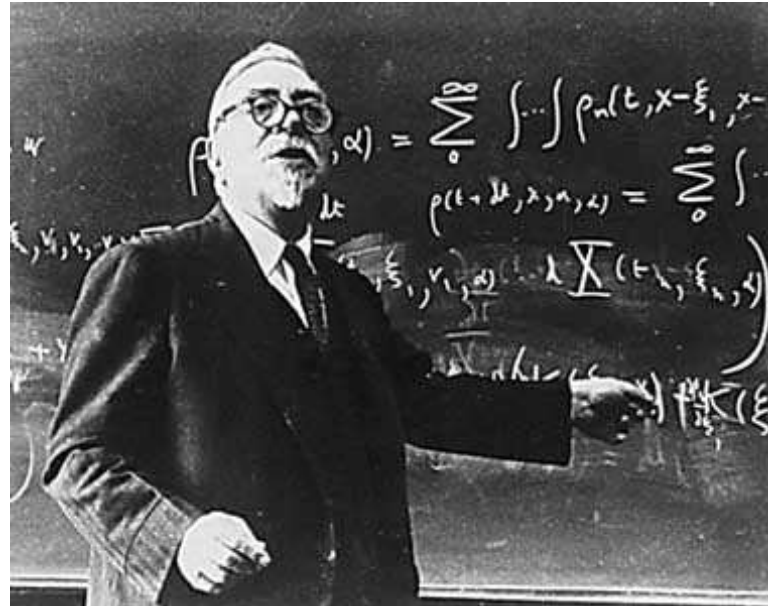


Přednášky z lékařské biofyziky

Masarykova univerzita v Brně



Norbert Wiener 26.11.1894 - 18.03.1964

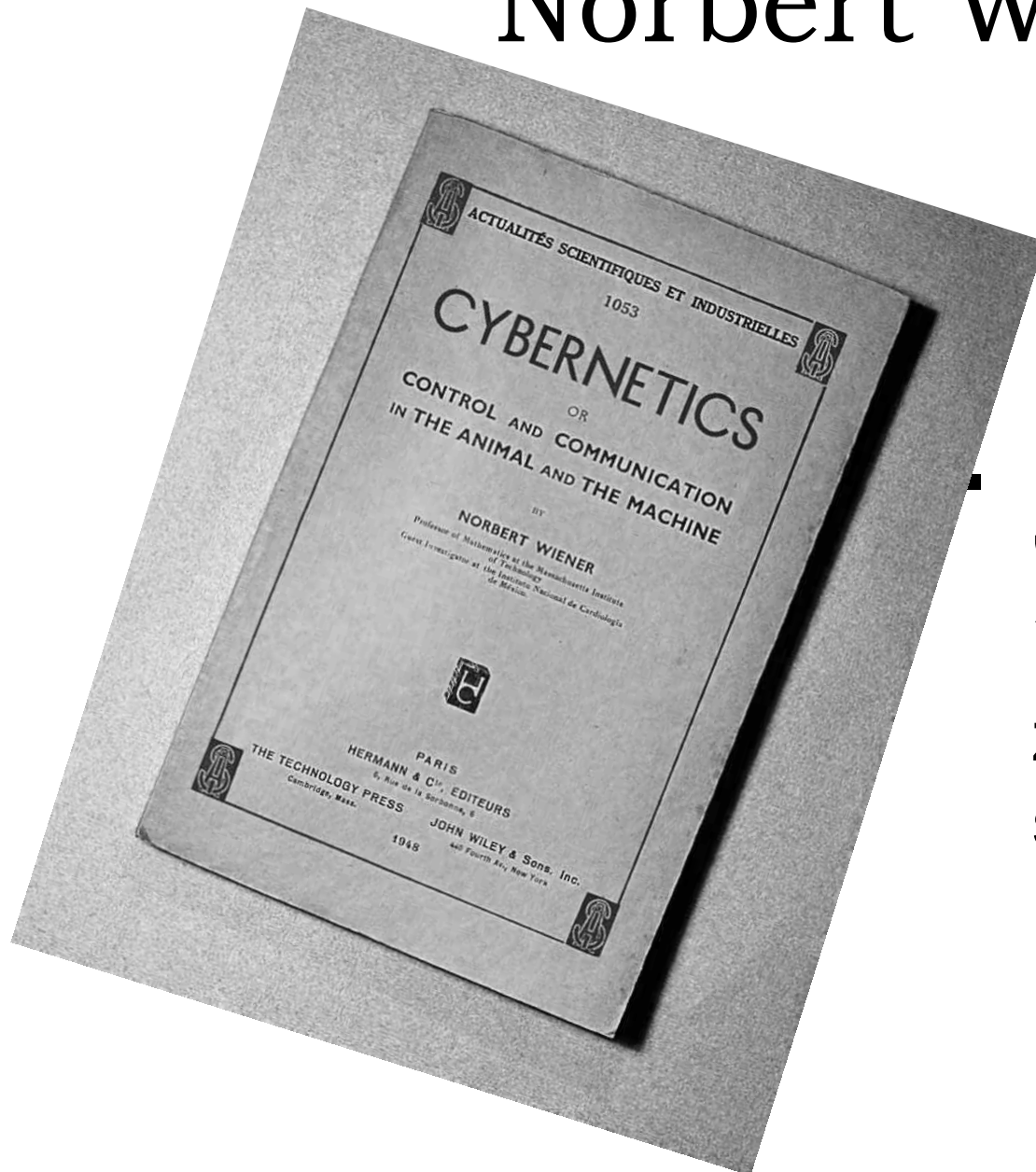
Biokybernetika

Kybernetika

Vznik po 2. světové válce - důsledek integračních snah ve vědě

- **základy:**
 - matematická logika
 - teorie pravděpodobnosti
- **metody:**
 - jednotlivé formy matematické analýzy

Norbert Wiener



• *N. Wiener:*

"Kybernetika neboli řízení a sdělování v živých organismech a strojích", (1948)

Jaká je a co studuje

- Kybernetika je (systémová) věda zabývající se obecnými rysy a zákonitostmi informačních a řídicích procesů v organizovaných systémech, vymezených na objektech technického, živého či společenského charakteru.
- Jejím předmětem jsou systémy, v nichž probíhají procesy řízení, regulace, přenosu a zpracování informace.

Jak se člení

- **Hlavní součásti:**
- teorie systémů
- teorie her
- teorie algorytmů
- teorie samočinných počítačů
- teorie informace
- teorie regulace a řízení



Jak se člení

Lze rozlišit:

- Teoretická kybernetika - matematický popis systémů
- Experimentální kybernetika - modelování a simulace
- Aplikovaná kybernetika - v konkrétních oblastech lidské činnosti, např. technická kybernetika, biokybernetika a společenská kybernetika

Biokybernetika a lékařská kybernetika

- **Hlavní cíl:**
- analýza a modelování regulačních a řídicích systémů živého organismu za fyziologických i patologických podmínek (patologický proces - narušení regulačních mechanismů)
- **Lékařská kybernetika:**
 - aplikace kybernetiky a jejích technických prostředků na lidský organismus za fyziologických i patologických podmínek.
 - Podpora lékařského rozhodování při diagnostice i při plánování terapie
 - Využívání kybernetických principů při řízení zdravotnictví = zdravotnická kybernetika.

KYBERNETICKÉ SYSTÉMY

- **Charakteristické znaky systému**
 - **System** - soubor nebo množina prvků, mezi nimiž existují určité vztahy
 - prvek / subsystem
 - reálné a abstraktní systémy
- **Znaky kybernetického systému:**
 - Vyjádření objektivní skutečnosti. Chápeme jako soubor vztahů mezi prvky
 - Zjednodušené vyjádření skutečnosti
 - Volba systému musí odpovídat určenému cíli.
 - Pro jeho správné posouzení je třeba znát jeho strukturu i funkci

Analýza a syntéza systému

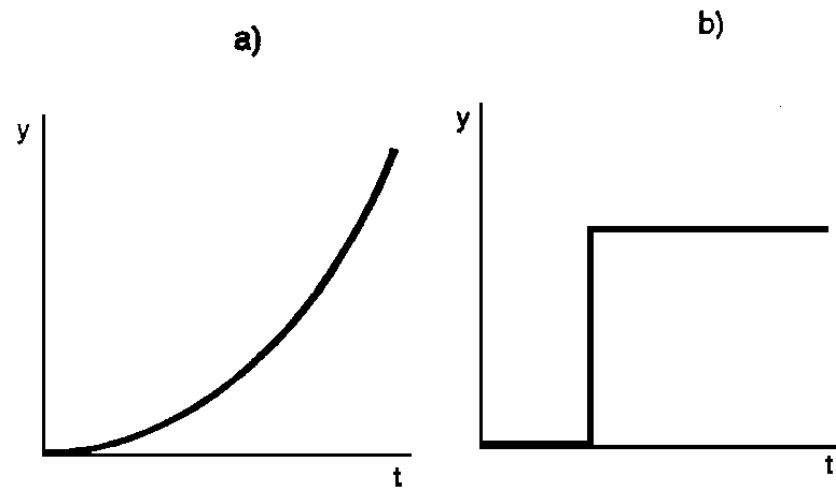
- **Analýza systému** - známe strukturu - máme určit jeho chování
- **Syntéza systému** - určujeme strukturu - známe chování
- **System** o neznámé struktuře a chování = černá skříňka. Jeho **identifikaci** provádíme na základě souvislostí mezi souborem vstupních a výstupních veličin.

Členění systémů

- **Podle vztahů mezi prvky dělíme systémy na**
 - Statické - z pasivních (neovlivňujících se) prvků
 - Dynamické - z aktivních prvků se vstupem a výstupem, které jsou ve vzájemných funkčních vztazích (látkové, energetické nebo informační vazby)
- **Systémy lze dělit dle jejich vztahů k okolí na**
 - absolutně uzavřené (interakce s okolím neexistuje)
 - relativně uzavřené (interakce s okolím je omezená)
 - otevřené (interakce s okolím je mnohočetná)

Charakteristika systému

- Závislost hodnot výstupní veličiny na změnách hodnot veličiny vstupní =
- = statická charakteristika systému.
- Podle této charakteristiky rozlišujeme systémy na:
 - lineární (přímka, ideální případ)
 - nelineární
- linearizace nelineárního systému - aproximace přímkou

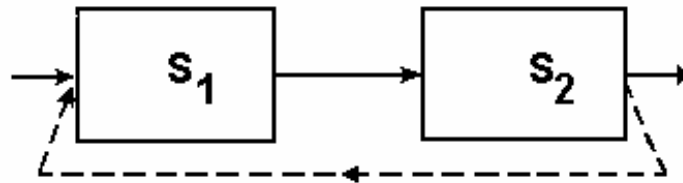


Časový průběh změn výstupní veličiny určuje chování systému - spojitý nebo nespojitý

DYNAMICKÉ SYSTÉMY A JEJICH VLASTNOSTI

- Základní vlastnost: mnohočetná interakce s okolím.
- Souhrn vlivů, kterými okolí působí na systém:
vstup
- Souhrn vlivů, kterými systém působí na okolí:
výstup
- Vstupní veličiny jsou nezávislé. Výstupní veličiny jsou závislé (na veličinách vstupních a na vnitřních veličinách daného systému)
- **Příklad:** ucho
- Vztah mezi výstupem a vstupem dvou či více subsystémů: vazba (sériová, paralelní nebo zpětná)

Zpětná vazba



- **Zpětná vazba:** působení výstupní veličiny systému na vlastní vstup
- U **kladné zpětné vazby** působí odchylka výstupní veličiny tak, že veličina vstupní je trvale zesilována nebo zeslabována (kumulační účinek - nežádoucí pro řízení dynamických systémů)
- U **záporné zpětné vazby** působí změna výstupní veličiny proti směru veličiny vstupní a tím změnu vstupní veličiny minimalizuje (účinek kompenzační - umožňuje regulaci)

Transformace

- **Transformace:** množina přechodů stavů vstupních veličin do stavů veličin výstupních (jednoznačná, víceznačná)
- U víceznačných transformací: chování systému **nahodilé** nebo **determinované**
- **Základní formy transformací:**
 1. Zesílení nebo zeslabení vstupních hodnot
 2. Zpoždění jejich průběhu
 3. Provádění jednoduchých logických operací
 4. Selektivní propustnost
 5. Generování určitých průběhů aj. (též deformace vstupních hodnot)
- Všechny uvedené formy transformací se výrazně projevují v biologických systémech
- Vztahy mezi průběhem vstupních a výstupních veličin daného dyn. systému nemusí být neměnné. Dynamické systémy mohou být schopny adaptace i učení.

Principy teorie informace

Náhodný jev

- **Informace:** jakýkoliv údaj o jevech a procesech probíhajících v systému i v jeho okolí. Informace vyjadřuje **vztah** mezi systémy i mezi prvky téhož systému.
- **Náhodný jev:** takový jev, který v daných časových a prostorových podmínkách může, ale také nemusí nastat

Četnost výskytu jevu F_A :

$$F_A = n/N$$

n - počet případů, v nichž jev nastal

N - celkový počet „pokusů“

Pravděpodobnost a informační entropie

- **Pravděpodobnost** $P(A)$ - střední hodnota četnosti dané události
- Pravděpodobnost může nabývat hodnot od 1 do 0 čili ($1 > P(A) > 0$)
- Událost nemožná a jistá
- Pokus, jehož výsledkem může být hodnota $A_1 \dots A_n$ se stejnou $P(A)$: S rostoucím n roste stupeň neurčitosti (daný počtem dílčích neurčitostí) - označuje se jako **informační entropie**
- n vzájemně se vylučujících jevů s $P(A_1), P(A_2) \dots P(A_n) \Rightarrow$ **stupeň neurčitosti** N_i jednoho možného výsledku je:
 - $N_i = -P(A_i) \cdot \log_2 P(A_i)$
 - Informační entropie celého pokusu: (součet dílčích neurčitostí)
 - $H = \sum -P(A_i) \cdot \log_2 P(A_i)$

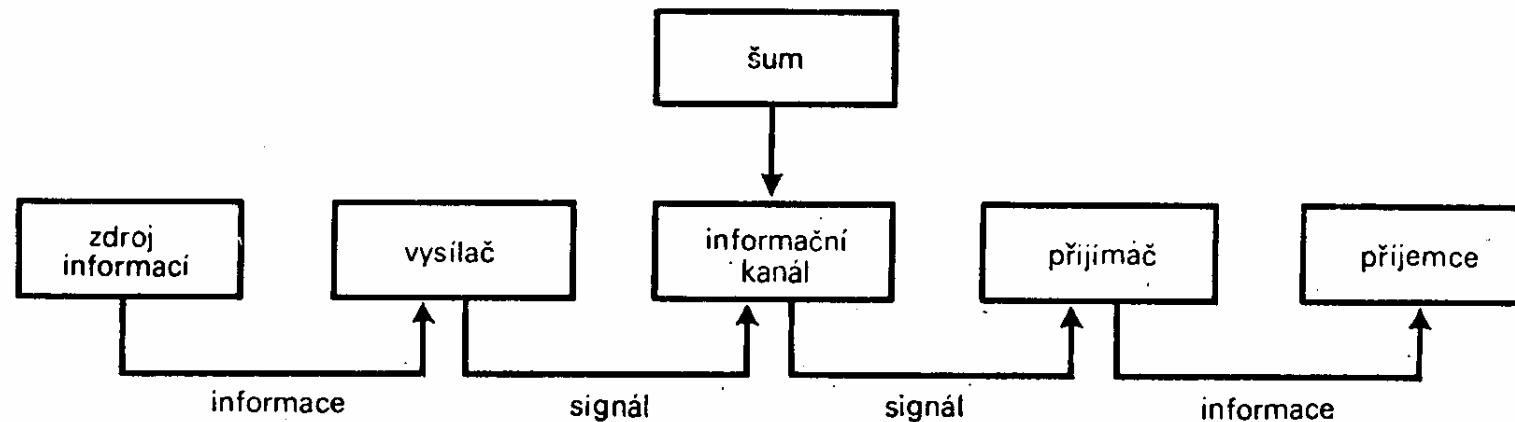
Pravděpodobnost a informační entropie

- Intuitivně: nejistota může být odstraněna dodáním odpovídajícího množství informace
- Poslední výraz je tedy i kvantitativním vyjádřením množství (objemu) informace.
- Informace zvyšuje uspořádanost systému
- $P(A)$ velké - malé množství informace a naopak
- Pokus poskytuje dva alternativní výsledky se stejnými $P(A) = 0.5 \Rightarrow$
- $H = - (0,5 \cdot \log_2 0,5 + 0,5 \cdot \log_2 0,5) = 1$
- 1 bit (*binary digit*)

Informační systém

- **Tři části:**
 - zdroj informace
 - měnič-vysílač (kódování)
 - informační kanál (šum)
 - přijímač (dekódování)
 - příjemce informace
- Materiálním nosičem informace je **signál**.
- **Informační kanál** = prostředí, v němž se uskutečňuje předávání signálu
- **Symboly** - bezrozměrné veličiny kvalitativně zobrazující daný jev
- **Poloha** - prostorové a časové rozmístění symbolů v procesu kódování
- Elementární signál nese jeden bit informace
- Max. množství informace, které může informační kanál přenést za časovou jednotku = **kapacita informačního kanálu**

Redundance



- **Šum** = vlivy snižující původní množství přenášené informace
- nadbytečná informace eliminující šum -
- - informace redundantní.
- **Redundance** R je dána vzorcem:
- $R = 1 - H/H_{MAX}$
- Jazyky - redundance relativně vysoká (Č.J. asi 70 %),
přírodní vědy - nízká.

Informační pochody v živém organismu

- Lidský organismus může zpracovat při optimální nabídce informací tok o hodnotě asi $35 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Přenos a zpracování informace v živém organismu: **humorální a nervový**
- Tři úrovně:
 - základní biochemické reakce (řízení syntézy bílkovin – humorální mechanismus)
 - autonomní systémy (regulace např. srdeční činnosti - humorální i nervové mechanismy)
 - centrálním nervový systém

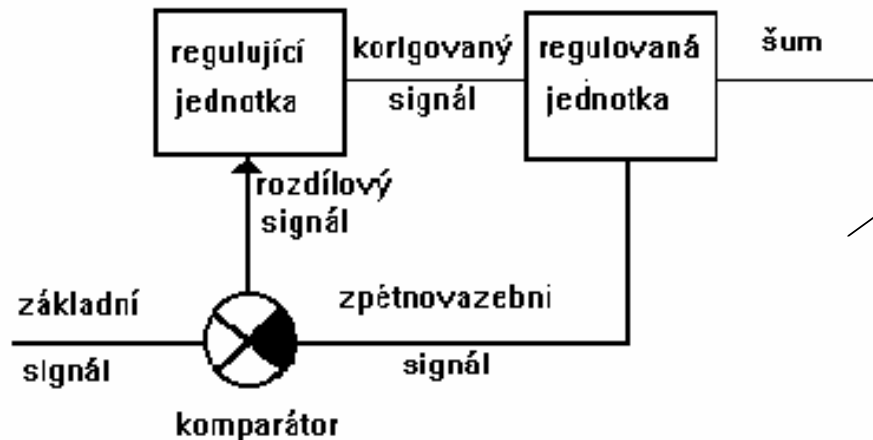
Příklady informačních procesů v lidském organismu:

- CNS: Zpracování informace ve zrakovém analyzátoru, ve žluté skvrně je asi 10^7 receptorů, každý může rozlišit 120 úrovní intenzity světla čili 7 bitů informace. Oko dovede rozlišit 10 obrazů/s, takže kapacita zrakového analyzátoru na úrovni sítnice je asi $7 \cdot 10^8$ bit/s. Zrakový nerv obsahuje asi 10^6 nervových vláken. Každým může být převedeno asi 300 činnostních potenciálů za sekundu, takže kapacita *n. opticus* je asi $3 \cdot 10^8$ bit/s. Ve srovnání s televizním kanálem (10^7 bit/s) tato kapacita asi o řád vyšší.

Příklady informačních procesů v lidském organismu:

- **DNA:** DNA obsahuje čtyři dusíkaté báze: A, G, C a T. Kterýkoli nukleotid může obsahovat jen jednu z nich. Informace nesená jedním nukleotidem bude tedy 2 bity. DNA lidské spermie obsahuje 10^9 nukleotidů, čili informaci $2 \cdot 10^9$ bitů.
- **Bílkovina:** 20 různých AK - informace nesená jednou AK je tedy přibližně 4 bity. Molekula bílkoviny obsahuje cca 10^3 AK zbytků, takže její inf. kapacita je cca $4 \cdot 10^3$ bitů. Podíl celkové informace molekuly DNA a informace nesené bílkovinou určuje počet bílkovinných molekul schopných syntézy - $5 \cdot 10^5$.
- Předpoklad: 1 bílkovina = 1 enzym, 1 enzym kódován 1-ním genem \Rightarrow DNA chromozómů lidské spermie obsahuje asi $5 \cdot 10^5$ genů.

Řízení a regulace



- Řízení - změny v chování systému vyvolané informací předanou tomuto systému z řídicí části.
- Podle složitosti procesu řízení:
 - systémy ovládané - bez zpětné vazby
 - regulované - se zpětnou vazbou.
- Regulace - proces minimalizace rozdílů mezi skutečnými hodnotami regulovaných veličin a jejich požadovanou hodnotou
- Regulace automatická - znaky:
 - Přímé spojení (inf. kanál) mezi částí řídicí a řízenou
 - Zpětná vazba (záporná, krátká nebo dlouhá) mezi řízenou a řídicí částí
 - Automatická přeměna informací přijímaných kanálem zpětné vazby v příkazy řízení

Formy řízení v živých organismech:

- 1. Přímé řízení - příkazy řízení jsou z řídicí části předávány přímo části řízené.
- 2. Řízení s autonomní odezvou. Příkazy řízení jsou jen spouštěcím mechanismem pro přechod z jednoho stavu do druhého (humorální řízení).
- 3. Diferencované řízení - zahrnuje obě předešlé formy. Uskutečňuje se řídicím systémem se složitou zpětnovazební sítí (řízení CNS)

Automaty

- Technická zařízení využívající principů řízení a kontroly a do určité míry schopná pracovat samostatně - **automaty**:
 - 1. Bez zpětné vazby - provádějí jen programově řízený úkon, nemohou svoji činnost upravovat.
 - 2. Se zpětnou vazbou - mají schopnost autoregulace, v určitých mezích udržují svoji funkci.
 - 3. Schopné určitých logických operací, samočinné adaptace a učení. Mají-li vazbu s vnějším prostředím a jsou-li vybavena manipulační schopností, nazýváme je **roboty**.
- V lékařství se automaty používají k automatické laboratorní analýze biochemických a hematologických veličin nebo k monitorování a analýze základních životních funkcí.

Principy modelování

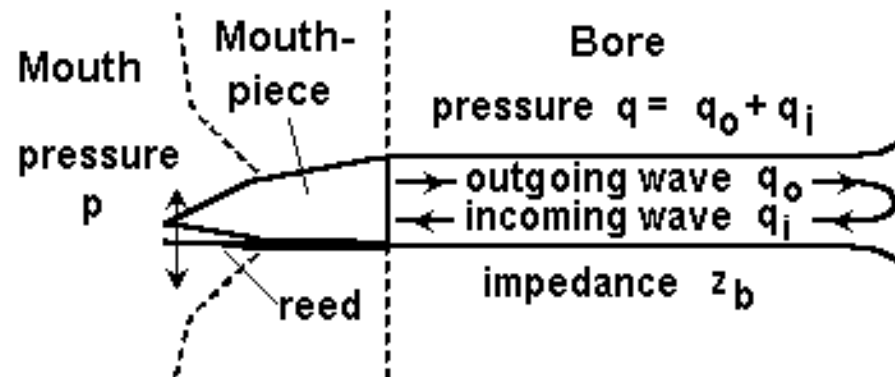
- Teoretický poznávací proces, jehož cílem je na základě zobrazení určité předlohy (originálu) poznání jejích vlastností. Záměru modelu je podřízen i způsob zobrazení.
- Základ modelování: **abstrakce ztotožnění**. U předmětů bereme v úvahu jen ty vlastnosti, v nichž se shodují. Model dostatečně zobrazující vlastnosti originálu může být využit jako zdroj informací o něm samotném i o jeho interakcích.
- **Analogie** - strukturní nebo funkční podobnost mezi předměty, procesy a jevy. Strukturní analogie spočívá v částečné nebo úplné shodě struktury dvou systémů.
- **Analogie funkční** (důležitější) - shoda funkčních vlastností dvou systémů, přičemž povaha prvků obou systémů může být značně rozdílná (např. funkční analogie mezi přirozenou a umělou ledvinou).
- Zvláštním druhem analogie je **isomorfie** - uvažované systémy vyhovují stejnému matematickému popisu.

Způsoby třídění modelů:

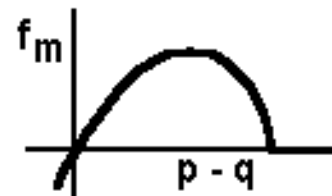
- **Formálně:** reálné (fyzikální, chemické) a abstraktní (matematické). Tyto lze dle obsahu náhodných prvků dělit na stochastické a deterministické.
- **Podle způsobu tvorby:** induktivní (z empiricky získaných informací) a deduktivní (na základě předpokládaných vztahů).
- **Podle účelu:** deskriptivní, sloužící k popisu vlastností originálu, a explanatorní, které slouží k ověření hypotéz. Výběr modelovaných vlastností musí být **reprezentativní** vlastnosti, které model nezobrazuje, nesmí znemožnit vyvození obecných závěrů.

Fyzikální model klarinetu

Clarinet Model -- Pressures and Flows



Mouthpiece: volume flow rate f_m



Bore: flow rate $f_b = (q_o - q_i)/z_b$ (1)

Flow continuity: $f_m = f_b$ (2)

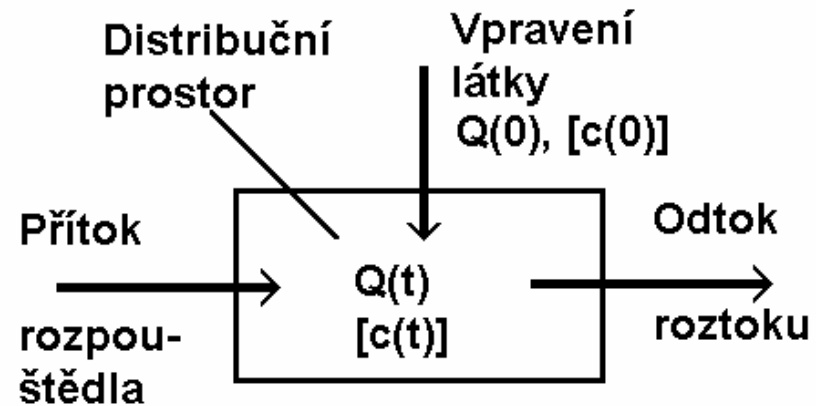
http://home.earthlink.net/~ijfritz/clar_dia.gif&imgrefurl=http://home.earthlink.net/~ijfritz/pm_close.htm&h=369&w=374&sz=5&tbnid=rJd5rIvfAbQJ:&tbnh=116&tbnw=117&start=15&prev=/images%3Fq%3Dmodel%2Bphysical%2Bflow%26hl%3Dcs%26lr%3D

Postup tvorby modelu a jeho využití:

- pozorování určitého jevu
- jeho experimentální ověření a pokud možno i kvantifikace
- sestavení modelu
- srovnání modelu s experimentálními výsledky
- Specifický druh modelování - **simulace** systémů.
Principem je nahrazení originálního systému simulačním modelem a zpětné ověření poznatků získaných pomocí simulačního modelu na původním systému. K simulaci se často využívají počítače.
- Matematické modelování biologických a fyziologických procesů (stimulováno např. rozvojem radionuklidových metod - kinetika, distribuce látek v organismu)

Složkové a integrální modely

Kompartmentový model



Q - množství látky
 t - čas
 c - koncentrace

Kompartiment: veškeré množství dané látky v určitém (distribučním) prostoru, ve kterém se chová vždy stejně

Dva základní typy matematických modelů živých systémů:

- **Složkový** (kompartimentový) model - používáme k popisu systémů, u nichž známe strukturu nebo složení. Je matematicky popsán soustavou lineárních diferenciálních rovnic. Jejich řešením jsou funkce popisující časový průběh proměnné veličiny v jednotlivých složkách modelu.
- **Integrální model** - používá se tam, kde neznáme složení nebo strukturu studovaného systému. Je založen na analýze vztahu vstupu a výstupu studovaného systému.

Dobrou chut!



See you later. Yours sincerely,

alligator