

# Komplexní systémy, myšlení o systémech

Radek Pelánek

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



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# O přednášce

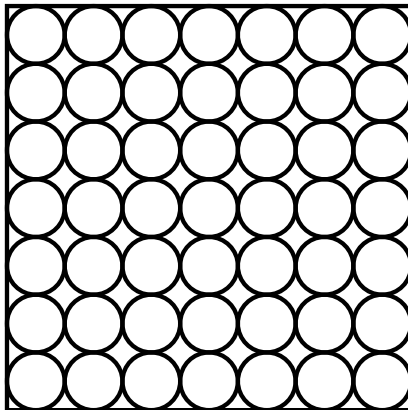
- obecná motivace k probíraným tématům
- neexaktní, motivační

# Komplexní systémy

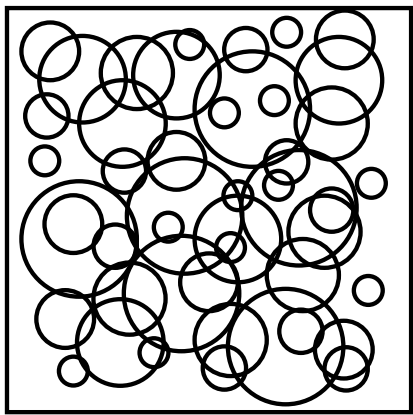
- není žádná formální definice
- není žádné přesné vymezení
- plynulý přechod
- závislost na úhlu pohledu, na míře abstrakce
- představení přes příklady, výčet charakteristik



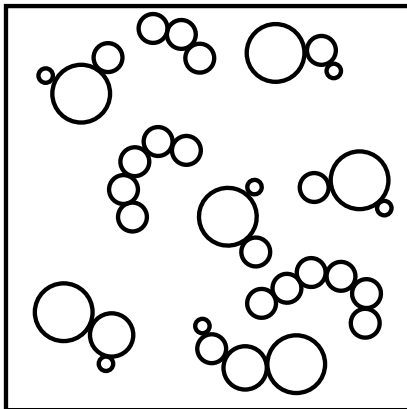
# Obrázek 1



# Obrázek 2



# Obrázek 3



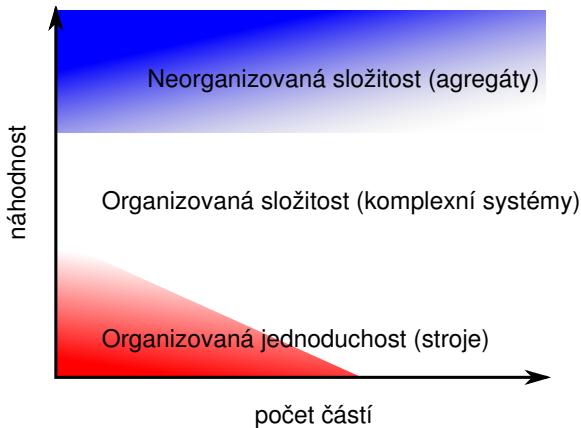
# Složitost

Cvičení ilustruje jeden z pohledů na to, co je to „složitost“ systému:

Složitost systému = délka popisu vzorů (pravidelností) v systému.



# Typy systémů



# Typy systémů – metody řešení

typ systému	metoda
organizovaná jednoduchost	analytické metody
neorganizovaná složitost	statistika
organizovaná složitost	simulace

# Komplexní systém: definice

- A system that can be analyzed into **many components** having relatively **many relations** among them, so that the behavior of each component depends on the behavior of others. (Herbert Simon)
- A system that involves **numerous interacting agents** whose aggregate behaviors are to be understood. Such aggregate activity is nonlinear, hence it cannot simply be derived from summation of individual components behavior. (Jerome Singer)
- A complex system is a highly structured system, which shows **structure with variations**. (Goldenfeld and Kadanoff)
- A complex system is one that by design or function or both is **difficult to understand** and verify. (Weng, Bhalla and Ivengar)

# Komplexní systém: další definice

- A complex system is one whose evolution is very sensitive to initial conditions or to small perturbations, one in which the **number of independent interacting components is large**, or one in which there are multiple pathways by which the system can evolve. (Whitesides and Ismagilov)
- A complex system is one in which there are **multiple interactions** between many different components. (D. Rind)
- Complex systems are systems in process that constantly **evolve** and unfold over time. (W. Brian Arthur)

... *komplexní systém je také populární výraz pro ledasco.*

# K problematice definicí...

- Jak můžeme studovat něco, co nemáme ani pořádně definováno?

# K problematice definicí...

- Jak můžeme studovat něco, co nemáme ani pořádně definováno?
- A co biologie a život?

# K problematice definicí...

- Jak můžeme studovat něco, co nemáme ani pořádně definováno?
- A co biologie a život?
- *Život je cokoliv, co umře, když do toho pořádně praštíte.*  
(D. Berry)

# K problematice definicí...

- Jak můžeme studovat něco, co nemáme ani pořádně definováno?
- A co biologie a život?
- *Život je cokoliv, co umře, když do toho pořádně praštíte.*  
(D. Berry)
- *Komplexní systém je cokoliv, čemu pořádně nerozumíme.*  
(R. Pelánek)
- obecně v tomto kurzu: nebudeme příliš probírat definice, daleko více příklady, charakteristiky, ...



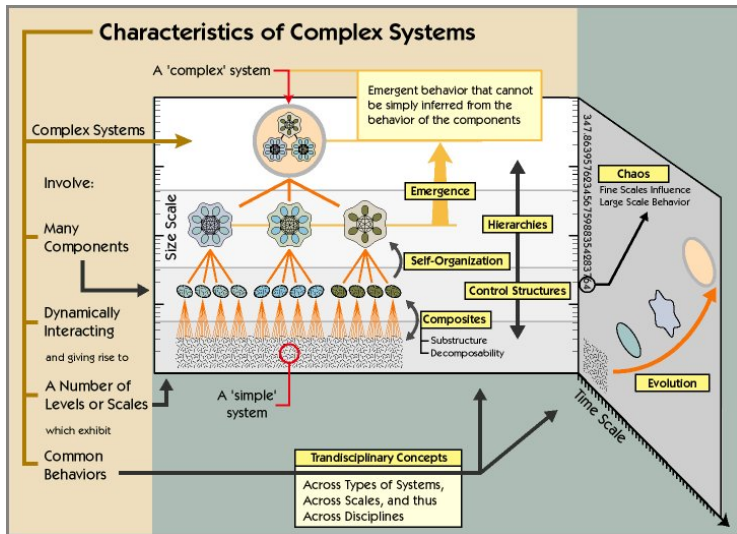
# Příklady komplexních systémů

- ekosystémy
- trhy
- podnebí
- organizace
- mraveniště
- buňka
- město
- imunitní systém

# Příklady nekomplexních systémů

- židle
- páka, kladka
- balónek
- motor
- ... většina strojů

## Charakteristiky komplexních systémů



# Dynamické

- neustále v pohybu
- rovnováha – spíše krátkodobá, aktuální vyváženost dynamických dějů
- srovnej:
  - statická rovnováha: páka, dům
  - dynamická rovnováha: mraveniště, město

# Těsně svázané

- „*Všechno souvisí se vším.*“
- srovnej:
  - neurony v mozku: tisíce spojení
  - logické obvody v počítači: řádově desítky vstupů/výstupů

# Ovládané zpětnou vazbou

- neexistuje rozdělení na příčiny a následky
- změny ovlivňují samy sebe
- srovnej:
  - řízení mraveniště, vývoj druhů (ko)evolucí
  - řízení robota, návrh strojů

# Nelineární

*„Potká-li sob soba, mají radost oba. Potkají-li se tři sobi, tak se radost násobí.“*

- efekt zásahů do systému neúměrný velikosti zásahů
- malé zásahy – výrazný efekt (vzdálený prostorově či časově)
- srovnej:
  - předpovídání polohy planety
  - předpovídání počasí

# Sebe-organizující se

- zpětné vazby jsou schopny vytvářet řád vycházející z malých, náhodných impulzů
- řád vzniklý „zespodu“, bez centrálního vedení
- srovnej:
  - řízení mraveniště, vznik vzorů v přírodě (např. mušle)
  - hierarchické řízení organizace, návrh oblečení



# Adaptabilní

- jednotlivé komponenty/agenti se mění, učí se, vyvíjí se, nahrazují se evolučními procesy, ...
- systémy jako celek se vyvíjí
- srovnej:
  - živý organismus
  - stroj

# Historické poznámky

- tradičně:
  - věda – jednoduché systémy, redukcionistický přístup
  - filosofie, humanitní obory – složité systémy
- do pol. 20. stol.: vědecké nástroje nepoužitelné pro studium komplexních systémů
- pol. 20 stol.: první metody (buněčné automaty, umělá inteligence), ale nepoužitelné prakticky
- od 90. let: dostatečně silné a rozšířené počítače ⇒ použitelnost metod, rozvoj studia komplexních systémů

# Pohled z 30. let (Bertrand Russel)

... jak v oblasti těch největších, tak i nejmenších rozměrů, všude se nám zdá, že věda dosahuje svých hranic. [...] Zákony změn lze patrně shrnout do velmi malého počtu obecně platných principů, podle nichž je možno určovat minulost i budoucnost světa, je-li znám kterýkoli sebekratší okamžik jeho dějin. **Vědy zabývající se studiem neživé přírody blíží se tak stadiu dovršení, čímž přestanou být zajímavé.** [...] Teoreticky by bylo možno zaznamenat všechny údaje o poloze částic do velké knihy a tu pak uložit spolu s počítačím strojem, který by na pouhé stisknutí knoflíku poskytoval tazateli žádané údaje z libovolného, do záznamu nepojatého časového období. Těžko si představit něco méně zajímavého, něco tak vzdáleného onomu vášnivému zaujetí, jímž jsou neseny dílčí objevy. Je vám, jako kdybyste po namáhavém výstupu na vysokou horu nenašli na vrcholku nic než v mlze ponořenou restauraci, kde vyhrává rádio a pije se zázvorové pivo.

# Proč se (nejen) Russel mýlil?

- kvantová fyzika, neurčitost
- nerozhodnutelnost, meze formálních systémů
- chaos, nelinearita, citlivost k počátečním podmínkám

# Role počítačů

Význam počítačů pro studium komplexních systémů:

- zpracování rozsáhlých dat (např. genom)
- nové typy data (statistiky z webu, mailu, telefonů, dokumentů)
- práce s velkými modely, simulace

# Myšlení (nejen o systémech)

- intuitivní myšlení
- systémové (holistické) myšlení vs. redukcionistické myšlení
- induktivní vs. deduktivní myšlení
- centralizované vs. decentralizované myšlení

(budou se opakovaně objevovat v dílčích tématech)

# Intuitivní uvažování

- intuitivní uvažování („selský rozum“) vystačí většinou u jednoduchých systémů
- u komplexních systémů děláme chyby
- výpočetní modely – mj. pomůcka pro lepší myšlení

# Lineární uvažování

- příklad: řasy v rybníce



# Lineární uvažování

- příklad: řasy v rybníce
- tendence extrapolovat (lineárně) trendy
- experiment s prokládáním bodů
- *„Když nárůst koncentrace  $CO_2$  v atmosféře o 25 % způsobil nárůst teploty o  $0,5^\circ C$  a žádné zásadní změny klimatu, tak nárůst o dalších 25 % taky nic moc nezmění.“*

# Krátkodobý výhled

- příklad: kuřáci a tříletý výhled
- metafora: vařící se žába („Boiling frog“)
- komplexní systémy: dlouhodobé zlepšení často vyžaduje krátkodobé zhoršení

# Zjednodušené uvažování o příčinách

- příklad: X protože Y
- konsekvence a kauzalita – poté, tedy proto
  - šaman a déšť
  - krize v zemi A  $\Rightarrow$  krize v zemi B
- korelace a kauzalita
  - zapalovače a rakovina
  - sportovní vybavení a výkon
- přehlížení zpětných vazeb

# Experiment s kartami

- karty: z jedné strany písmeno a z druhé číslo
- hypotéza: karty se samohláskou mají z druhé strany sudé číslo
- Které karty je nutno otočit pro ověření platnosti hypotézy?



(více informací: „Wason selection task“)

# Experiment 2-4-6

- trojice čísel
- pravidlo udává, které trojice platné a které ne
- 2-4-6 je platná trojice
- můžete se ptát na trojice
- úkolem je zjistit pravidlo

# Ovlivnění paradigmatem

- Struktura vědeckých revolucí – T. Kuhn
- rozpoznávání karet a nestandardní karty (černá srdcová)
- optické klamy (The Spinning Dancer)
- potvrzování místo vyvracení  
příklad: experiment s kartami, 2-4-6
- ovlivnění vstupních informací  
příklad: NASA a měření ozónu
- Darwin a jeho deníček

# Neintuitivnost komplexních systémů

- požáry v amerických národních parcích
- protipovodňové opatření a zvýšené povodně
- budování silnic vedoucí k více zácpám
- bezpečná auta vedoucí k nebezpečné jízdě
- zákaz potratů
- zařízení šetřící čas vedoucí k nedostatku času
- DDT

# Role modelování

výpočetní modely:

- nás nutí přesně formulovat předpoklady
- ukazují nezakreslené důsledky těchto předpokladů
- názorně ilustrují neintuitivní chování
- mohou tak pomoci část chyb intuitivního myšlení překonat



# Deduktivní a induktivní uvažování

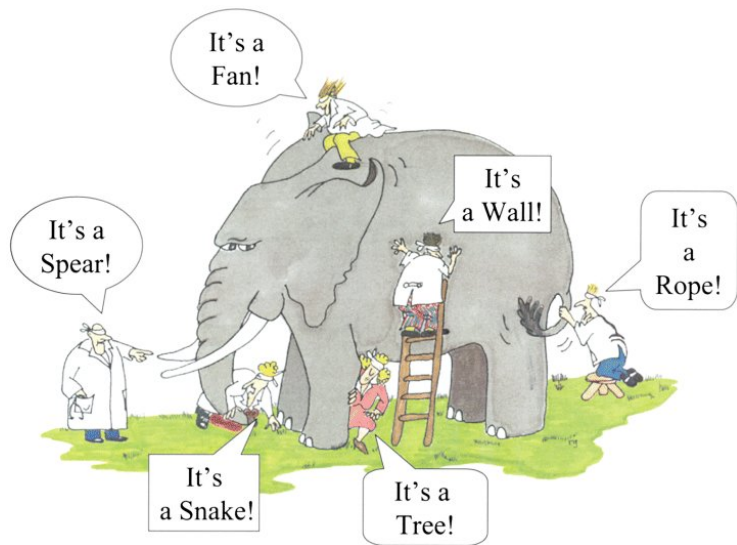
- **deduktivní** uvažování
  - předpoklady  $\Rightarrow$  logicky platné závěry
  - snadno formálně uchopitelné
  - neodpovídá lidskému myšlení
- **induktivní** uvažování
  - zevšeobecňování, odvozování obecných zákonů z konkrétních příkladů, odhadování vývoje, ...
  - používáno lidmi
  - těžko formálně uchopitelné

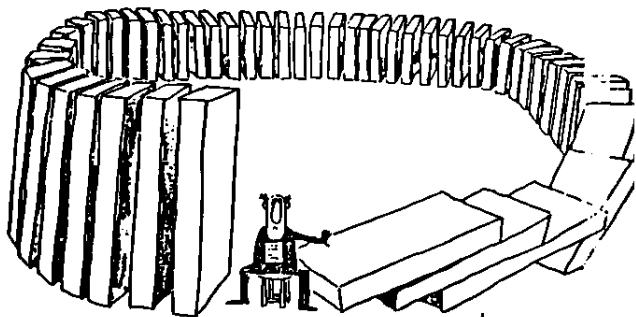
# Centralizované vs. decentralizované myšlení

- intuitivní ~ centralizované
- komplexní systémy ~ decentralizované
- **centralizované** myšlení:
  - negativní zpětná vazba
  - centralizované příčiny
  - význam „uzlů“
- **decentralizované** myšlení:
  - pozitivní zpětná vazba
  - konstruktivní role náhody
  - význam „vztahů“

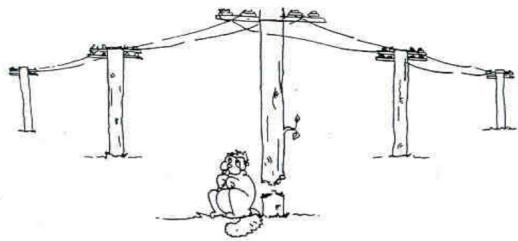
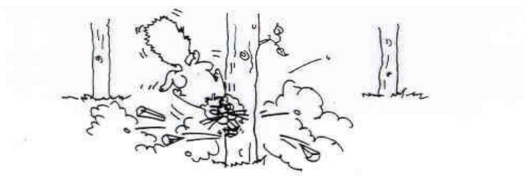
# Systémové myšlení: slogany a metafory

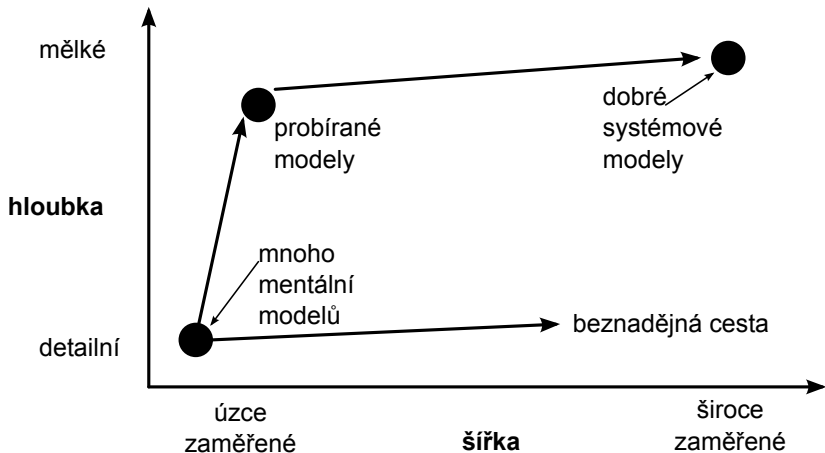
- celostní pohled na systémy a na studium vztahů mezi jednotlivými částmi
- Vidět les, nejen stromy.  
(častěji spíš: Pro stromy les nevidět.)
- Mysli globálně, jednej lokálně.
- žába ve vodě
- slepí pozorovatelé a slon





Drawing by Lewis; © 1976 The New Yorker Magazine, Inc.





# Redukcionismus a holismus

---

redukcionismus (systém lze poznat na základě studia částí)

holismus (systém je víc než součet částí)

---

důraz na studium částí

důraz na studium interakcí, souvislostí

lineární uvažování

nelineární uvažování

dedukce

indukce

příčina → následek

zpětné vazby

analytické řešení

experiment/simulace

---



# Ilustrace: pohled na dějiny

- „klasický“ pohled
  - významné osobnosti, jejich činy, výroky
  - lineární vysvětlení událostí
- „systémový“ pohled
  - struktura systému
  - zpětné vazby, provázanost

viz např.

- *J. Diamond, Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies*
- *H. Hobhouse, Seeds of Change: Six Plants That Transformed Mankind*

# Ilustrace: pohled na dobro a zlo

- „klasický“ pohled
  - důraz na jednotlivce
  - „bad apples“
- „systémový“ pohled
  - důraz na pravidla systému
  - „bad barrels“, „bad barrel-makers“

Philip Zimbardo:

- Stanford prison experiment
- TED talk *How people become monsters ... or heroes*
- kniha *The Lucifer Effect: Understanding How Good People Turn Evil*

# Shrnutí

- komplexní systémy jsou „složitě“
- intuitivní uvažování – chyby
- **modelování a simulace** (v tomto kurzu) především jako **nástroj pro lepší uvažování o světě**