

# Aplikace kybernetiky ve strojírenství

## 1. Úvod do kybernetiky, základní pojmy

Ing. Jan Jakl, Ph.D.

Podpořeno v rámci projektu CZ.1.07/2.2.00/15.0383  
Inovace studijního oboru Dopravní a manipulační technika  
s ohledem na potřeby trhu práce



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Základní informace

## *Základní informace:*

- *Přednášky – st, 13:55 – 15:35, UC453, někdy UN510*
- *Cvičení – st, 15:45 – 17:25, UC433, někdy UN510*

## *Zápočet:*

- *Skupiny po 2/3 studentech/studentkách*
- *2 referáty + funkční program na PLC*

## *Zkouška:*

- *Písemná – 60 minut / 6 otázek*
- *Ústní – pro možnost zlepšení známky*

## *Přednášející + cvičící:*

*Ing. Jan Jakl, Ph.D.*

[\*jjakl@ntis.zcu.cz\*](mailto:jjakl@ntis.zcu.cz)

*UN524*

# Vznik kybernetiky

Několik informací ke vzniku kybernetiky

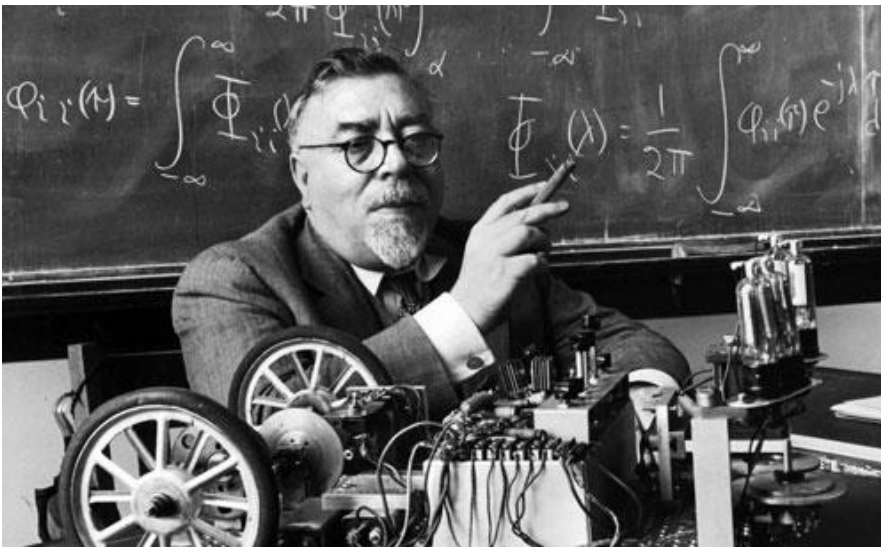
- Kybernetika jako vědní obor vznikla po 2. sv. válce
- Existují dva základní faktory ovlivňující vznik nových vědních oborů
  - Izolace – vědní obor úzce spojený s danou problematikou, například různé podobory chemie
  - **Zobecnění** – vědní obor spojen s širokou škálou řešených problémů, například teorie dynamických systémů, termomechanika, teorie zpracování signálů
- Vznik kybernetiky souvisel s touhou po poznání zákonitostí v řízení a výměně informací v obecně jakýchkoli **systemech** (živé organismy, stroje, společnost) – lze znalosti o chování živých organismů přenést do studia chování strojů?
- K tomu je potřebné studovat vzájemné vazby mezi různými systémy
- Výchozími vědními obory kybernetiky byly teorie dynamických systémů a teorie informace

# Vznik kybernetiky

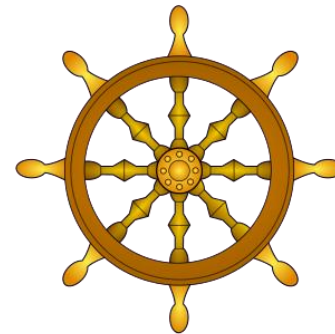
Norbert Wiener (1948):

*Cybernetics or the Control and Communication in the Animal and the Machine*

***Kybernetika je věda, která se zabývá obecnými principy řízení a přenosu informací ve strojích a živých organismech.***



Kybernetika – z řeckého Kybernétes –  
lodivod/kormidelník



***Cíle a metodologie kybernetiky jsou pro určité třídy objektů podobné, bez ohledu na jejich fyzikální podstatu.***

# Vznik kybernetiky

Některé základní pojmy:

- **Systém** – systém je tvořen množinou prvků a množinou vazeb mezi těmito prvky.
- **Zpětná vazba** – Informace o řízeném (sledovaném) objektu a její využití ke stanovení našeho dalšího působení na daný objekt.
- **Informace** – Zpráva/sdělení o zkoumaném objektu.
- **Stabilita** – konvergence chování daném systému k požadovanému cíli.
- **Black Box** – někdy ani nemusíme vědět jak daná věc přesně funguje, nebo znát její vnitřní uspořádání, ale pokud známe její stupně/výstupní závislosti jsme schopni ji zahrnout jakou součást složitějšího systému. Například jsme schopni se napít ze sklenice s vodou, aniž bychom přesně věděli jaké svaly a v jakém časovém sledu musíme zapojit. Pojem Black Boxu je významný zejména v úlohách identifikace systémů.

# System

## Co je to systém?

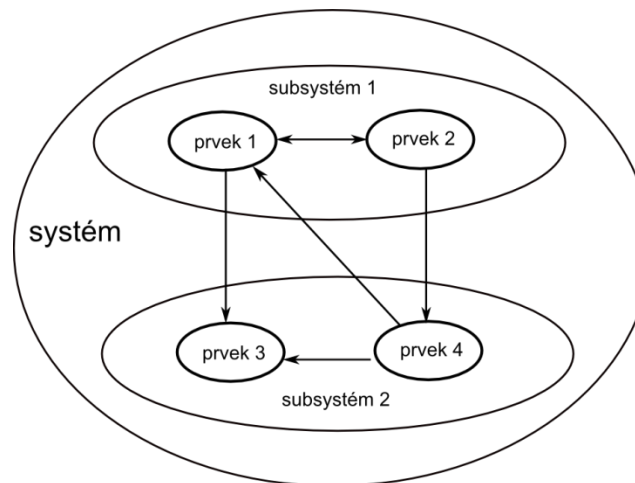
Obecná definice - systém je tvořen množinou prvků a množinou vazeb mezi těmito prvky.

## Vazby mezi prvky systému

- Energetické
- Informační

Funkční vazby mezi prvky uvnitř systému nazýváme vnitřní vazby.

Systémy, u kterých mezi prvky existuje kromě energetických vazeb alespoň jedna vazba informační, nazýváme **kybernetické systémy**.



## Energetická vazba

- dochází k vzájemnému ovlivňování systémů (prvků), spojených touto vazbou (zákon zachování energie, momentu, síly,...)



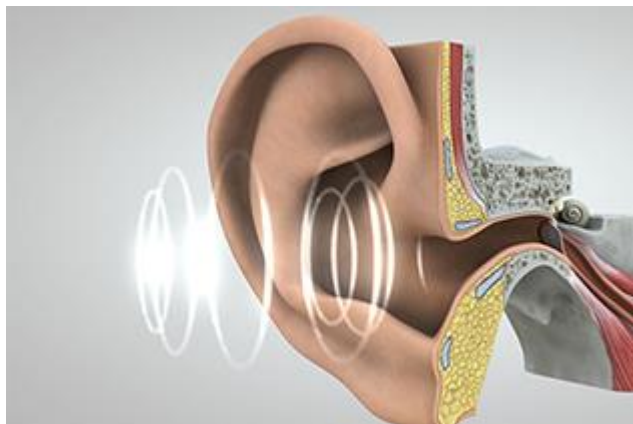
- V případě energetických vazeb se energie přenáší mezi systémy
- Z různých modifikací zákona o zachování energie je její hodnota stále konstantní, tj. jestliže se energie zcela přesune z objektu A do objektu B, pak je energie objektu A nulová!

## Informační vazba

- mezi systémy (prvky) dochází k výměně informace



- Informační vazba je vždy orientovaná
- Vlastností informace je to, že jestliže se informace dostává z objektu A, do objektu B, pak zůstává v objektu A zachována





# Informační vazba

**Informační vazba** - veličina a její kód (ten vždy závisí na dohodě).

Typ informační vazby závisí na typu signálu, který informaci přenáší.

## Informační vazby rozsahové

### *Analogové*

- napěťové:  $0 \div 10$  [V],  $\pm 10$  [V]...
- proudové:  $0 \div 20$  [mA],  $4 \div 20$  [mA]...

Součástí může být dohoda o rozsahu (kód), například  $0 \div 10$  [V] odpovídá  $40 \div 100$  [°C].

Součástí může být specifikace chyby (kód), například 1 [V] je  $-26$  [°C]  $\pm 1$  max [°C],  
nebo 1V je  $-26$  [°C]  $\pm 1$  [°C/95%] - v 95% je chyba menší než 1°C)

### *Datové*

- binární

například 2 B (Byt - bajt) číslo (kladné):

$$0100011000100101 = 2^{14} + 2^{10} + 2^9 + 2^5 + 2^2 + 2^0 = 17957$$

- znakové

například ASCII tabulka

zpráva 49, 55, 57, 53, 55 (5 bajtů) odpovídá posloupnosti čísel 1, 7, 9, 5, 7 v desítkové soustavě

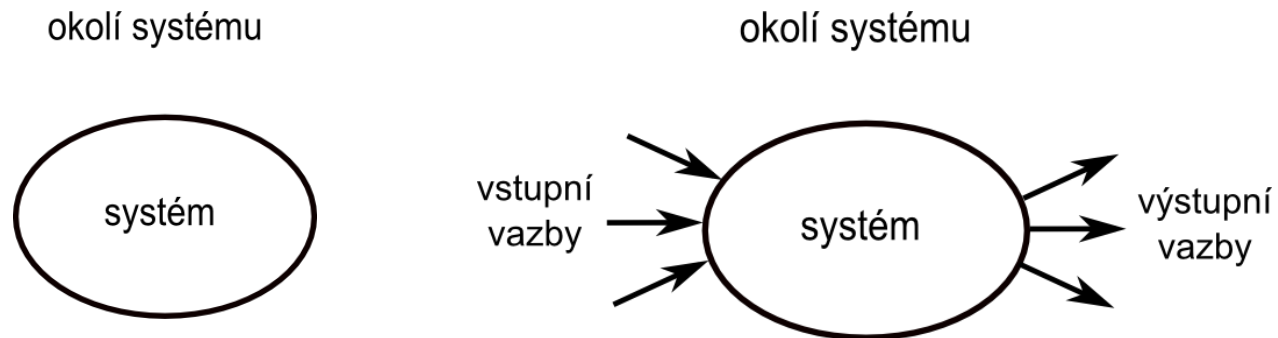
## Okolí systému

Prvky, které systém obklopují tvoří okolí systému.

Rozdělení systémů podle vztahu k okolí:

- Systémy otevřené – mezi systémem a okolím existují všechny možné vazby
- Systémy relativně uzavřené – mezi systémem a okolím existují pouze některé vazby
- Systémy uzavřené – mezi systémem a okolím neexistují žádné vazby

Interakce systému a okolí je zajištěna pomocí vstupních a výstupních vazeb.



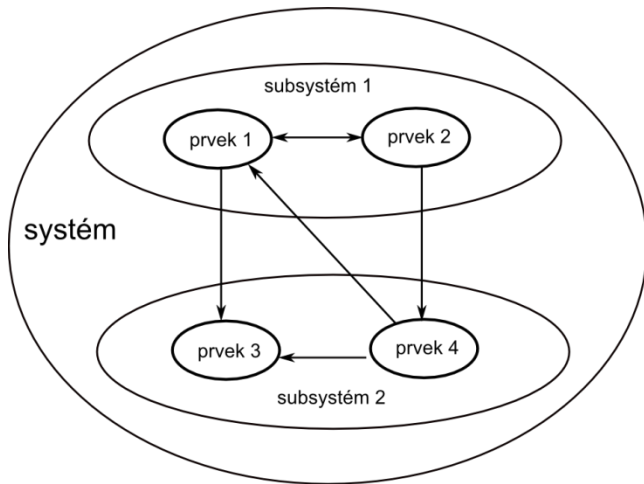
# Systémový přístup

## Systémový přístup

Základem systémového přístupu při řešení určitého problému, je analýza komplexních vzájemných vazeb jednotlivých prvků a jejich vztahu k systému (na rozdíl od mechanického přístupu, kdy se složitý systém rozděluje na jednodušší části, které se zkoumají odděleně).

### Role objektu v závislosti na rozlišovací úrovni

Podle zvolené rozlišovací úrovně můžeme na jednotlivé části systému nahlížet jako na prvky nebo na subsystémy, které by bylo možné dále dekomponovat na prvky, popř. na další subsystémy.



Členění systému na prvky a subsystémy může probíhat pouze v informačních vazbách!

Subsystém 2 je ryze kybernetický - obsahuje pouze informační vazby. Příklady některých ryze kybernetických systémů: počítač, programovatelný automat, měřicí ústředna, senzor, akční člen, regulátor.

# Systemy

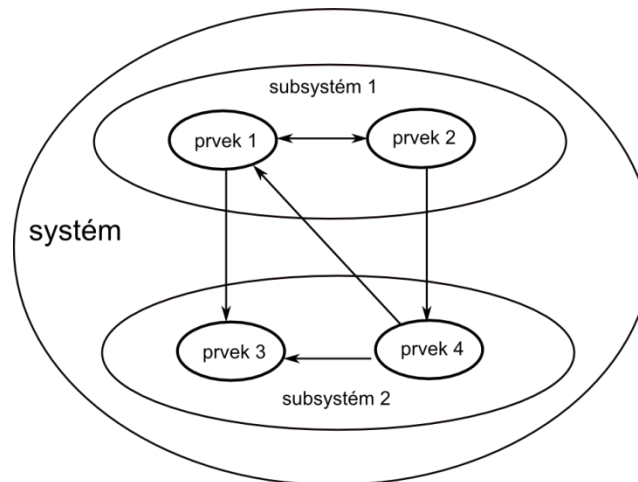
## *Rozdělení systémů*

### Podle typu

- Fyzikální systémy – například zvíře, rotorová soustava, automobil, společnost



- Abstraktní systémy – množina prvků



# Systemy

## Rozdělení systémů

### Podle spojitosti v čase

- Spojité systémy – čas nabývá hodnot z množiny reálných čísel – například měření teploty analogovým teploměrem



- Diskrétní systémy – čas nabývá hodnot z množiny celých čísel – například měření teploty digitálním teploměrem. Související problémy – diskretizace, kvantování



## ***Rozdělení systémů***

### **Podle typu signálů působících na systém**

- Deterministické systémy – chování systému je jednoznačně určeno průběhem vstupních veličin
- Stochastické systémy – na systém působí náhodné veličiny (nebo vlastnosti systému jsou náhodné), neurčíme průběh výstupu systému ale jeho rozdělení pravděpodobnosti

### **Podle závislosti systému na minulé, přítomné nebo budoucí hodnoty vstupů**

- Kauzální systémy – výstupy systému závisí na současných a minulých vstupech systému
- Nekauzální systémy – výstupy systému závisí i na budoucích vstupech systému

## ***Rozdělení systémů***

### **Podle přítomnosti paměti v systému**

- Statické systémy – chování systému závisí na okamžitých hodnotách vstupů.
- Dynamické systémy – chování systému závisí na aktuálních i minulých hodnotách vstupů a výstupů (minulost, zapomínání).

### **Podle linearity systému**

- Lineární – princip superpozice
- Nelineární – ostatní (hystereze, nasycení,...)

### **Podle změn parametrů v čase**

- T - invariantní – parametry systému se v čase nemění
- T - variantní – parametry systému se mění v čase - například proměnnost odporu s teplotou, stárnutí materiálu

# Modelování

**Studium kybernetických systémů je založeno na modelování**

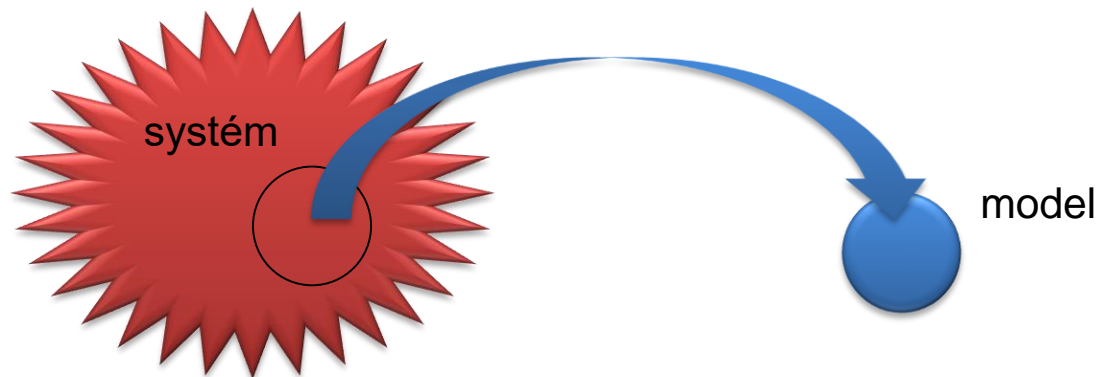
## Modelování

Postup, při kterém je reálný systém popsán svým modelem a využití tohoto modelu k lepšímu poznání zkoumanému systému.

## Model

Reprezentace znalostí o zkoumaném systému.

- U mnoha systémů nelze stanovit takový model, který by přesně postihoval všechny jeho vlastnosti.
- Omezujeme se jen na ty vlastnosti, které nás zajímají = zjednodušený model



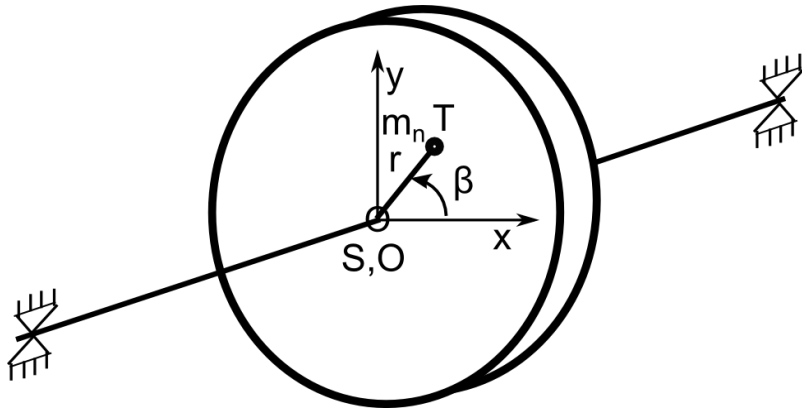


# Modelování

## Příklad

Rotor parní turbíny je systém, který je v interakci s velkým množstvím ostatních systémů (okolí systému) – lopatky, hydrodynamická ložiska, parní ucpávky, olejové vložky, pára (teplota),...

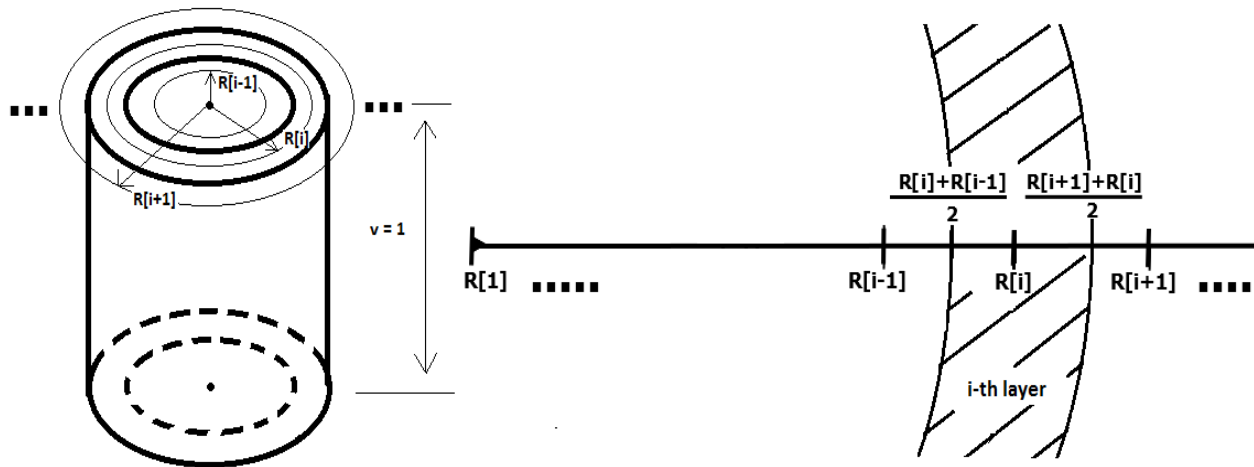
Při studiu **vibračních** vlastností rotoru lze v mnoha situacích jako model rotoru uvažovat zjednodušený model



$$\begin{aligned} m\ddot{x}_s(t) + b\dot{x}_s(t) + kx_s(t) &= m_n r \omega^2 \cos(\omega t + \beta) \\ m\ddot{y}_s(t) + b\dot{y}_s(t) + ky_s(t) &= m_n r \omega^2 \sin(\omega t + \beta). \end{aligned}$$

# Modelování

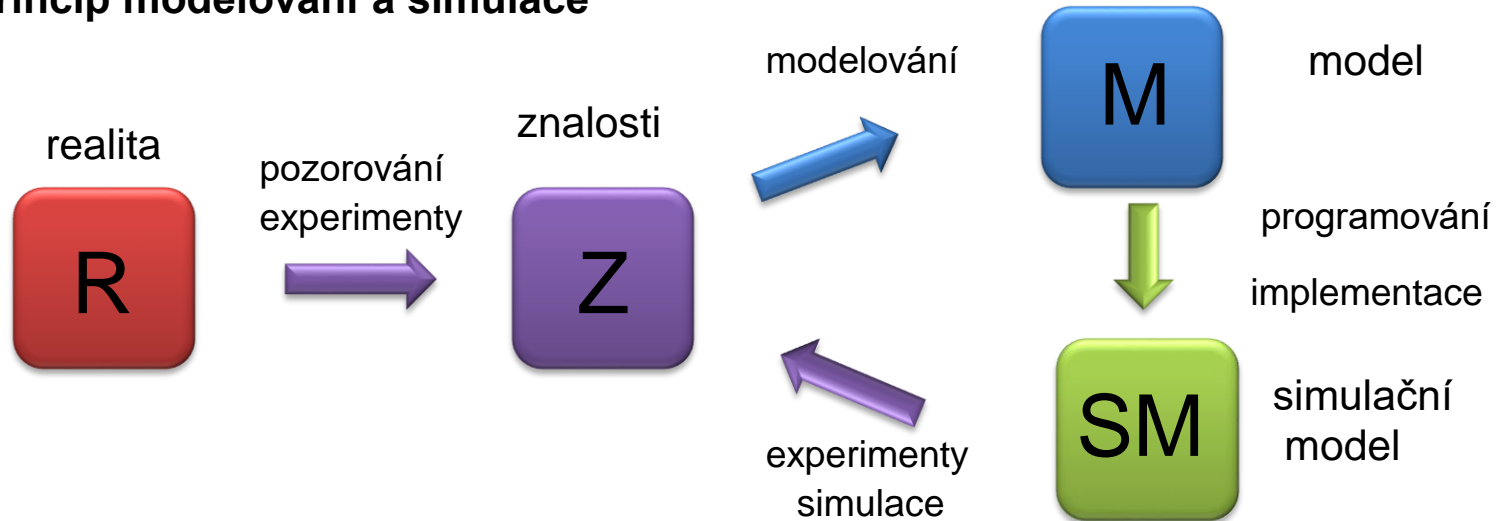
Při studiu **šíření tepla** skrz průřez rotoru lze jako model rotoru uvažovat jiný model



$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

# Simulace

## Princip modelování a simulace



**Výhody** využití simulace pro získání znalostí o systému:

- Nižší cena – je levnější provádět výpočty nad PC, než provádět experimenty na reálném systému
- Rychlost – zejména u pomalých procesů (stárnutí populace, vývoj vesmíru)
- Bezpečnost – možnost studia systémů bez rizik

Používání simulačních metod má také jisté **nevýhody**:

- Ověření platnosti výsledku simulace
- Náročnost vytvoření modelu
- Nepřesnosti vzniklé použitím numerických metod pro řešení, atd...

Při interpretaci výsledků simulace je nutné vzít na vědomí možné zanedbání jistých vlastností systému při jeho modelování.

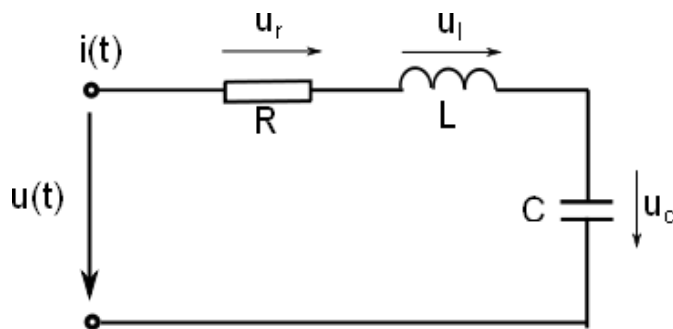
# Izomorfismus

## Izomorfismus

- Dva systémy jsou izomorfní, jestliže je jejich chování na daný vstup stejné.
- Jestliže máme dva izomorfní systémy, pak z chování jednoho systémů můžeme usuzovat také o chování druhého systému.

Využití – znalosti o chování systémů v jedné oblasti lze při platnosti izomorfie přenést i do jiné oblasti

## Příklad: RLC obvod



Následující diferenciální rovnice popisuje změnu proudu  $i(t)$  v závislosti na napětí mezi svorkami  $u(t)$ .

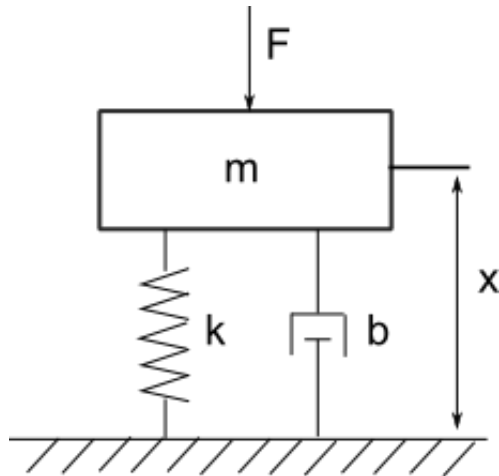
$$L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + \frac{1}{C} \int i(t) dt = u(t)$$



$$L \frac{d^2i(t)}{dt^2} + R \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} i(t) = \frac{du(t)}{dt}$$

# Izomorfismus

Příklad : hmota na tlumiči



$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + b \frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = F(t)$$

Matematický popis (model) obou systémů je formálně shodný.

Systémový přístup umožňuje zkoumat jednotlivé fyzikální systémy jako systémy abstraktní. Výsledky analýzy lze poté zobecnit také na další fyzikální systémy, které lze popsat stejným matematickým modelem.

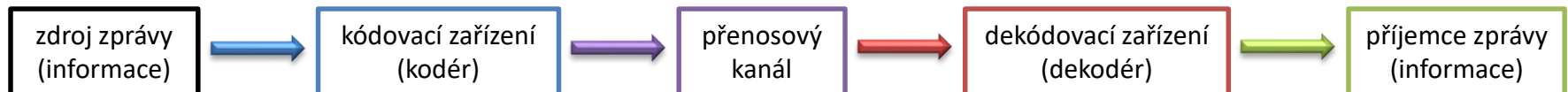
# Teorie informace

## Informace

- Jedná se o jeden ze stěžejních pojmů kybernetiky
- Definice je obtížná – obecně se tento pojem užívá v intuitivně chápaném smyslu a vztahuje se k pojmům zpráva, sdělení, údaj, poznatek, apod.
- V kybernetice má širší význam a za informaci se zde považují podněty, které člověk přijímá prostřednictvím svých smyslových orgánů ze svého okolí
- Podle kybernetiky je informace jakákoli zpráva, kterou lze reálně (nyní) nebo potenciálně (v budoucnu) použít k řízení systému

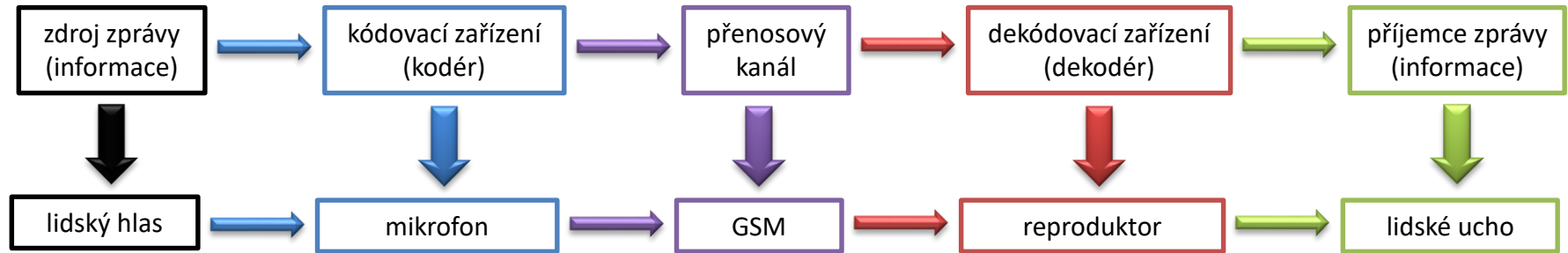
## Základní pojmy

- **Zpráva** – libovolný údaj reprezentovaný ve formě textu, řeči, posloupnosti čísel, obrazu, apod. Zpráva jakožto materiální nositel informace má kvalitativní i kvantitativní obsah
- **Informace** – kvantitativní obsah zprávy. Informace je abstraktní pojem nehmotné povahy
- **Signál** – fyzikální realizace zprávy ve formě nějaké fyzikální veličiny – elektrický proud, světlo, zvuk, apod.
- **Šum** – jakékoli (náhodné) rušení působící na signál během jeho přenosu sdělovací soustavou.



# Teorie informace

## Příklad - přenos zprávy pomocí telefonu



- **Zdroj zprávy:** lidský hlas, akustický tlak vzniklý chvěním hlasivek, signál – změna tlaku
- **Kódovací zařízení:** mikrofon, převodník tlaku na proud, signál – tlak/el. proud
- **Přenosový kanál:** GSM síť, signál – data
- **Dekódovací zařízení:** reproduktor – převodník proudu na tlak, signál – elektrický proud/tlak
- **Příjemce zprávy:** – lidské ucho, signál – změna tlaku

## Množství informace a informační entropie

- Jak ohodnotit informační obsah informace obsažené ve zprávě, resp. Přenášené sdělovací soustavou?
- Stanovení množství informace se zakládá na tom, jak velká neurčitost nějakého jevu je přijatou zprávou odstraněna.
- Nejvíce je rozšířen Shannonův přístup, který vychází ze skutečnosti, že množství informace obsažené ve zprávě souvisí s předchozí znalostí pravděpodobnosti výskytu zprávy u příjemce.
- Z hlediska příjemce představuje generování zpráv zdrojem náhodný proces. Příjemce musí dopředu znát jaké zprávy mohou být zdrojem vyslány, neví však která ze zpráv bude vyslána. Existuje tedy u něj neurčitost o vyslání té které zprávy.
- Přijetím zprávy příjemcem tedy dochází částečné (nebo úplně) ke snížení neurčitosti o vyslané zprávě.

**Množství informace** je dáno **množstvím neurčitosti**, kterou příjemce o daném jevu měl před přijetím zprávy, a která se **přijetím zprávy odstranila**.



## Příklad – tah sportky

Losuje se 6 čísel a komentátor sdělí tuto zprávy televizním divákům

- Předem známe množinu všech jevů – o jiné zprávě než té, která obsahuje 6 čísel neuvažujeme
- Sledovaný děj má velkou neurčitost, neboť existuje celkem 13 983 816 kombinací

$$\frac{49!}{43! \cdot 6!}$$

Kombinace bez opakování

- Přijetí zprávy nám tuto neurčitost odstraní

Neurčitost náhodného jevu klesá s rostoucí pravděpodobností jeho výskytu. Neurčitost jistého jevu ( $P=1$ ) je nulová. Neurčitost prázdného jevu ( $P=0$ ) je nekonečně velká.

Z výše uvedeného plyne, že mírou neurčitosti je veličina, kterou nazveme informační entropie a která je funkcí převrácené hodnoty pravděpodobnosti výskytu náhodného jevu, tedy

$$H = f\left(\frac{1}{P}\right)$$

Množství informace  $I(X)$  obsažené ve zprávě  $X$  je rovno míře neurčitosti zprávy – entropii  $H(X)$ , která se přijetím zprávy odstraní. Je tedy nepřímo úměrná pravděpodobnosti  $P(X)$  výskytu daného jevu obsaženého ve zprávě.

$$I(X) = H(X) = f\left(\frac{1}{P(X)}\right)$$

Předpokládejme, že zpráva  $X$  se skládá ze dvou nezávislých zpráv  $A$  a  $B$ . Pravděpodobnost zprávy  $X$  tvořené dvěma nezávislými zprávami je

$$P(X) = P(A) \cdot P(B)$$

Celková informace  $I(X)$ , kterou získáme přijetím zprávy  $X$  bude

$$I(X) = I(A) + I(B)$$

Nebo

$$I(X) = f\left[\frac{1}{P(A) \cdot P(B)}\right] = f\left[\frac{1}{P(A)}\right] + f\left[\frac{1}{P(B)}\right]$$

Tato rovnost bude splněna, pokud funkce  $f$  bude ....

Množství informace  $I(X)$  obsažené ve zprávě  $X$  je rovno míře neurčitosti zprávy – entropii  $H(X)$ , která se přijetím zprávy odstraní. Je tedy nepřímo úměrná pravděpodobnosti  $P(X)$  výskytu daného jevu obsaženého ve zprávě.

$$I(X) = H(X) = f\left(\frac{1}{P(X)}\right)$$

Předpokládejme, že zpráva  $X$  se skládá ze dvou nezávislých zpráv  $A$  a  $B$ . Pravděpodobnost zprávy  $X$  tvořené dvěma nezávislými zprávami je

$$P(X) = P(A) \cdot P(B)$$

Celková informace  $I(X)$ , kterou získáme přijetím zprávy  $X$  bude

$$I(X) = I(A) + I(B)$$

Nebo

$$I(X) = f\left[\frac{1}{P(A) \cdot P(B)}\right] = f\left[\frac{1}{P(A)}\right] + f\left[\frac{1}{P(B)}\right]$$

Tato rovnost bude splněna, pokud funkce  $f$  bude logaritmus.

$$I(X) = \log \left[ \frac{1}{P(A) \cdot P(B)} \right] = \log \left[ \frac{1}{P(A)} \right] + \log \left[ \frac{1}{P(B)} \right]$$

Základ logaritmu je libovolný, avšak Shannon zavedl v definičním vztahu pro informace logaritmus o základu, tedy

$$I(X) = H(X) = \log_2 \frac{1}{P(X)} = -\log_2 P(X)$$

Jednotkou množství informace je 1 bit. 1 bit je nejmenší množství informace, kterou může zpráva obsahovat. Tuto informaci nese zpráva o jevu, který má dvě možnosti (dva stavy) se stejnou pravděpodobností výskytu.

Rozšíření definice o informační kanál

$$I(X) = \log_2 P(x/X) - \log_2 P(X)$$

$P(x/X)$  - pravděpodobnost shody zprávy s událostí, udává, jak pravdivě informuje zdroj o dané události. Jestliže informuje zdroj pravdivě, pak je  $P(x/X) = 1$ .

## **Příklad:**

Osoba O1 hází mincí a výsledek sděluje druhé osobě O2, která na minci nevidí. Osoba O1 informuje o výsledku pravdivě a osoba O2 nemá problém se sluchem. Jaké je množství informace ve zprávě, že padl orel?

Pravděpodobnost jevu "padl orel" je rovna  $p(\text{orel}) = \frac{1}{2}$ . Jelikož zdroj informuje pravdivě a informace je dobře přijata pak je  $p(\text{sdělení orel/orel}) = 1$ . Míra informace, že "padl orel" tedy je:

$$I(X) = \log_2(p(\text{sdělení orel/orel})) - \log_2(p(\text{orel})) = -\log_2(1/2) = 1 \text{ [bit]}$$

Předpokládejme, že osoba O2 má problém se sluchem, tj. z pěti informací přijme jednu chybně. V tomto případě je míra informace, že "padl orel":

$$I(X) = \log_2(p(\text{sdělení orel/orel})) - \log_2(p(\text{orel})) = \log_2(4/5) - \log_2(1/2) = 0,6781 \text{ [bit]}$$

## **Příklad:**

Osoba O1 hází osmihrannou kostkou a výsledek sděluje druhé osobě O2. Na kostce jsou symboly 1÷8. Osoba O1 informuje o výsledku pravdivě a osoba O2 nemá problém se sluchem. Jaké je množství informace ve zprávě, že na kostce padla hodnota 1?

$$I(X) = -\log_2(1/8) = 3 \text{ [bity]}$$

Jaké je množství informace ve zprávě, že na kostce padlo sudé číslo?

$$I(X) = -\log_2(4/8) = -\log_2(1/2) = 1 \text{ [bit]}$$

Pravděpodobnost jevu "na kostce padlo číslo 1" je menší, než pravděpodobnost jevu "na kostce padlo sudé číslo". Přijetím první zprávy tedy dojde o odstranění větší neurčitosti než v druhém případě, což koresponduje s vyšším informačním obsahem první zprávy.

# Zdroje a doporučená literatura

## **Zdroje a doporučená literatura:**

- F. Tůma: Kybernetika, skripta, ZČU v Plzni
- V. Srovnal: Kybernetika, skripta, VŠB – TU Ostrava, 2008  
<http://homel.vsb.cz/~ote009/files/kyb/Kybernetika.pdf>
- V. Hajšman: Studijní materiály pro předmět KKY/MS1, ZČU v Plzni
- I. Křivý, E. Kindler: Simulace a modelování, učební texty, VŠB-TU Ostrava
- A. Burý: Teorie systémů a řízení, VŠB-TU Ostrava, 2007
- J. Peterka: Základní formy přenosů