



# Modelování a simulace 1

## 3. lekce - Komplexní systémy

**Michal Janošek**

Department of Informatics and Computers

Faculty of Science

University of Ostrava

Ostrava, Czech Republic

`michal.janosek@osu.cz`

September 30, 2014



<http://files.animalsworld.webnode.cz/200000004-b3a68b4a03/vodpad.jpg>

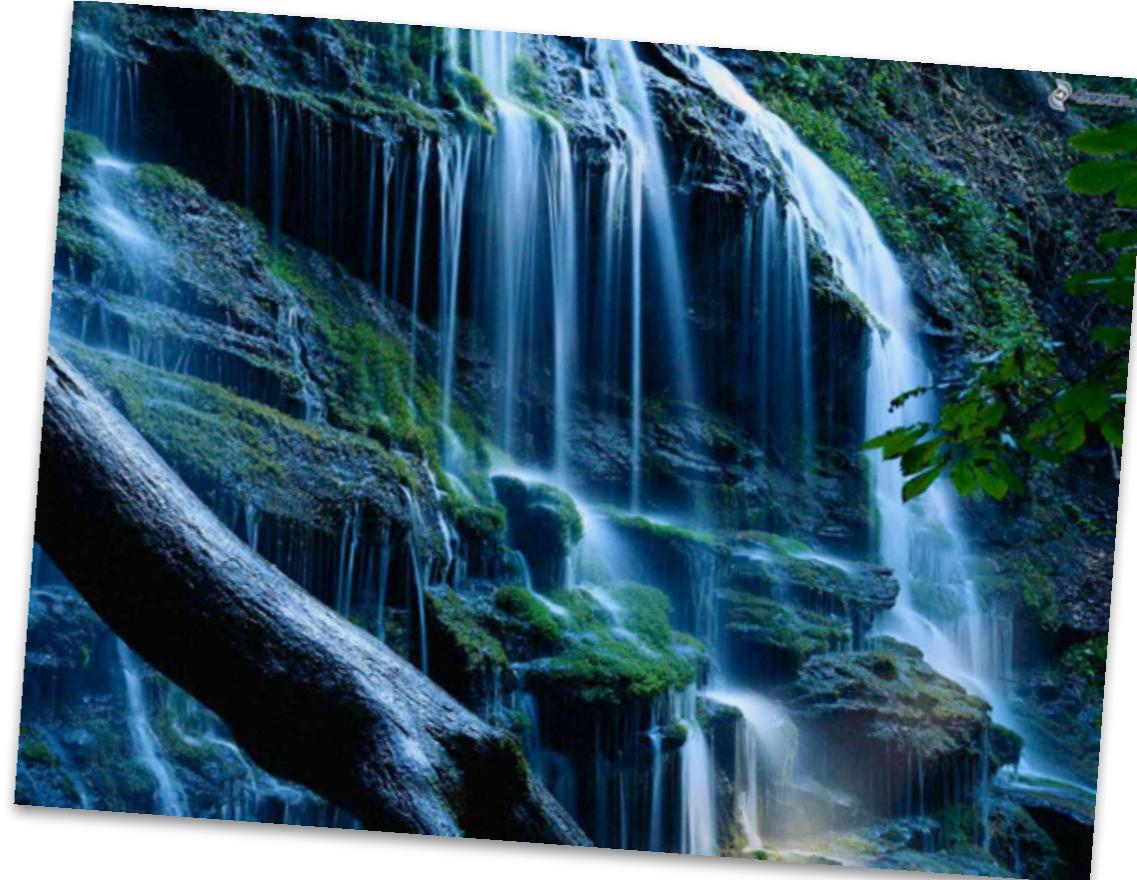
# Komplexní systémy

- Jednoduché a složité
- Charakteristiky komplexních systémů
- Studium komplexních systémů
- Zpětná vazba
- Simulace
- reálný systém - komplexní fenomén



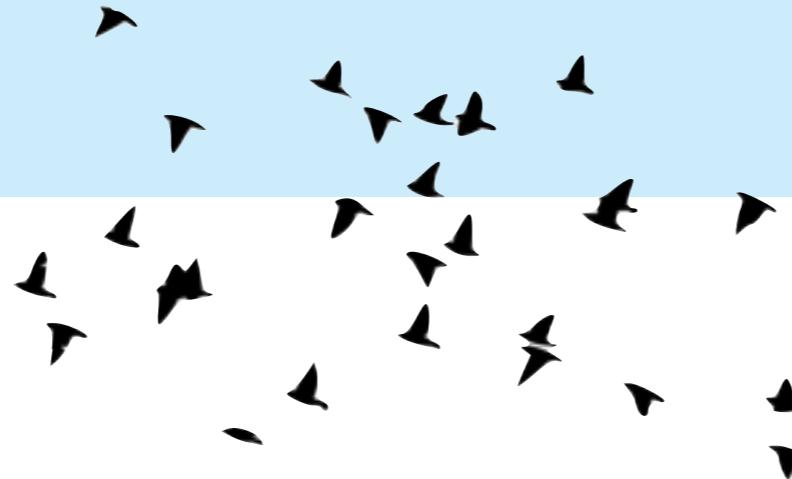
# Komplexní systém

- je složen z množství částí
  - reagují spolu
  - je nesnadné je separovat
- chování systému je obtížné odvodit z chování jeho částí
- celek je více než součet jeho částí - emergence



# Emergence

- chování systémů je obtížné odvodit od chování jeho částí
- vlastnosti systému mohou být výsledkem interakcí mezi komponenty systému, které tyto vlastnosti nemají
- emergence
  - vzájemné lokální působení
  - na globální úrovni nový fenomén
  - bez centrálního řízení



obarvené kapky cukru

# Top-down vs. bottom-up

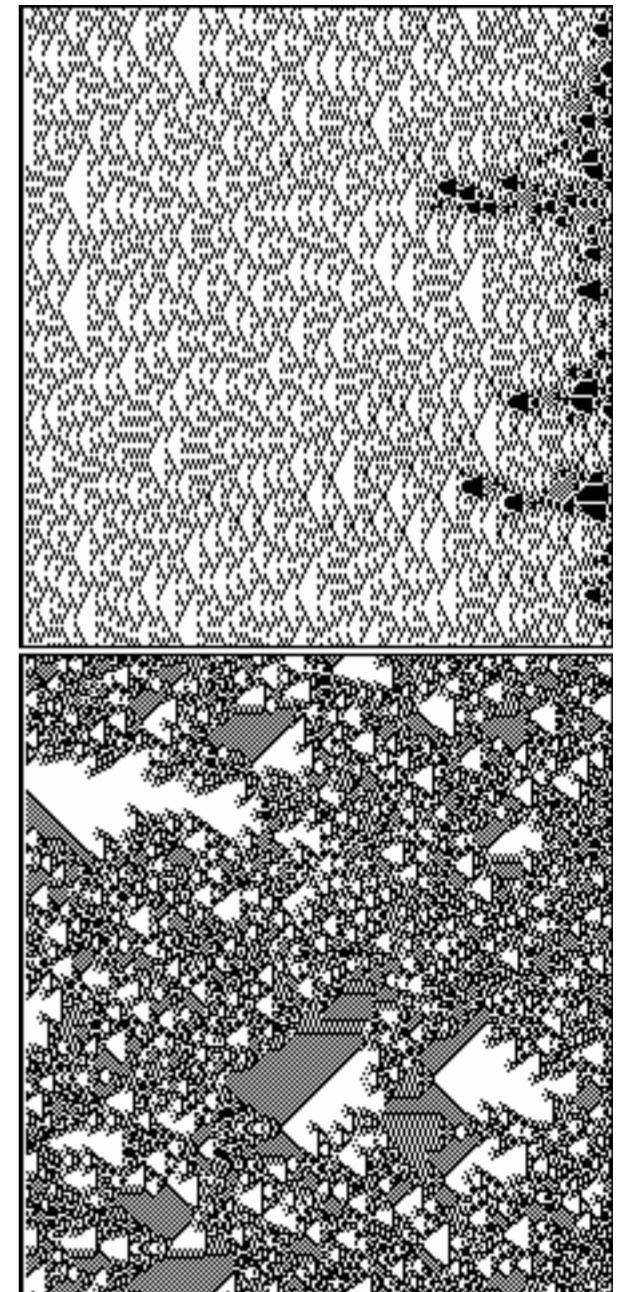
- čím je systém složitější z hlediska komponent a interakcí, tím těžší je dekomponovat jej na jednotlivé části
- shora dolů
  - umělá inteligence
  - popsat vše v celé šíři
- zdola nahoru
  - umělý život
  - popsat prvky a jejich základní vlastnosti



# Složitost systému

- množství prvků
- množství interakcí
- složitost prvků
- složitost interakcí
- celulární automaty
  - složitá struktura, jednoduché interakce
  - pohyb kyvadla
    - jednoduchá struktura, složité interakce (chování)

$$C_{sys} \sim \begin{cases} \#E \\ \#I \\ \sum_{j=0}^{\#E} C_{e_j} \\ \sum_{k=0}^{\#I} C_{i_k} \end{cases}$$



# (Dynamické) komplexní systémy

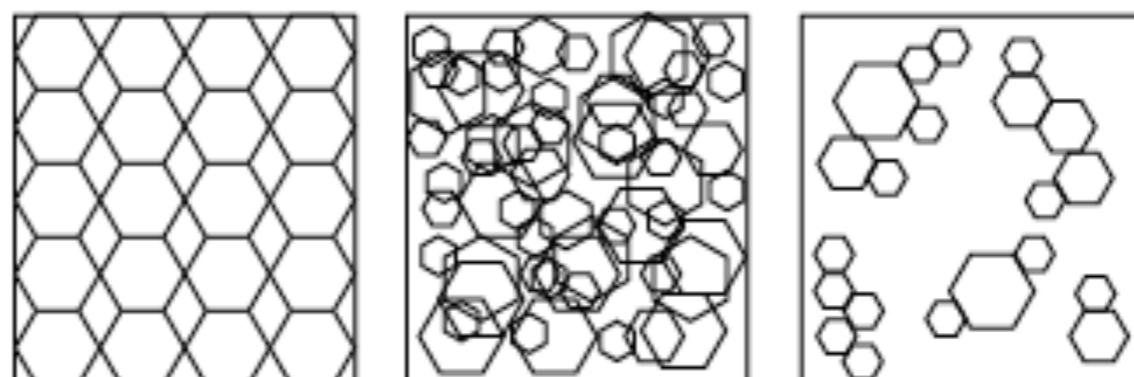
- sestávají z množství propojených zpětnovazebních smyček
- změna v části systému vyvolá kaskádovou změnu v množství propojených komponent
  - proměnný čas mezi změnami
- v konečném důsledku projeví (negativně/pozitivně) v původní komponentě
- prostředí burzy



# Jednoduché a složité systémy

- jednoduchý
  - páka, kladkostroj
- neorganizovaný
  - plyny
- komplexní
  - ekosystém

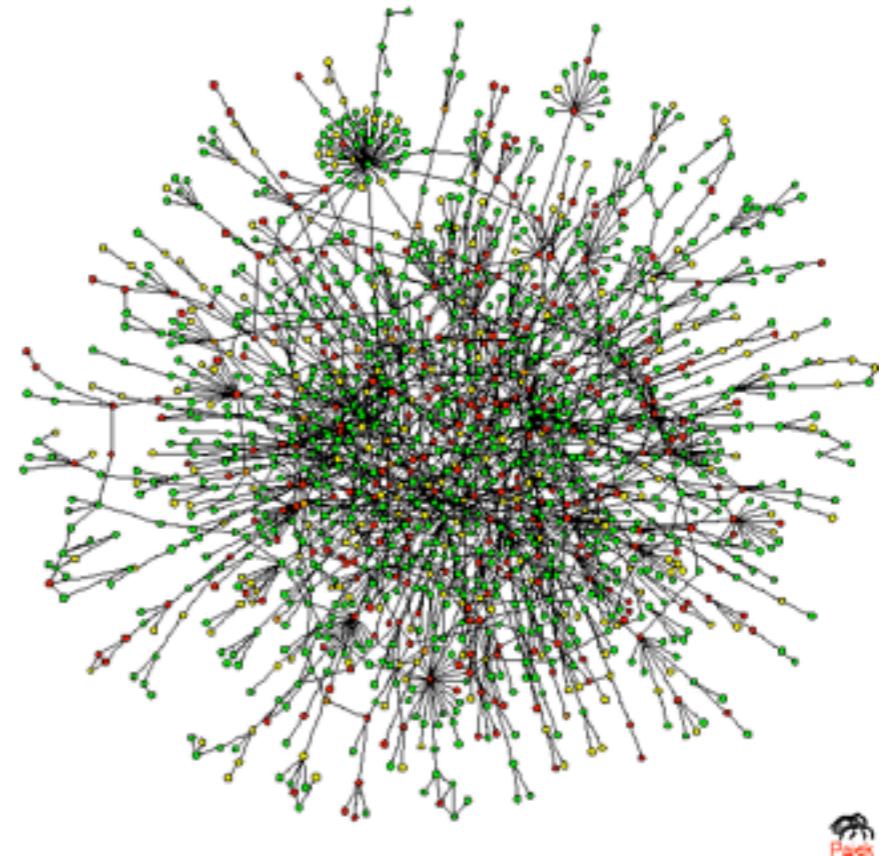
$$C_{sys} \sim \begin{cases} \#E \\ \#I \\ \sum_{j=0}^{\#E} C_{e_j} \\ \sum_{k=0}^{\#I} C_{i_k} \end{cases}$$



Systém	Počet prvků	Interakce	Metody řešení problému
jednoduchý	malý	pravidelné	dedukce
neorganizovaný	velmi velký	nahodilé	statistika
komplexní	velký	organizované	simulace, indukce

# Charakteristiky komplexních systémů

- složité vazby a nelinearita
- samo-organizace, emergence
- dynamičnost a adaptibilita
- nemožnost plně kontrolovat,
- či předvídat chování kompl. sys.



# Složité vazby a nelinearita



- vše souvisí se vším
- mezi prvky množství zpětných vazeb (obousměrných)
- těžko rozpoznat příčiny a následky (ovlivňují samy sebe)
- Lineární systémy (např. zjednodušený model pohybu planet)
  - dopad zásahu úměrný samotnému zásahu
- Komplexní systémy (např. předpověď počasí)
  - velké zásahy malý vliv, malé zásahy velký vliv
  - pákové body



# Samo-organizace, emergence

- řád vzniká samo-organizací
  - neexistuje vnější zdroj řádu
  - komponenty spolu reagují způsobem, aby dosáhly požadovaného globálního chování
  - zdroj řádu škola vs. mraveniště
- emergence
  - celek je více než součet jeho částí
  - např. studiem jednoho mravence nezjistíme, jak funguje celé mraveniště



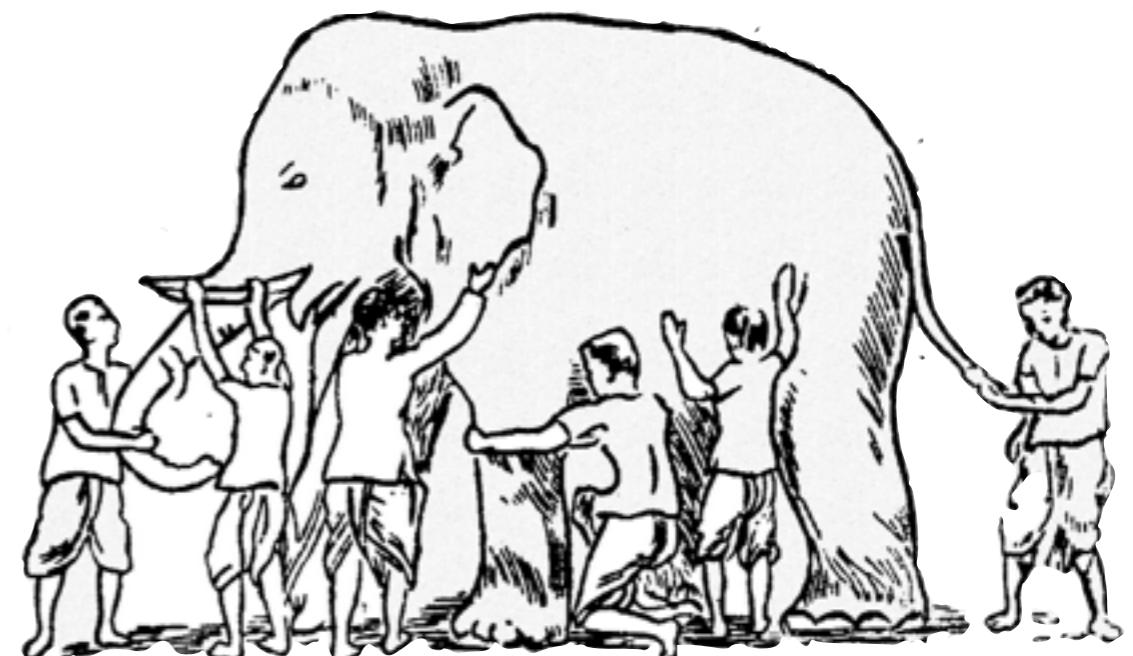
# Dynamičnost a adaptibilita

- v komplex. systémech neustále dochází ke změnám
- střídání období klidu a změn
  - zánik civilizací je rychlejší než jejich trvání
- schopnost adaptace
  - heterogenní systémy (emergence, samo-organizace)
  - změna uspořádání města (dle příležitostí, zaměstnání)



# Studium komplexních systémů

- složité, neintuitivní
- celek je více než součet jeho částí
- nadhled, celkový pohled
- od obecnějšího ke specifickému
- pozornost dynamice procesů
- pozornost vztahům a interakcím
- pozorovatel a úhel pohledu
- delší časový horizont



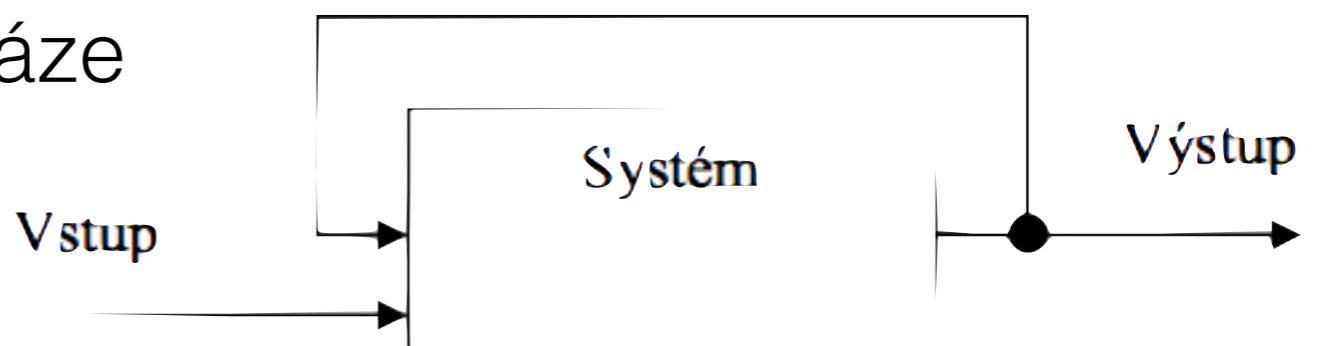
# Studium komplexních systémů

- lineární uvažování s krátkodobým výhledem
- zjednodušené uvažování o příčinách
- změny z dlouhodobým pozitivním efektem vedou ke krátkodobým zhoršením (a naopak)
  - ekonomická, politická rozhodnutí



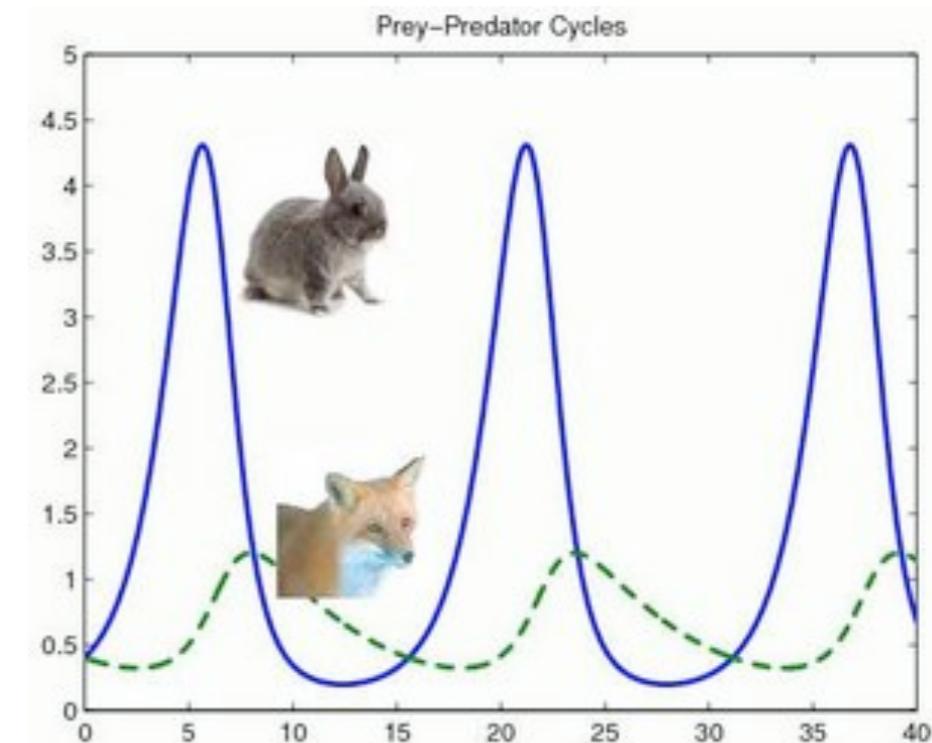
# Zpětná vazba

- nedílná součást komplexních systémů
- zpětnovazební smyčka z výstupu systému na jeho vstup
  - řízení, biologie - látkový tok, el. mag. signál
- negativní
  - udržuje systém v rovnováze
- pozitivní
  - vyvádí systém z rovnováhy



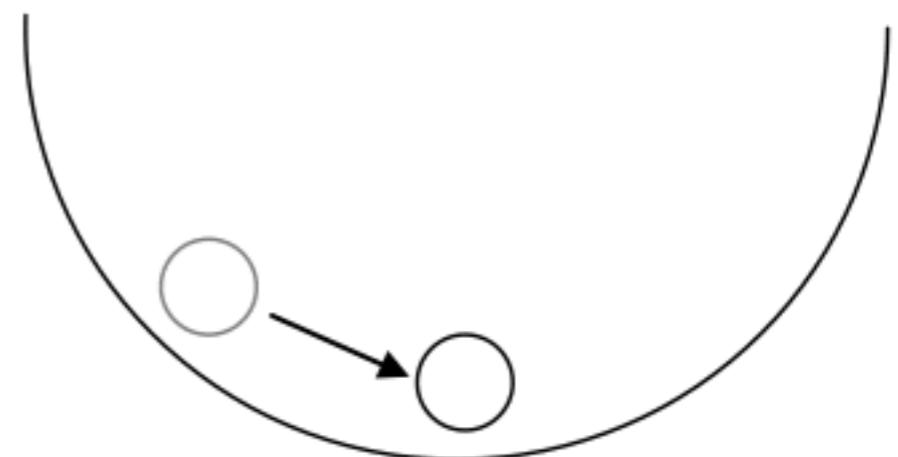
# Zpětná vazba - dravec kořist

- kořist - zajíc
- dravec - liška
- pozitivní zpětná vazba
  - rozmnožování zajíců, růst populace zajíců
  - rozmnožování zajíců, růst populace lišek
- negativní zpětná vazba
  - růst populace lišek, snižování populace zajíců
- oscilace - efekty zpětných vazeb nelze lehce odhadnout



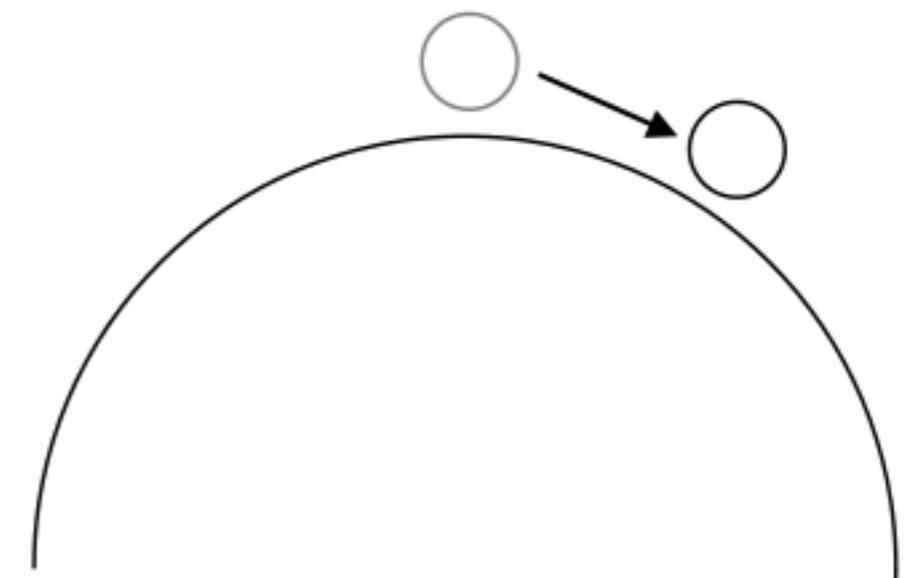
# Negativní zpětná vazba

- změna na výstupu vede ke zmenšení této změny
- regulační charakter
  - regulace teploty v místnosti



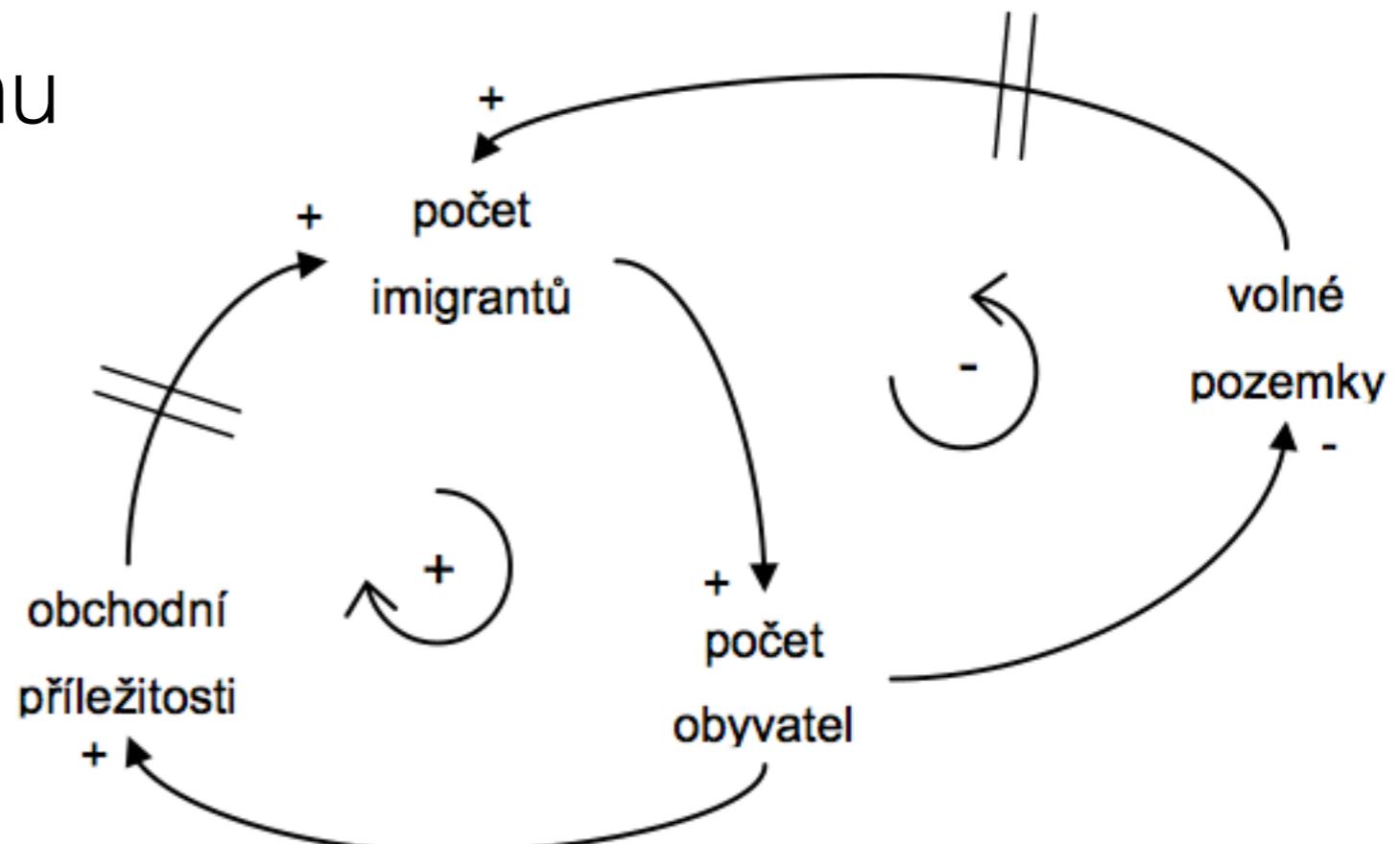
# Pozitivní zpětná vazba

- změna na výstupu vede ke zvětšení této změny
- deregulační charakter
- destruktivní charakter, vznik nových struktur
  - jaderná exploze
  - vznik měst



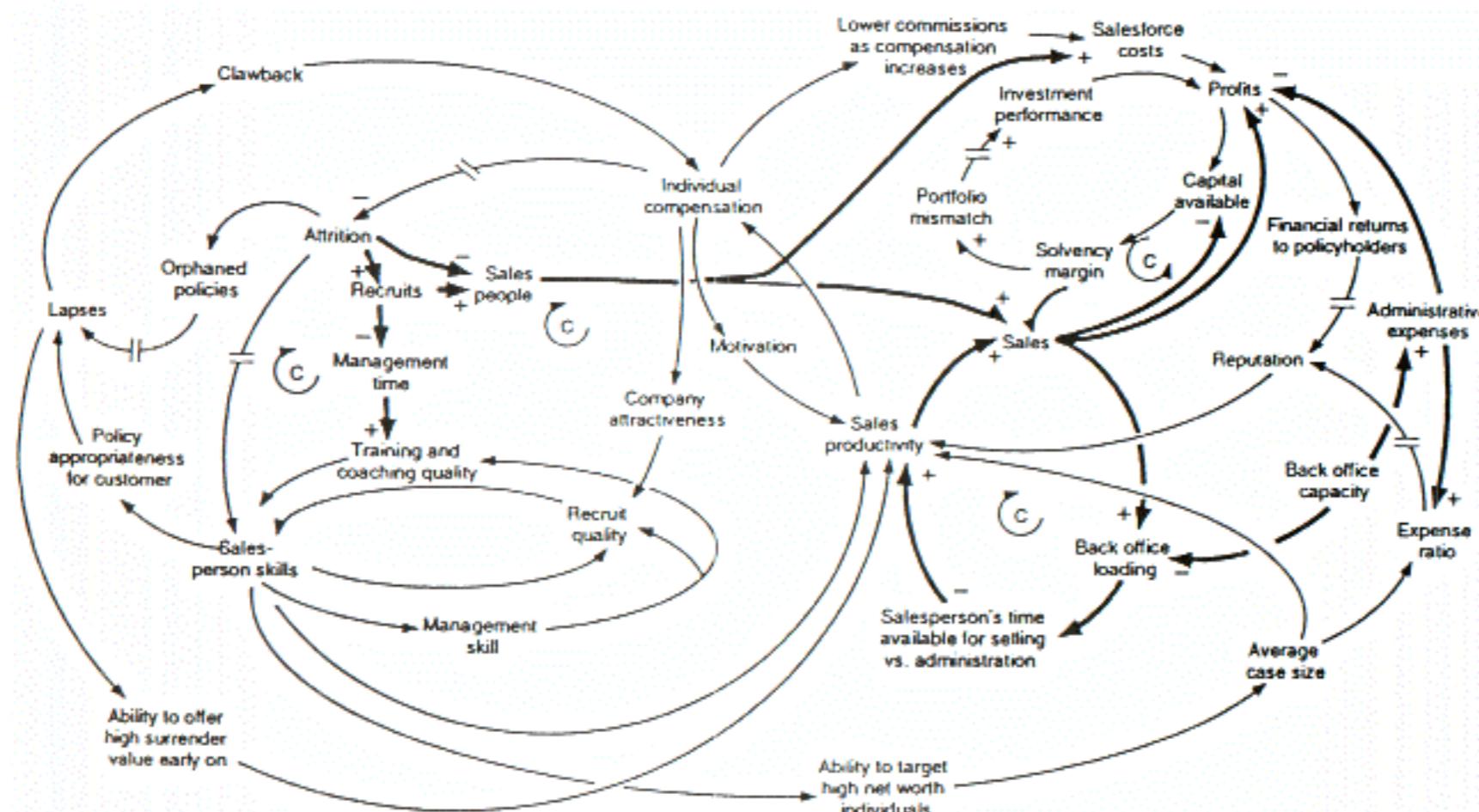
# Diagram kauzálních smyček (diagram zpětnovazebních cyklů)

- klíčové položky systému
- šipka: vztah příčina - následek
- (+): pozitivní vztah
- (-): negativní vztah
- (||): zpoždění



Cyklus označíme jako pozitivní (negativní) zpětnou vazbu, pokud obsahuje sudý (lichý) počet negativních vztahů.

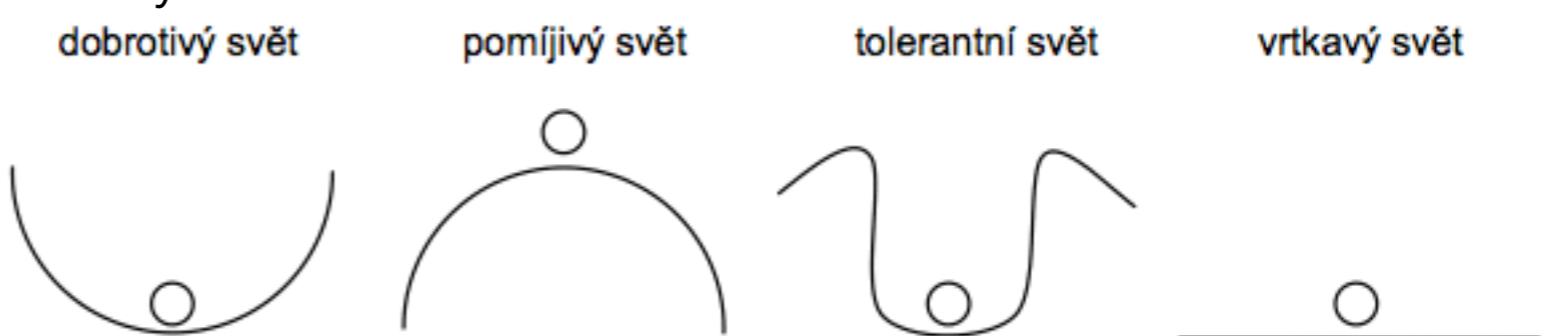
# Diagram kauzálních smyček pojišťovací společnosti



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Causal\\_Loop\\_Diagram\\_of\\_a\\_Model.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Causal_Loop_Diagram_of_a_Model.gif)

# Čtyři pohledy na povahu světa dle Adamse -rovnováha

- rovnováha: důsledek protikladných sil zpětných vazeb
- neznamená, že se v systému nic neděje
- drobný impulz může vyvést systém z rovnováhy
  - stabilní, vysoce nestabilní
- **dobrotivý** - předpověditelný, robustní, stabilní
- **pomíjivý** - nestabilní, nevratné změny
- **tolerantní** - kombinace
- **vrtkavý** - nepředpověditelný, náhodný



# Použité obrázky

- <http://www.wallm.com/images/2012/12/free-summer-fantasy-landscape-for-desktop-80969.jpg>
- <http://files.animalsworld.webnode.cz/200000004-b3a68b4a03/vodpad.jpg>
- <http://www.ijgems.com/images/Diamonds%20and%20Gemstones/diamond.jpg>
- <http://www.mymodernmet.com/profiles/blogs/rainbow-colored-ants>
- <http://www.paranormalpeopleonline.com/wp-content/uploads/2010/07/asimo1.jpg>
- <http://classes.yale.edu/fractals/CA/CAEx1.gif>
- <http://www.wadsam.com/wp-content/uploads/2012/11/stock-exchagne.jpeg>
- [http://stat.kaist.ac.kr/protein\\_network.gif](http://stat.kaist.ac.kr/protein_network.gif)
- <http://thesinglewomanguide.com/wp-content/uploads/2012/08/men-woman-brain.jpg>
- <http://images.wisegeek.com/monarch-butterfly.jpg>
- <http://www.ireceptor.cz/res/data/156/018819.jpg>
- [http://frankmedia.com.au/wp-content/uploads/2009/06/800px-simpsons\\_angry\\_mob.png](http://frankmedia.com.au/wp-content/uploads/2009/06/800px-simpsons_angry_mob.png)
- [http://i.idnes.cz/13/033/c16/KRR4a1bb4\\_VstavaTutanchamon.jpg](http://i.idnes.cz/13/033/c16/KRR4a1bb4_VstavaTutanchamon.jpg)
- <http://www.jainworld.com/literature/story25i1.gif>
- [http://images.lingvistika.org/w/images/thumb/c/cc/Hoppensteadt\\_pp.jpg/300px-Hoppensteadt\\_pp.jpg](http://images.lingvistika.org/w/images/thumb/c/cc/Hoppensteadt_pp.jpg/300px-Hoppensteadt_pp.jpg)
- <http://vinylartsa.com/wp-content/uploads/2012/09/flock-of-birds-2-covers-1.5.x1m-packed-loose-R200-1024x611.jpg>
- [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Causal\\_Loop\\_Diagram\\_of\\_a\\_Model.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Causal_Loop_Diagram_of_a_Model.gif)