich psychological regime.

The two price series are generated on the same random dividend series. The upper is the homogeneous r.e. price, the lower is the price in the complex regime. The higher variance in the latter case causes the lower price through risk aversion.

# Využití „technických“ informací

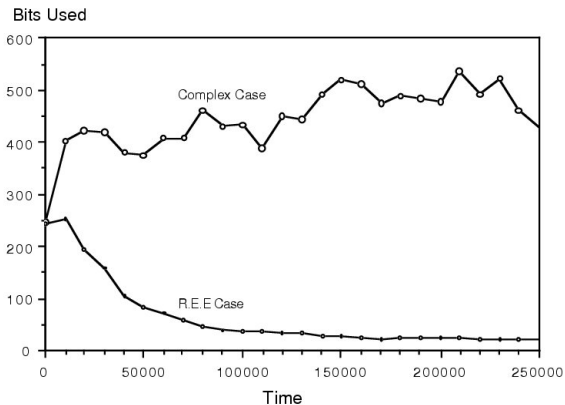


Figure 3. Number of technical-trading bits that become set as the market evolves, (median over 25 experiments in the two regimes).

# Adaptivní agenti v ekonomii: další příklad

- Wicksell's triangle: tři strany, každá produkuje jeden druh zboží, ale ráda by konzumovala jiný
- simulace pomocí classifier system
- jeden druh zboží (ten, který má nejmenší skladovací náklady) začne hrát roli „peněz“

# Modelování dopravy

## mikrosimulace

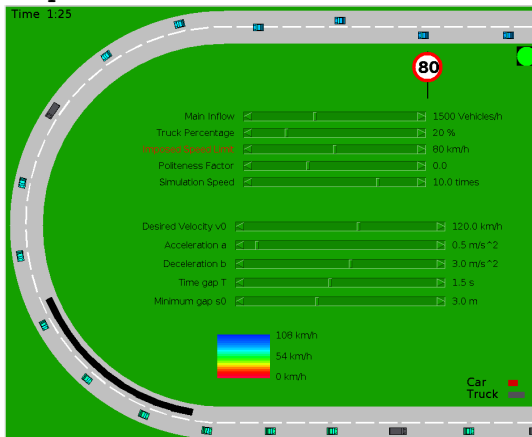
- na úrovni křižovatky, lokálních oblastí
- jednotlivá auta, ABM styl

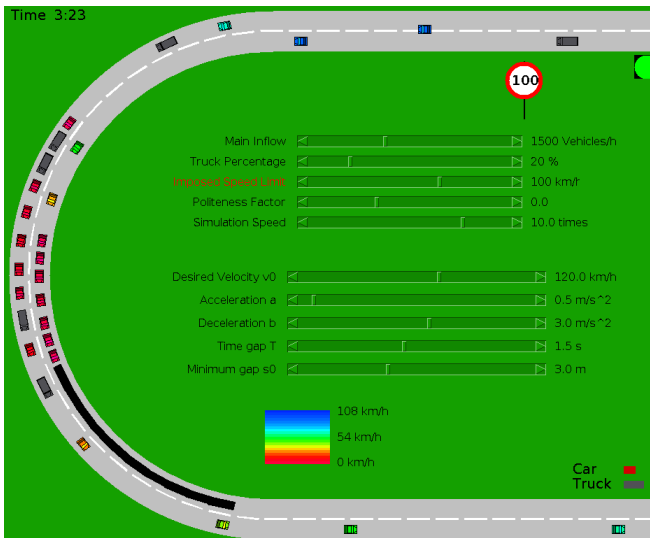
## makrosimulace

- celá města nebo větší oblasti
- sumární proměnné – celkový „tok“ aut

# Mikrosimulace: ukázka

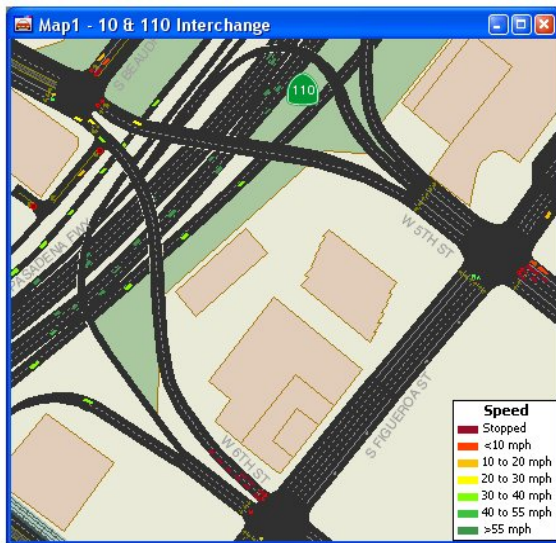
<http://www.traffic-simulation.de/>



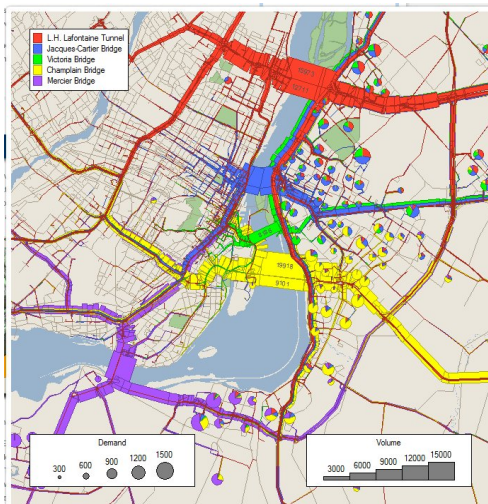




# TransModeler



# EMME 2



# Modelování dopravy: otázky

- plánovaná silnice, obchvat:
  - Jak změní dopravní toky? Kolik aut bude jezdit?
  - Má vůbec smysl? Kterou variantu vybrat?
- poplatky, parkoviště:
  - Kde budovat parkoviště? Jak ovlivní výše parkovného dopravu?
  - Jaké budou dopady mýtného na dálnicích?
- veřejná doprava:
  - Kudy vést linky MHD? Má linka smysl?
  - dopady přesunu nádraží (Brno)
  - MHD pro jednorázové velké akce (ohňostroje, olympiáda)

# Modelování dopravy: kroky

- vznik cest – pojedu vůbec někam?
- rozdělení cest – kam pojedu?
- podíl jednotlivých druhů dopravy – čím pojedu?
- zatěžování sítě – kudy pojedu?

# Doprava: další oblasti

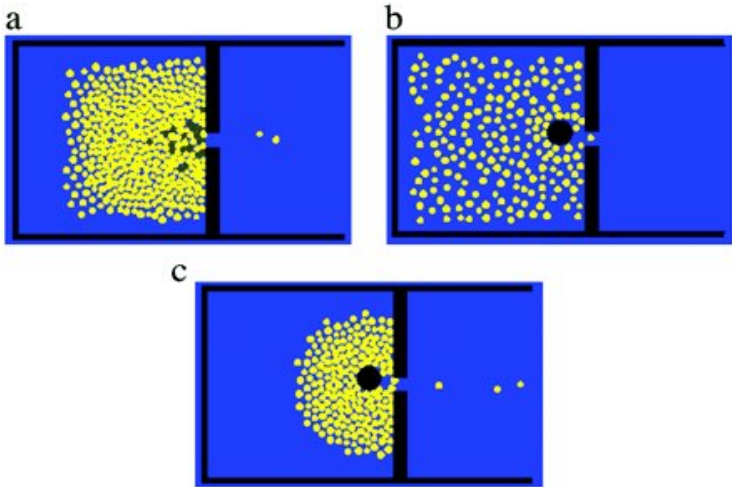
- šíření imisí, emisí
  - hodnocení vlivů dopravy na životní prostředí
  - důležité faktory: typy aut, větrná růžice, výškopis
- šíření hluku
  - hlukové mapy
  - plánování protihlukových stěn

# Modelování davů

- přestupní uzly
- koncerty, sportovní zápasy
- Hadž
- požáry

Cíle: lepší uspořádání prostor, předcházení katastrofám ...

# Jednoduchý model



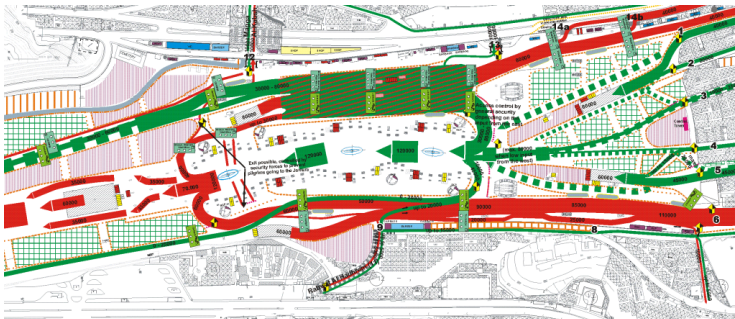
# Větší model



Figure 1 Legion-replayer model. Studio and general layout



# Hadž



# Hadž



# Shrnutí

- modelování sociálních, ekonomických systémů
- široká škála uplatnění
  - velmi abstraktní modely ilustrující základní principy
  - modely reprodukující konkrétní data, testování hypotéz
  - předpovídání, podklady pro konkrétní rozhodnutí
- dříve matematické modely, nyní často modely s agenty