

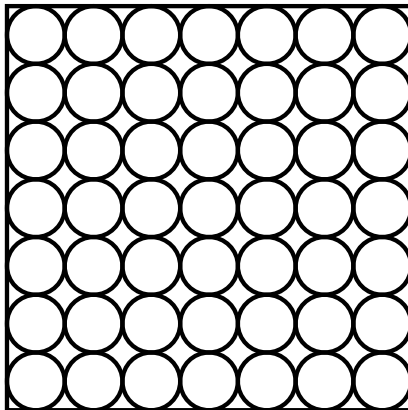
Komplexní systémy, myšlení o systémech

Radek Pelánek

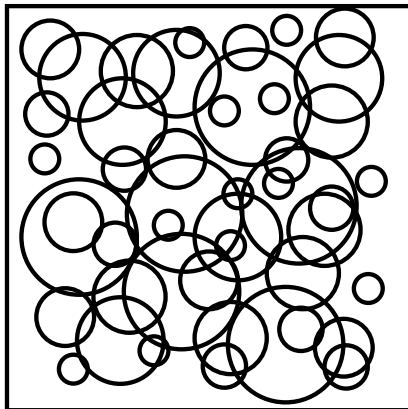
- není žádná formální definice
- není žádné přesné vymezení
- plynulý přechod
- závislost na úhlu pohledu, na míře abstrakce
- představení přes příklady, výčet charakteristik

- dvojice
 - jeden vidí obrázek
 - druhý obrázek nevidí a má ho nakreslit
- cíl:
 - nakreslit obrázek, který **vypadá podobně** (působí podobným dojmem) – není nutno, aby byl zcela stejný
 - minimální komunikace

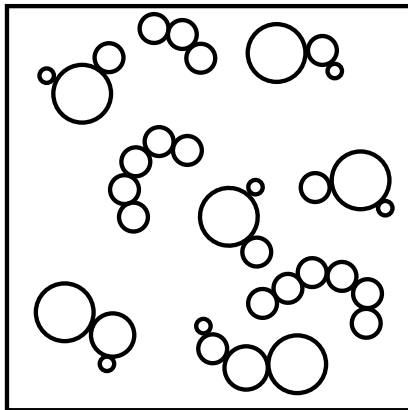
Obrázek 1



Obrázek 2



Obrázek 3

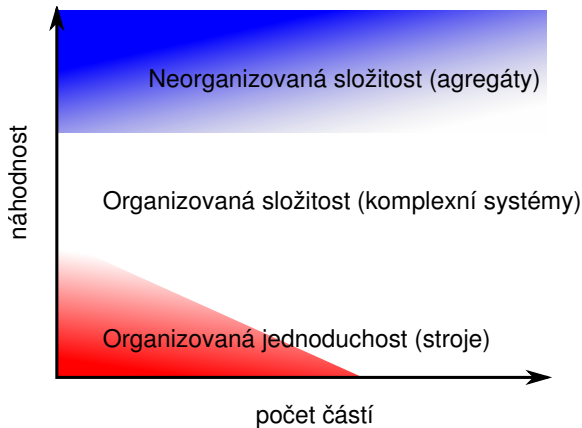


Složitost

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 Iyengar)

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...

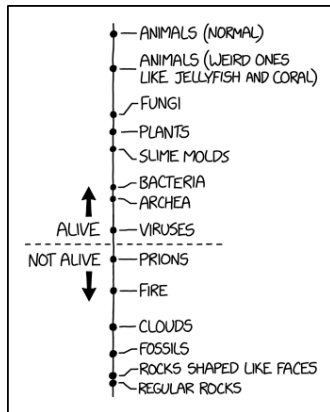
- Jak můžeme studovat něco, co nemáme ani pořádně definováno?
- A co biologie a život?

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, ...



<https://xkcd.com/2307/>

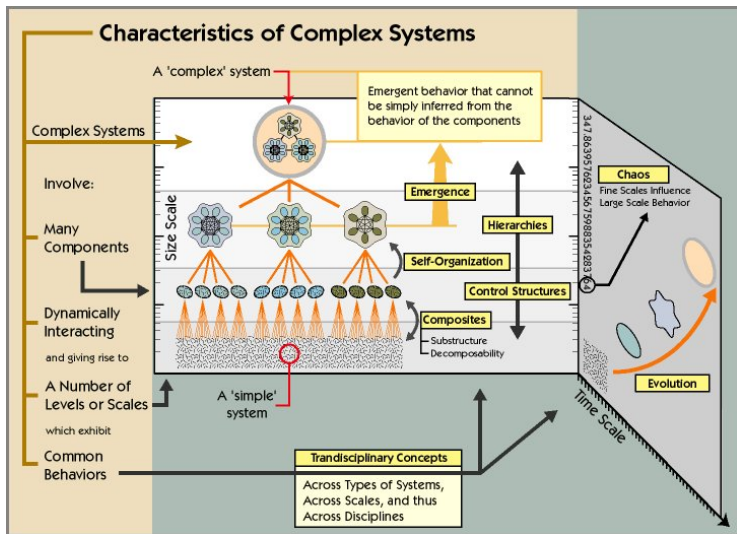
Příklady komplexních systémů

- 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), ale nepoužitelné prakticky
- od 90. let: dostatečně silné a rozšířené počítače $\Rightarrow$ 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 nesený 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

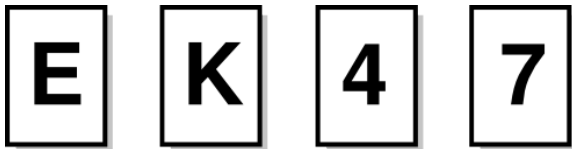
- příklad: kuřáci a tříletý výhled
- metafora: vařící se žába („Boiling frog“)
- komplexní systémy: dlouhodobé zlepšení často vyžaduje krátkodobé zhoršení

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
 - <http://www.tylervigen.com/spurious-correlations>
- 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 vedoucích k více zácpám
- bezpečná auta vedoucích k nebezpečné jízdě
- zákaz potratů
- zařízení šetřící čas vedoucích k nedostatku času
- DDT

Role modelování

výpočetní modely:

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

Deduktivní a induktivní uvažování

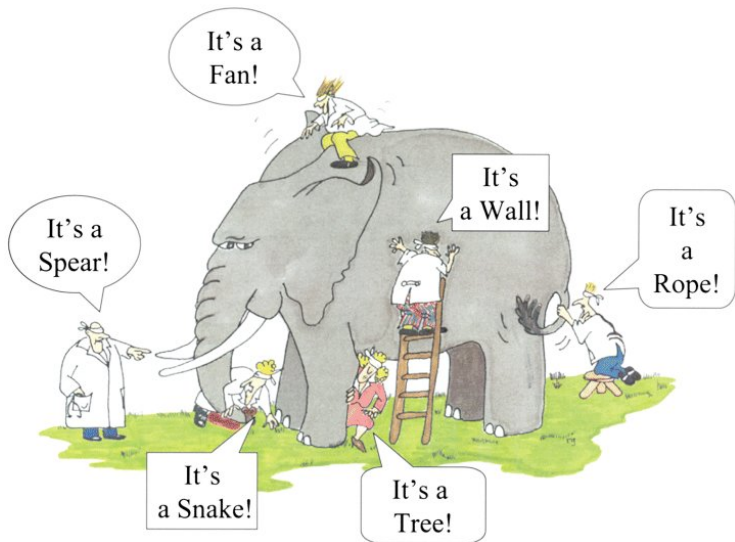
- **deduktivní** uvažování
 - předpoklady $\Rightarrow$ logicky platné závěry
 - snadno formálně uchopitelné
 - neodpovídá lidskému myšlení
- **induktivní** uvažování
 - zevšeobecňování, odvozování obecných zákonů z konkrétních příkladů, odhadování vývoje, ...
 - používáno lidmi
 - těžko formálně uchopitelné

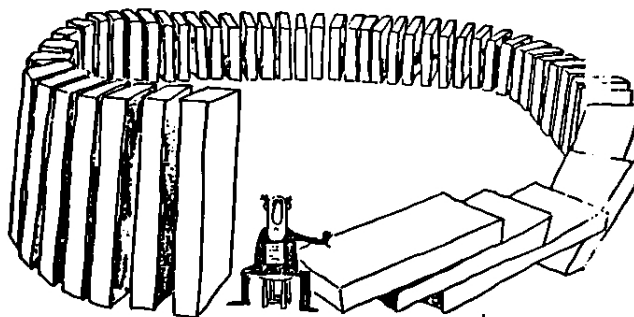
Centralizované vs. decentralizované myšlení

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

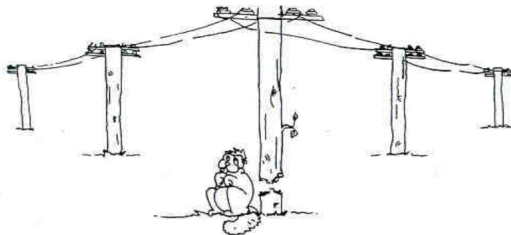
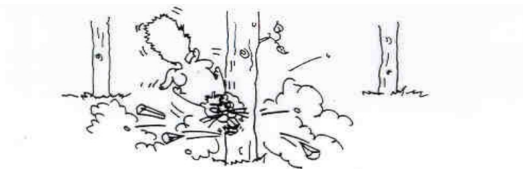
Systémové myšlení: slogany a metafory

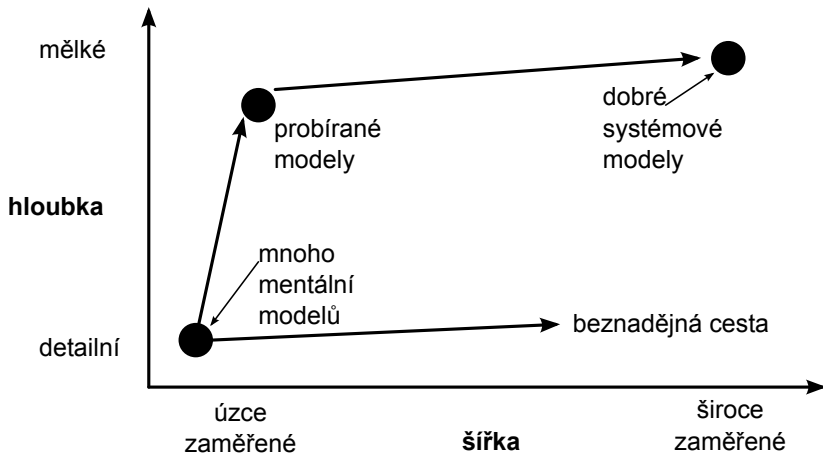
- celostní pohled na systémy a na studium vztahů mezi jednotlivými částmi
- Vidět les, nejen stromy.
- žába ve vodě
- slepí výzkumníci a slon





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





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*
- ale také kritika, např. *Humankind* (R. Bregman)

Shrnutí

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