



# SIGNÁLY A LINEÁRNÍ SYSTEMY



**prof. Ing. Jiří Holčík, CSc.**

[holcik@iba.muni.cz](mailto:holcik@iba.muni.cz)

© Institut biostatistiky a analýz

# KDE A KDY SE BUDEME VÍDAT?

# **KDE A KDY SE BUDEME VÍDAT?**

**přednášky:**

**středa 8-10 hod., UKB, A29, 3NP, PC učebna RCX2**

**cvičení:**

**středa 10 – 12 hod., jednou za dva týdny,  
UKB, A29, 3NP, PC učebna RCX2  
začínáme 1.10.2013**

# LITERATURA

- ☑ Holčík, J.: Signály, časové řady a lineární systémy. CERM, Brno, 2012, 136s.  
<http://www.iba.muni.cz/res/file/ucebnice/holcik-signaly-casove-rady-linearni-systemy.pdf>  
<http://www.iba.muni.cz/index.php?pg=vyuka--ucebnice>
- ☑ Holčík, J.: přednáškové prezentace  
webová stránka předmětu
- ☑ Holčík, J.: Úvod do systémů a signálů (Elektronické studijní texty)  
webová stránka předmětu
- ☑ Jiřina, M., Holčík, J.: Úvod do systémů a signálů (Elektronické studijní texty)  
webová stránka předmětu

# LITERATURA

- ✓ Jan, J.: Číslicová filtrace, analýza a restaurace signálů. VUTIUM, Brno 2002.
- ✓ Šebesta, V., Smékal, Z.: Signály a soustavy (Elektronické studijní texty FEKT VUT v Brně), Brno 2003.

# LITERATURA

- ✓ Proakis J. G. Manolakis D. K. Digital Signal Processing (4th Edition), CRC; 1 edition, 2006
- ✓ Kamen, E.W., Heck, B.S. Fundamentals of Signals and Systems Using the Web and Matlab (3rd Edition), Prentice Hall (2006)
- ✓ Lathi, B.P. Signal Processing and Linear Systems, Oxford Univ. Press, Oxford 1998
- ✓ Carlson G.E. Signal and Linear System Analysis: with MATLAB, 2e, John Wiley & Sons, Inc., 1998,
- ✓ Oppenheim, A.V., Willsky, A.S., Hamid, S.: Signals and Systems (2nd Edition) Prentice-Hall Signal Processing Series, Prentice Hall; 1996

# LITERATURA

- ✓ Kalouptsidis N. Signal Processing Systems: Theory and Design. John Wiley & Sons, Inc., 1997
- ✓ Chen C.T. Linear System Theory and Design (Oxford Series in Electrical and Computer Engineering) Oxford University Press, USA; 3rd ed. 1998
- ✓ Oppenheim A V., Schafer R W., Buck J R. Discrete-Time Signal Processing (2nd Edition) (Prentice-Hall Signal Processing Series), Prentice Hall; 1999
- ✓ Brockwell, P.J., Davis, R.A.: Introduction to Time Series and Forecasting, Springer; 2 edition (2003),
- ✓ Engelberg, S. Random Signals and Noise: A Mathematical Introduction, CRC Press, Inc., 2007

# UKONČENÍ PŘEDMĚTU

Požadavky:

☑ ústní zkouška

→ učená rozprava o dvou z témat, která budou náplní předmětu

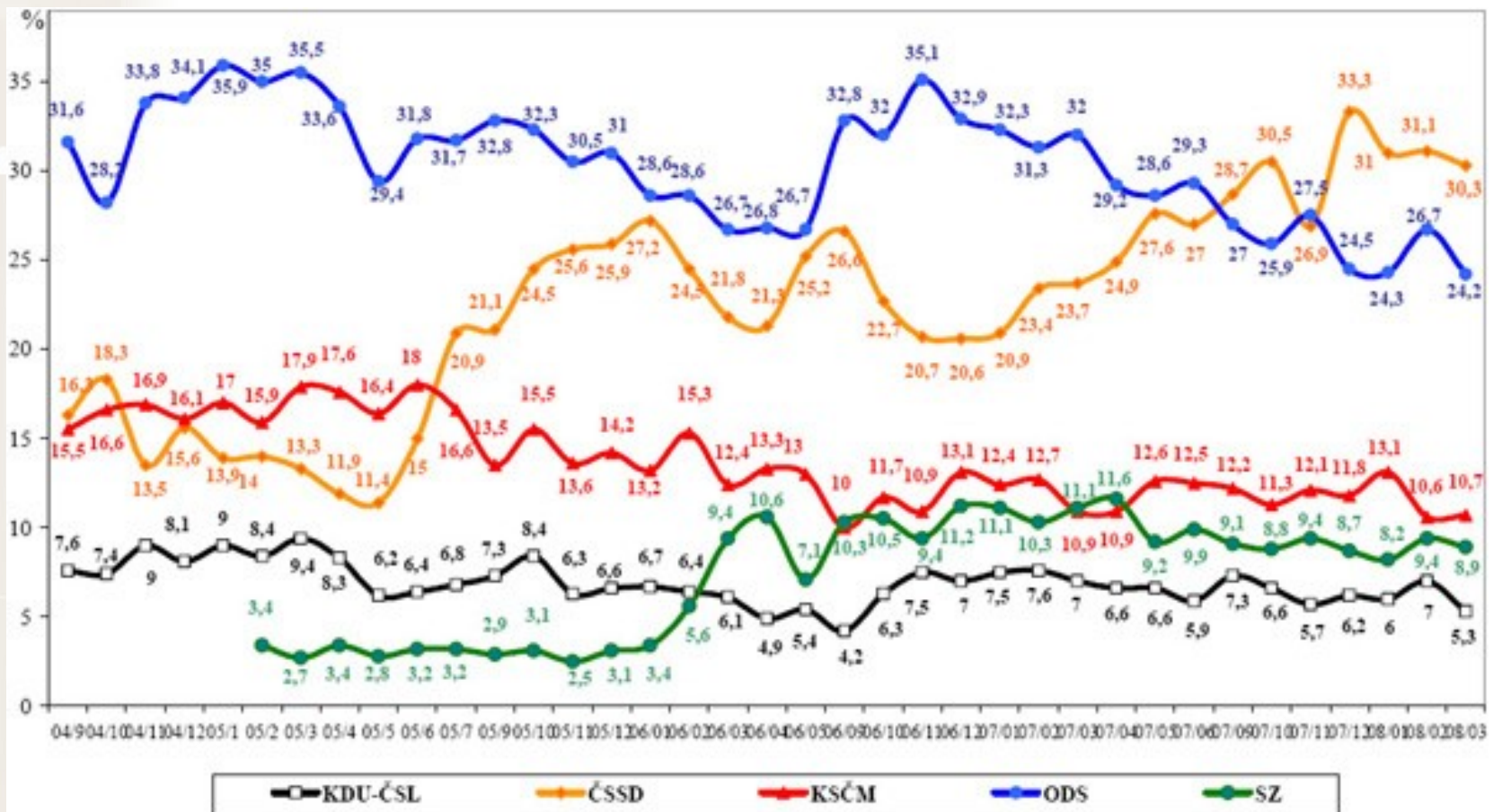




# I. ZAČÍNÁME



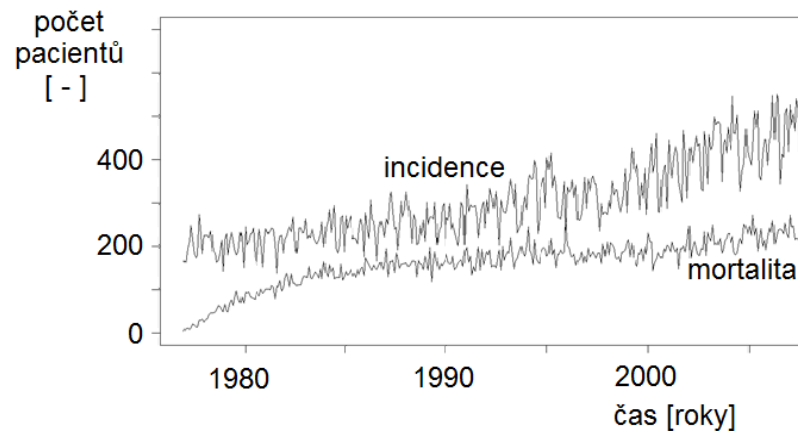
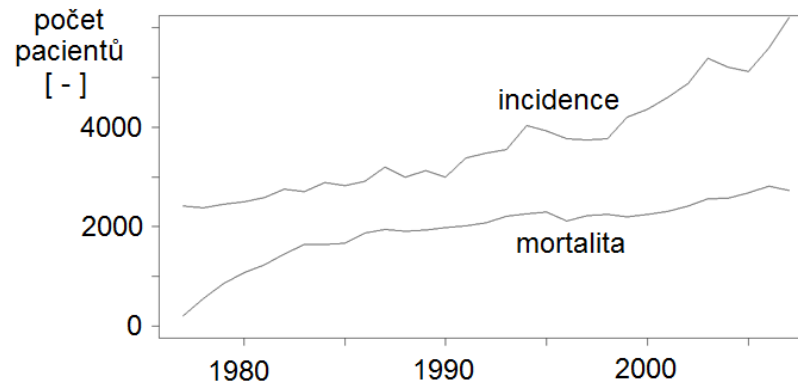
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



Zdroj: STEM, Trendy 2004/9 - 2008/03

Preference politických stran v ČR v období od 8/2004 do 3/2008

# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



**Vývoj incidence a mortality zhoubného nádoru prsu v ČR –  
a) roční vzorkování; b) měsíční vzorkování**

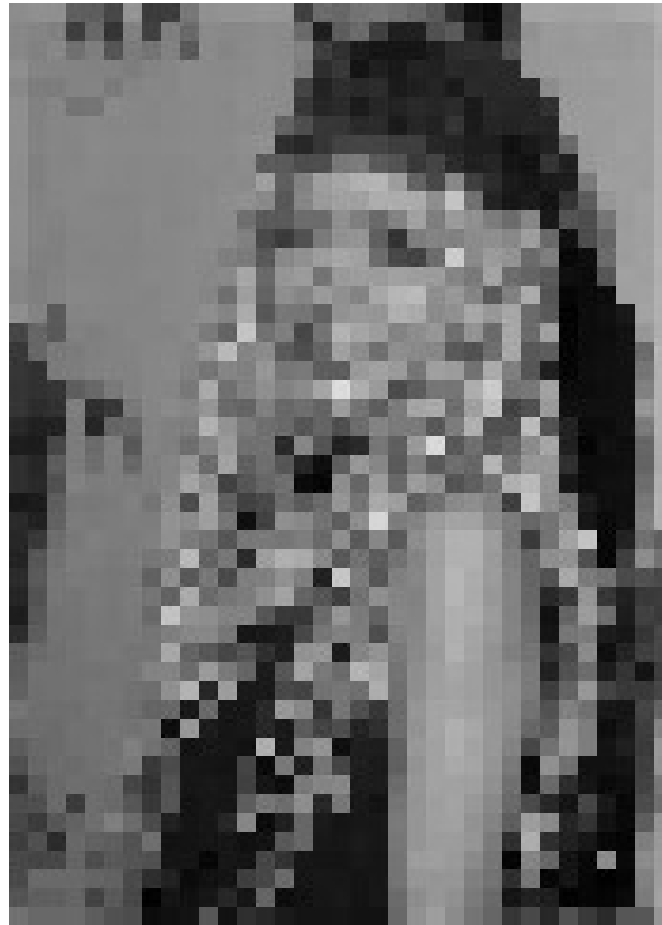
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



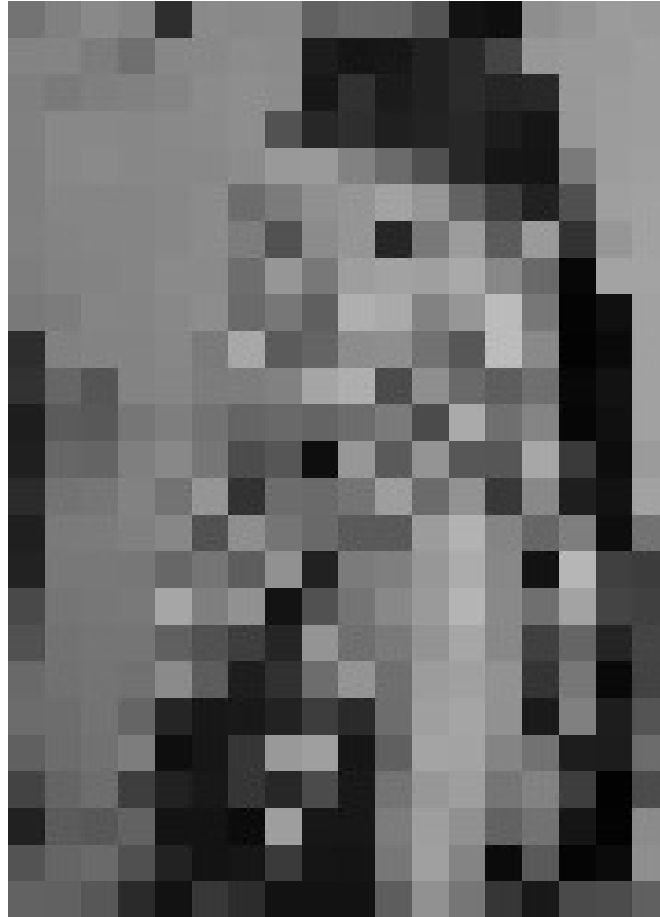
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



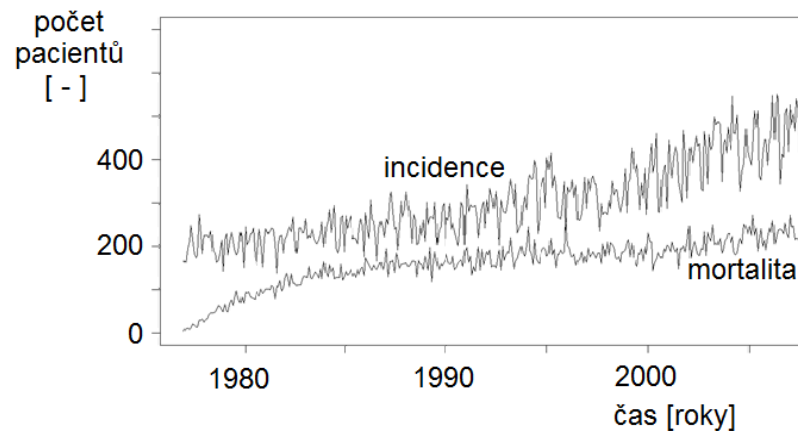
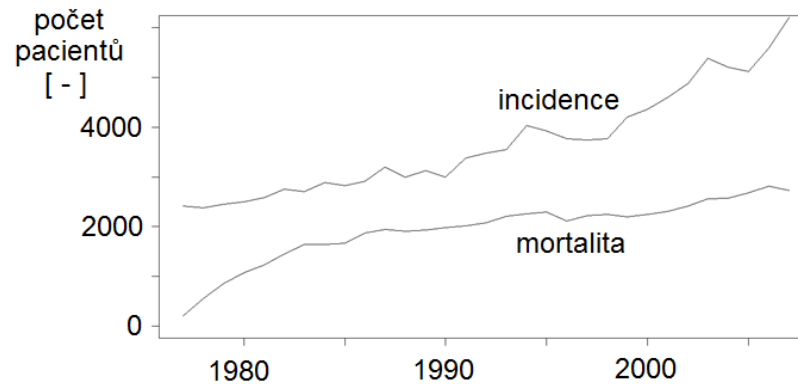
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



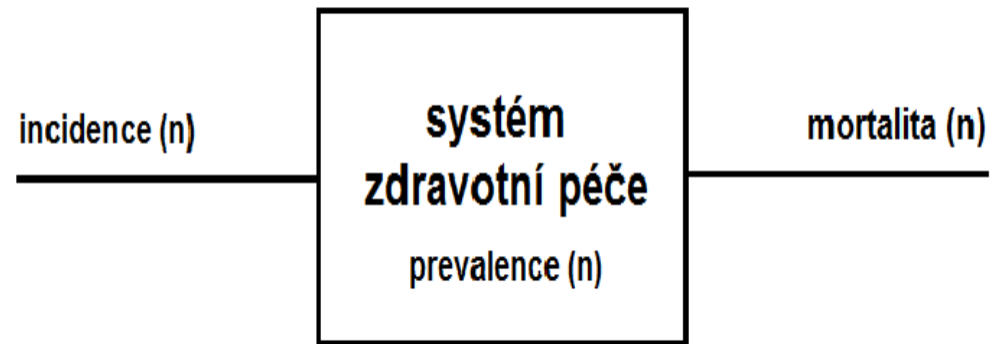
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



**Vývoj incidence a mortality zhoubného nádoru prsu v ČR –  
a) roční vzorkování; b) měsíční vzorkování**

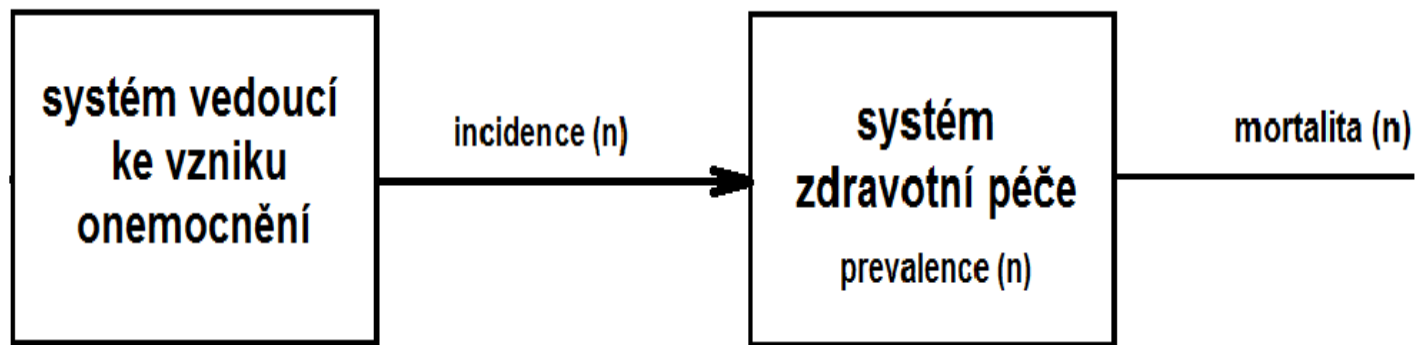


# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



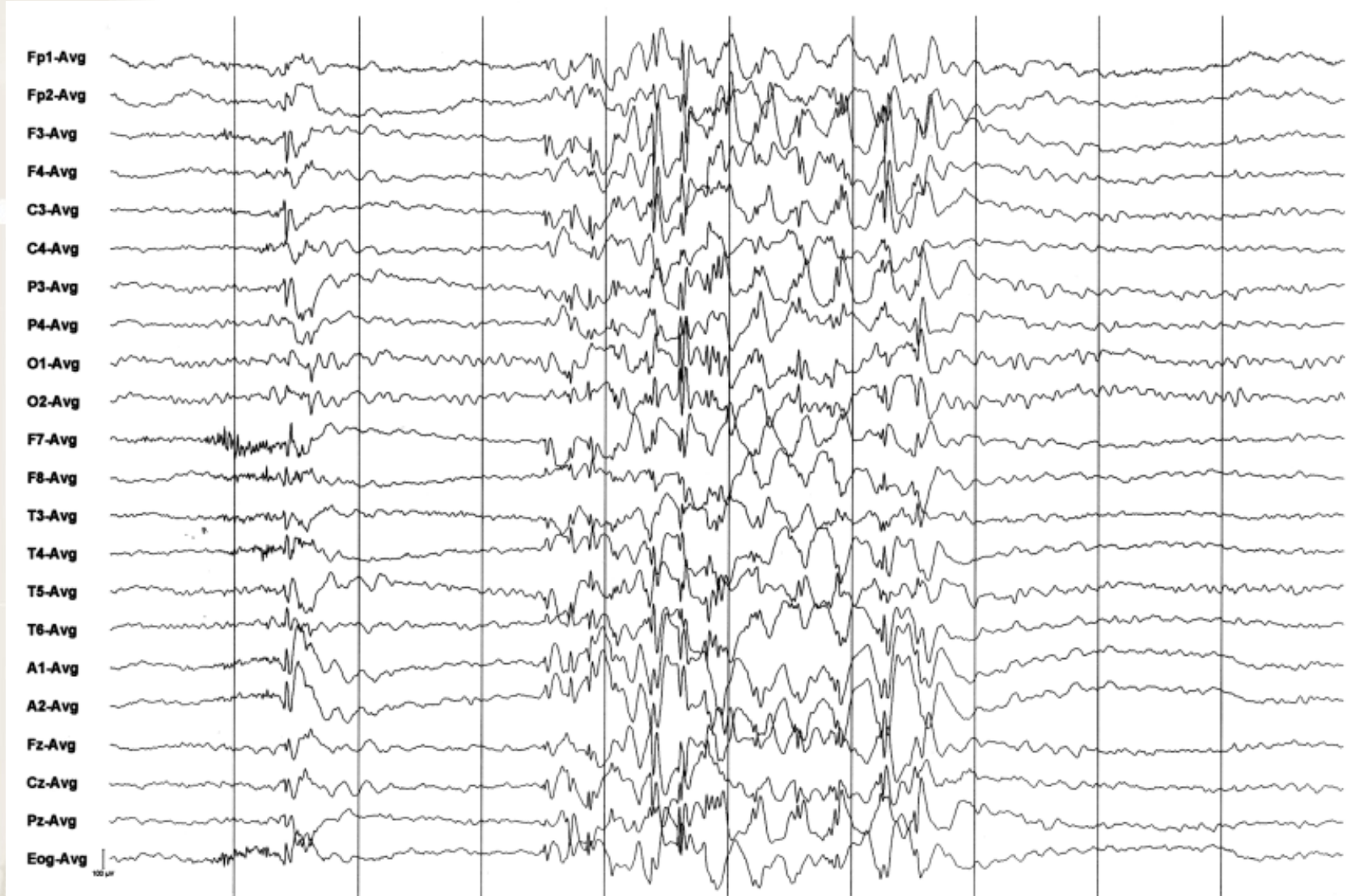
- ✓ vstupní veličina(y)
- ✓ výstupní veličina(y)
- ✓ stavová(é) veličina(y)

# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD

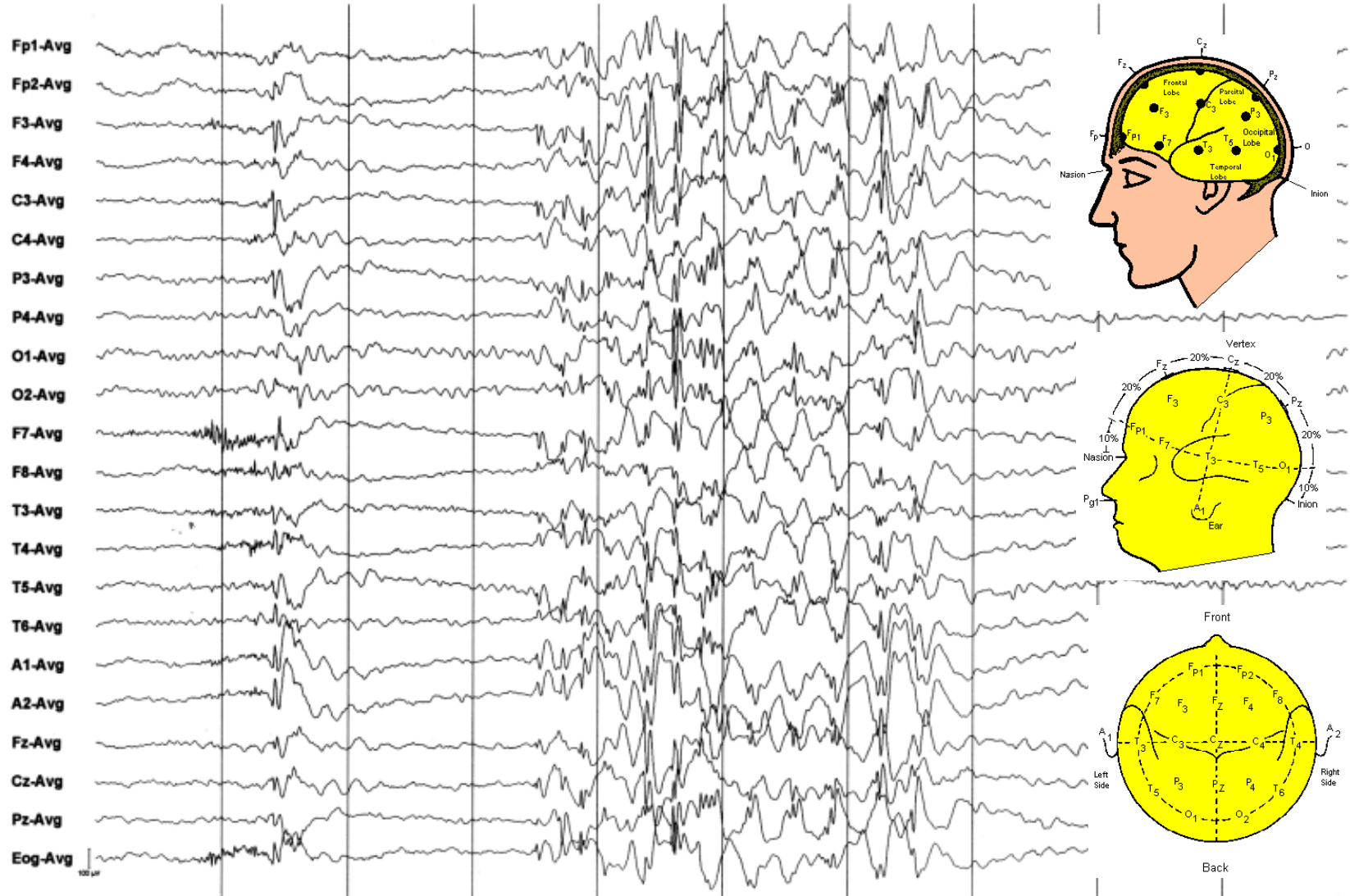


- ☑ parametry popisující vlastnosti systému
- ☑ vstupní veličina(y)
- ☑ výstupní veličina(y)
- ☑ stavová(é) veličina(y)

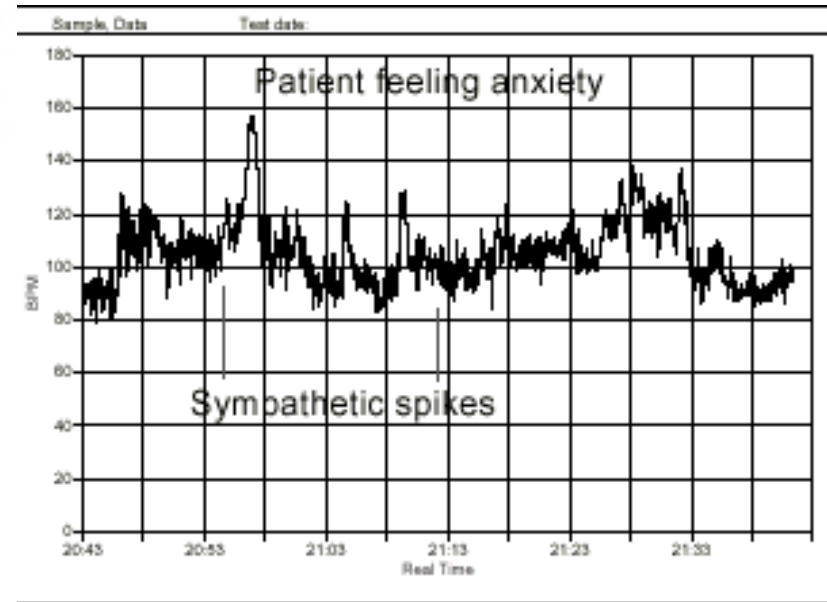
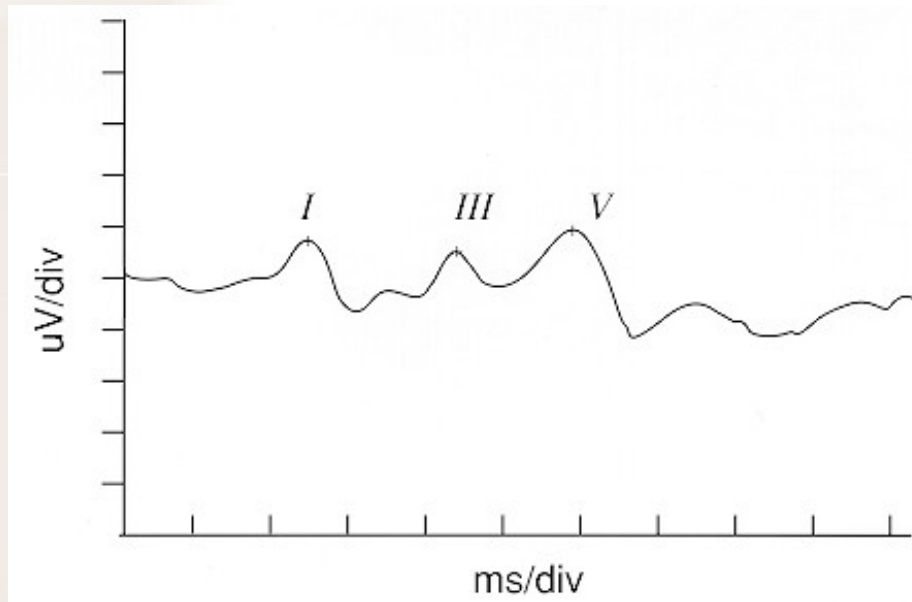
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD

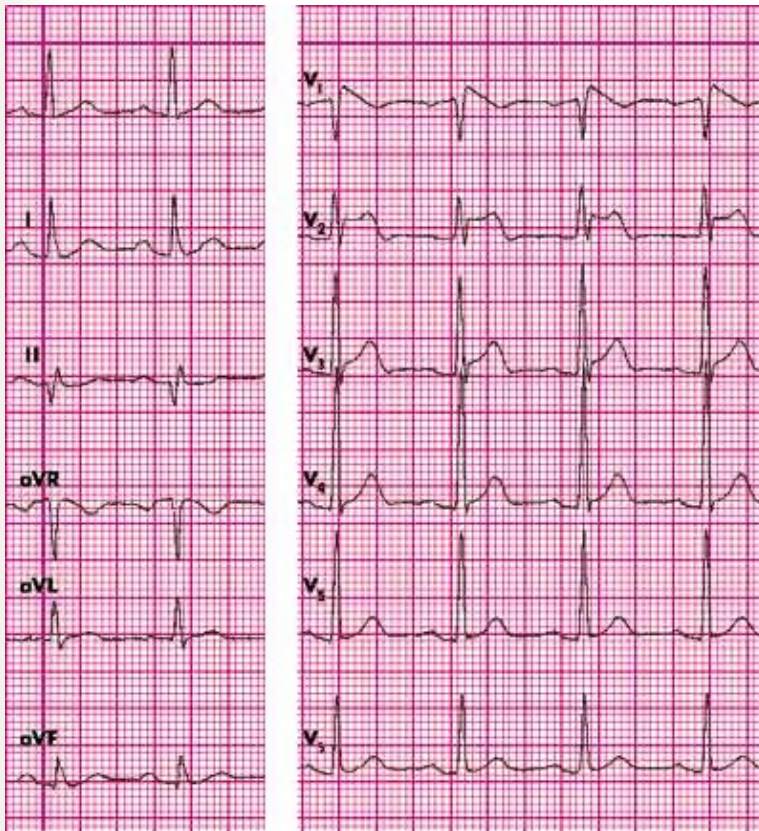


# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



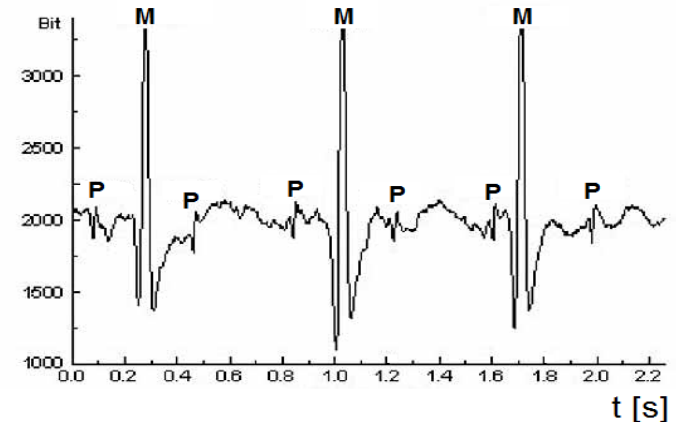
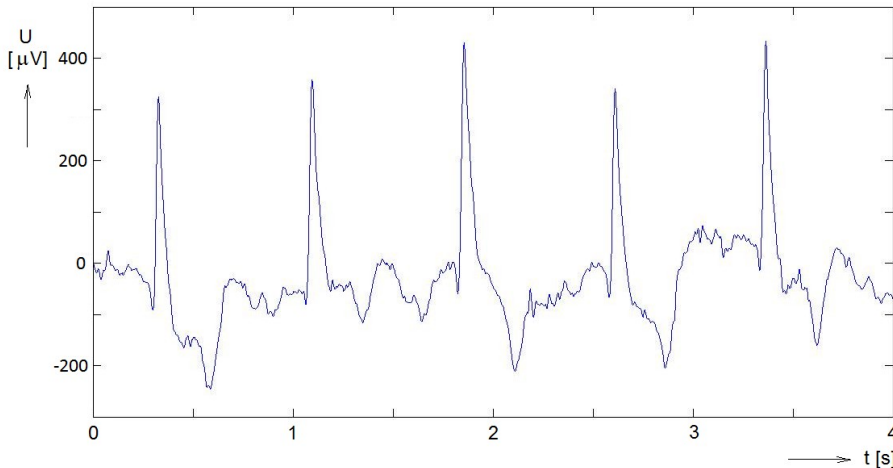
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD

## EKG - elektrokardiogram

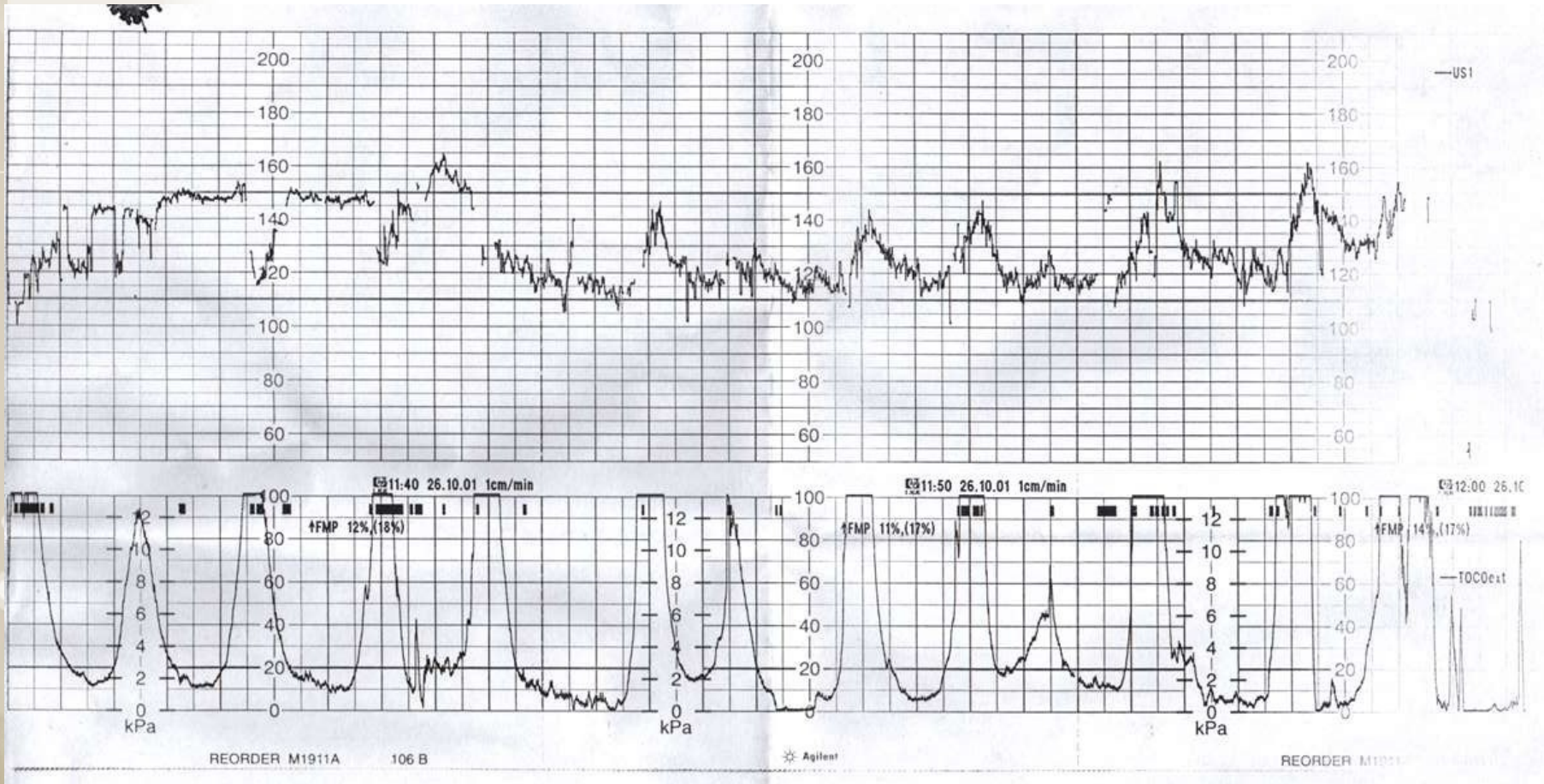


# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD

## EKG - elektrokardiogram



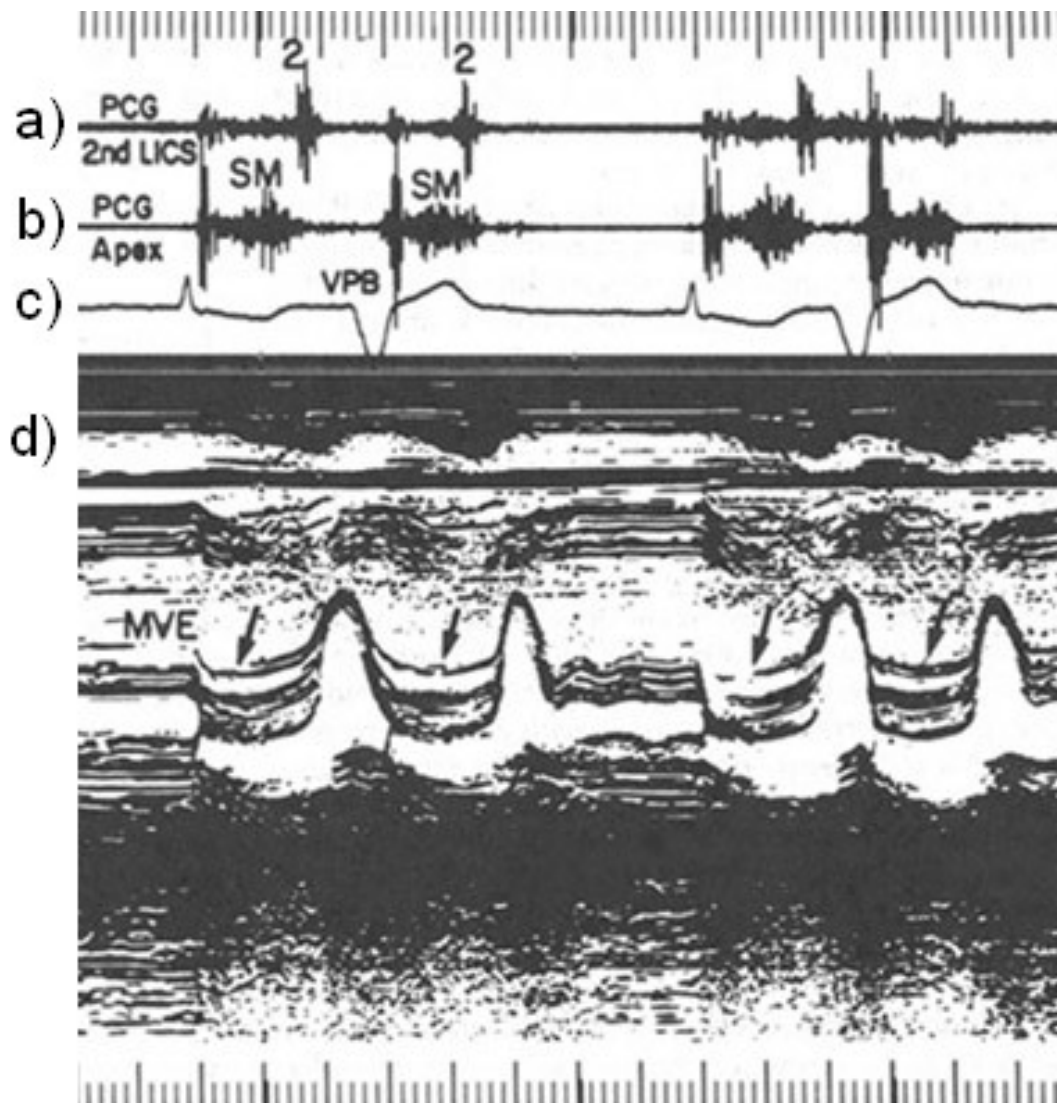
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



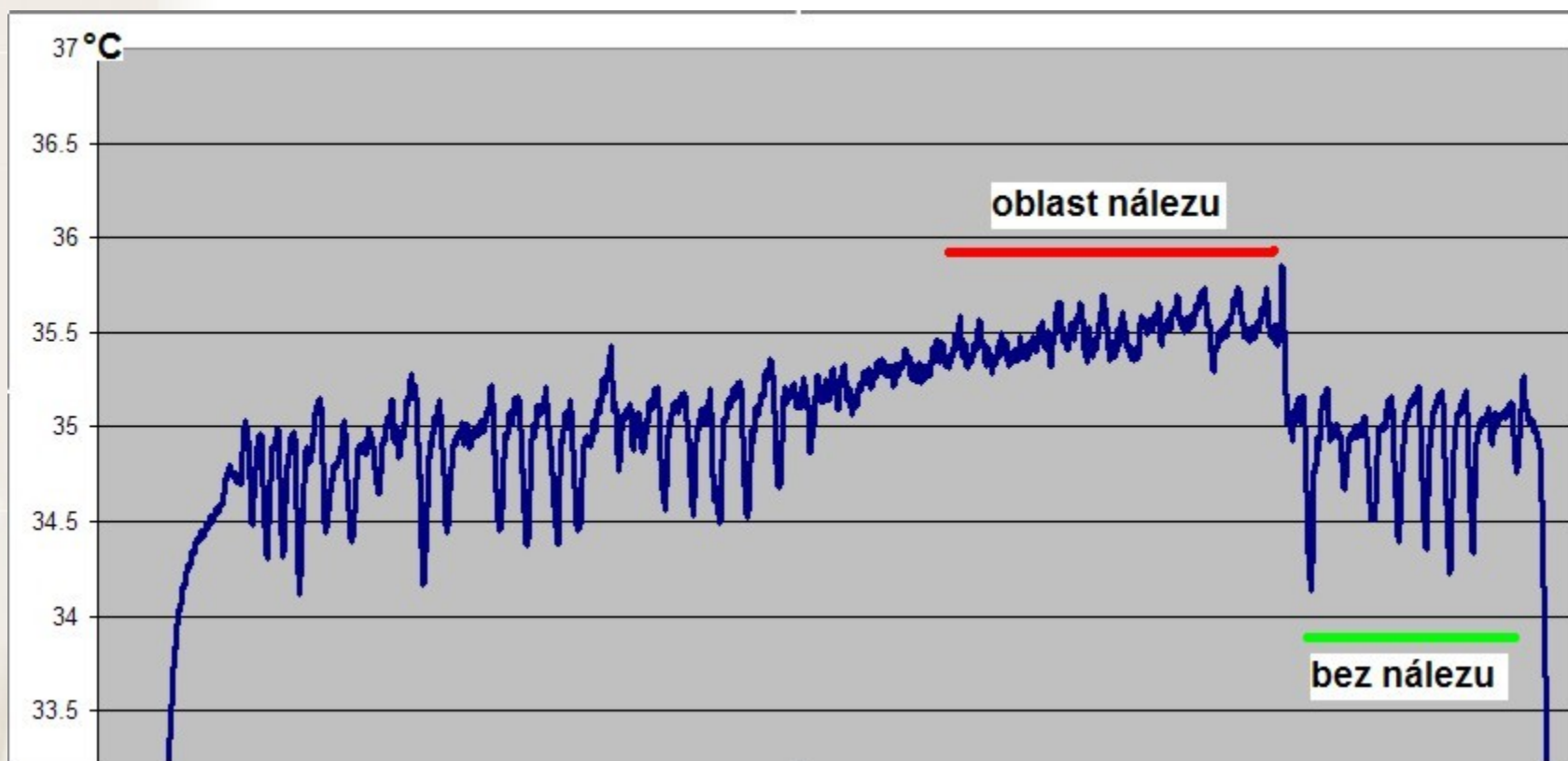
kardiotokogram



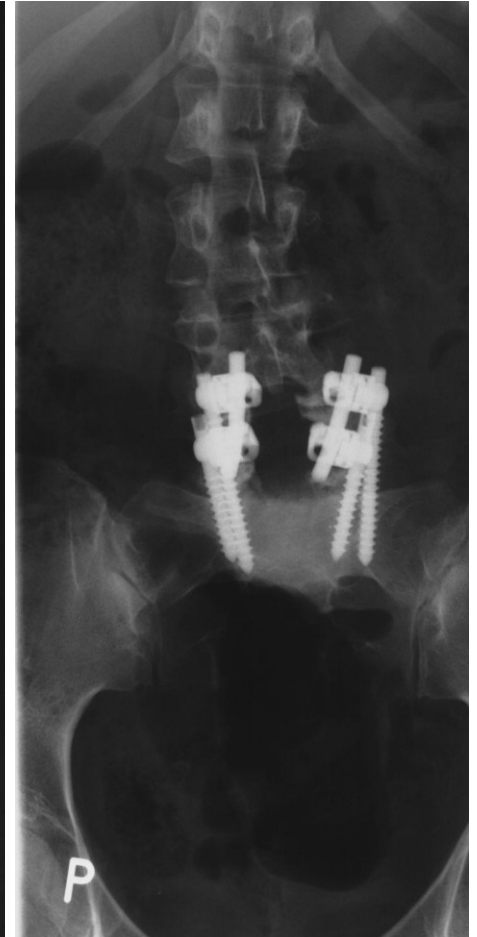
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



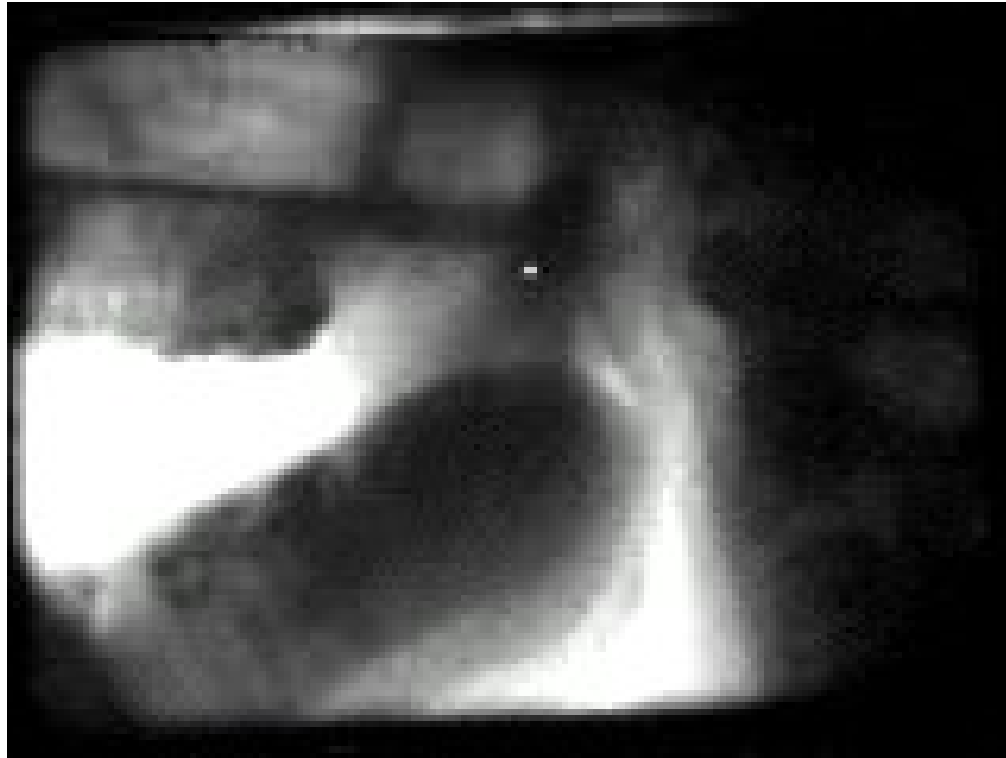
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



# ZÁKLADNÍ KONCEPT

**REÁLNÝ  
OBJEKT**

# ZÁKLADNÍ KONCEPT

REÁLNÝ  
OBJEKT

HODNOTÍCÍ  
„VÝROK“

# ZÁKLADNÍ KONCEPT

**REÁLNÝ  
OBJEKT**

**HODNOTÍCÍ  
„VÝROK“**

**O STAVU, RESP.  
CHOVÁNÍ REÁLNÉHO  
OBJEKTU**

# ZÁKLADNÍ KONCEPT





# ZÁKLADNÍ KONCEPT

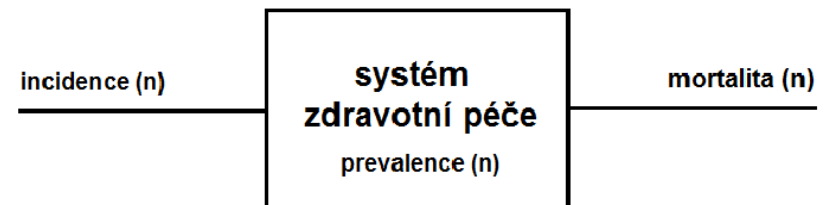


**CÍLEM JE ODHALIT TEN PŘÍČINNÝ  
DETERMINISTICKÝ VZTAH NAVZDORY VŠEMU  
TOMU, CO NÁM TO ODHALENÍ KAZÍ**

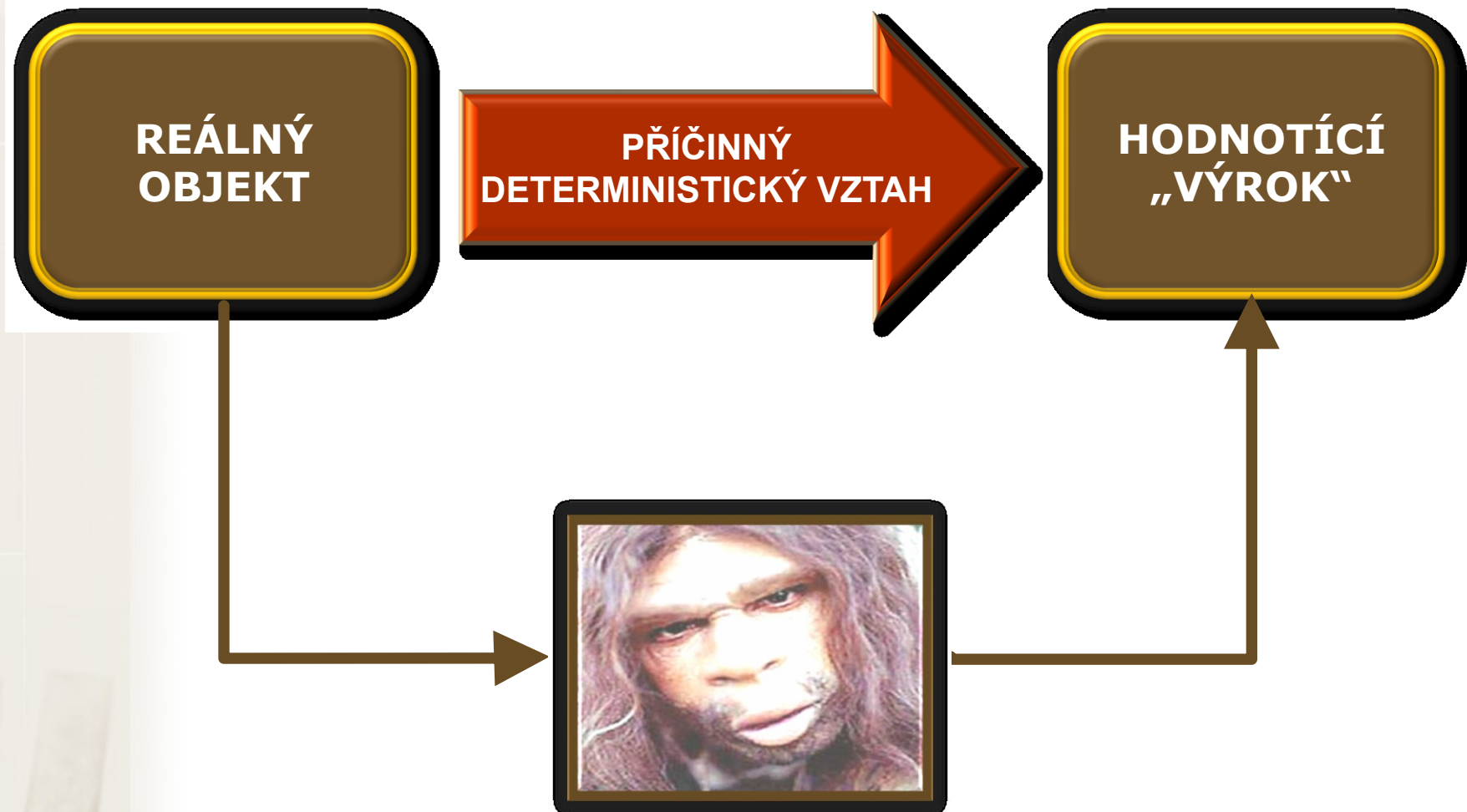
# K ČEMU TO JE?



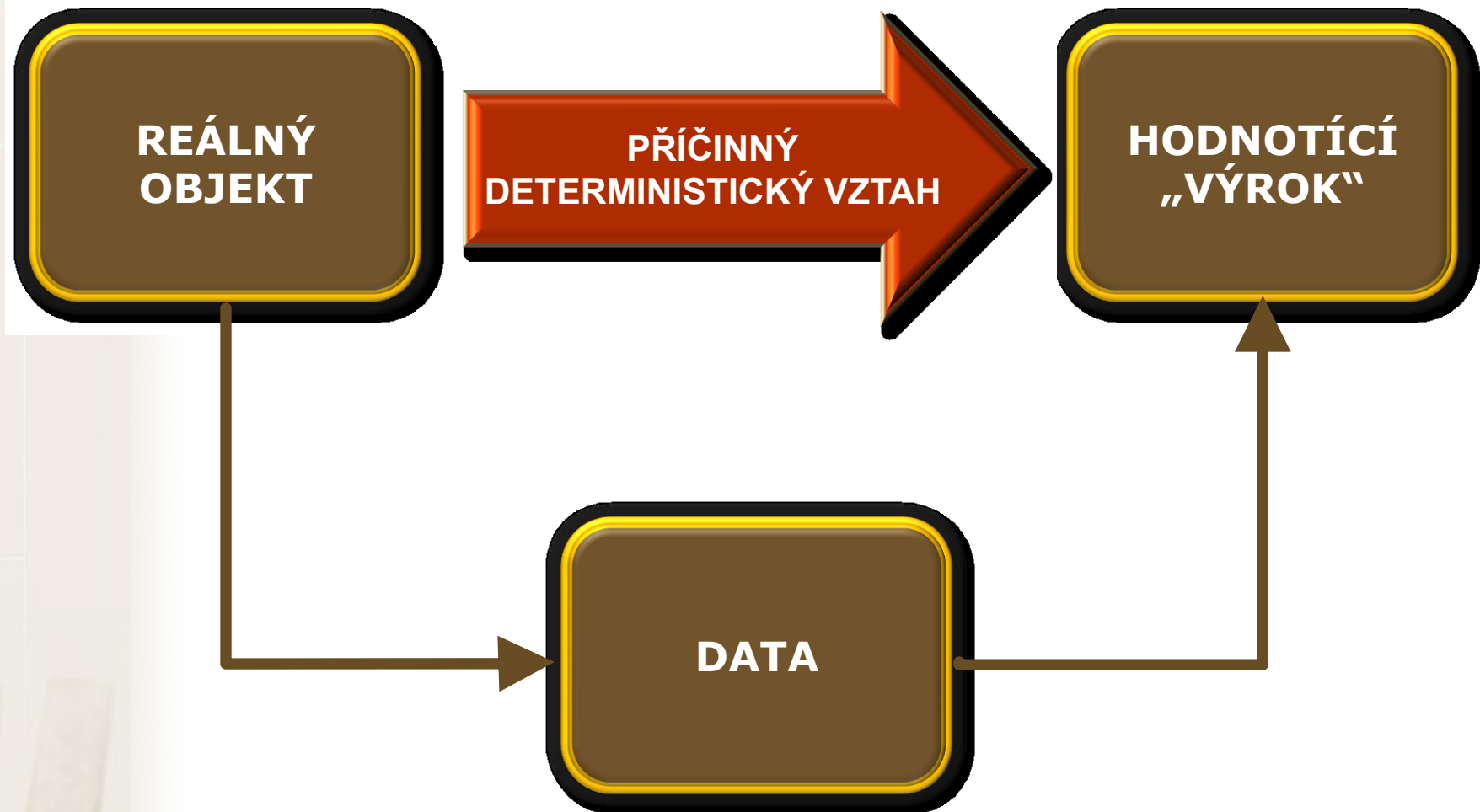
- zjistit co se děje v reálném objektu;
- dokázat jej zařadit;
- dokázat predikovat jeho chování;
- .....



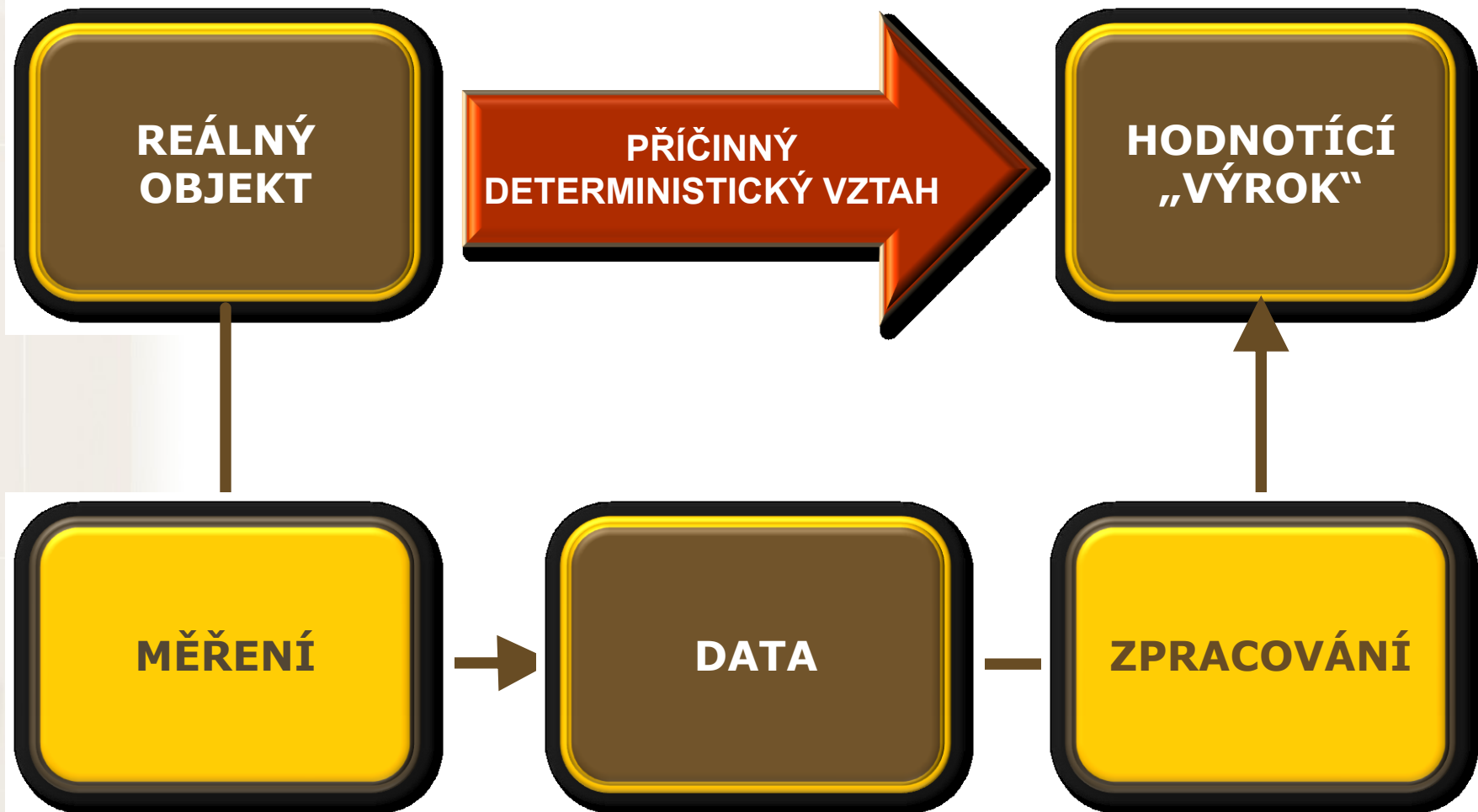
# ZÁKLADNÍ KONCEPT



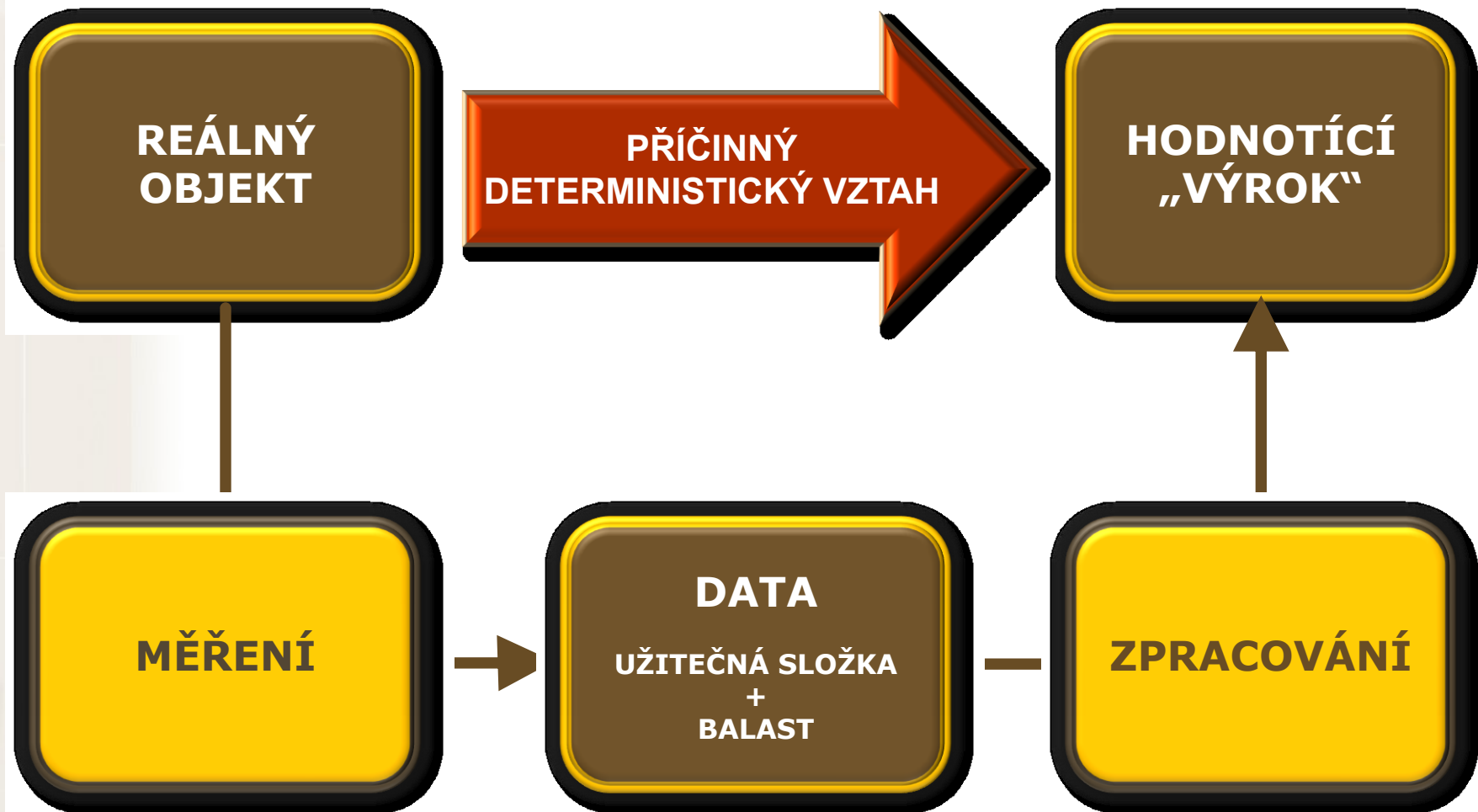
# ZÁKLADNÍ KONCEPT



# ZÁKLADNÍ KONCEPT



# ZÁKLADNÍ KONCEPT

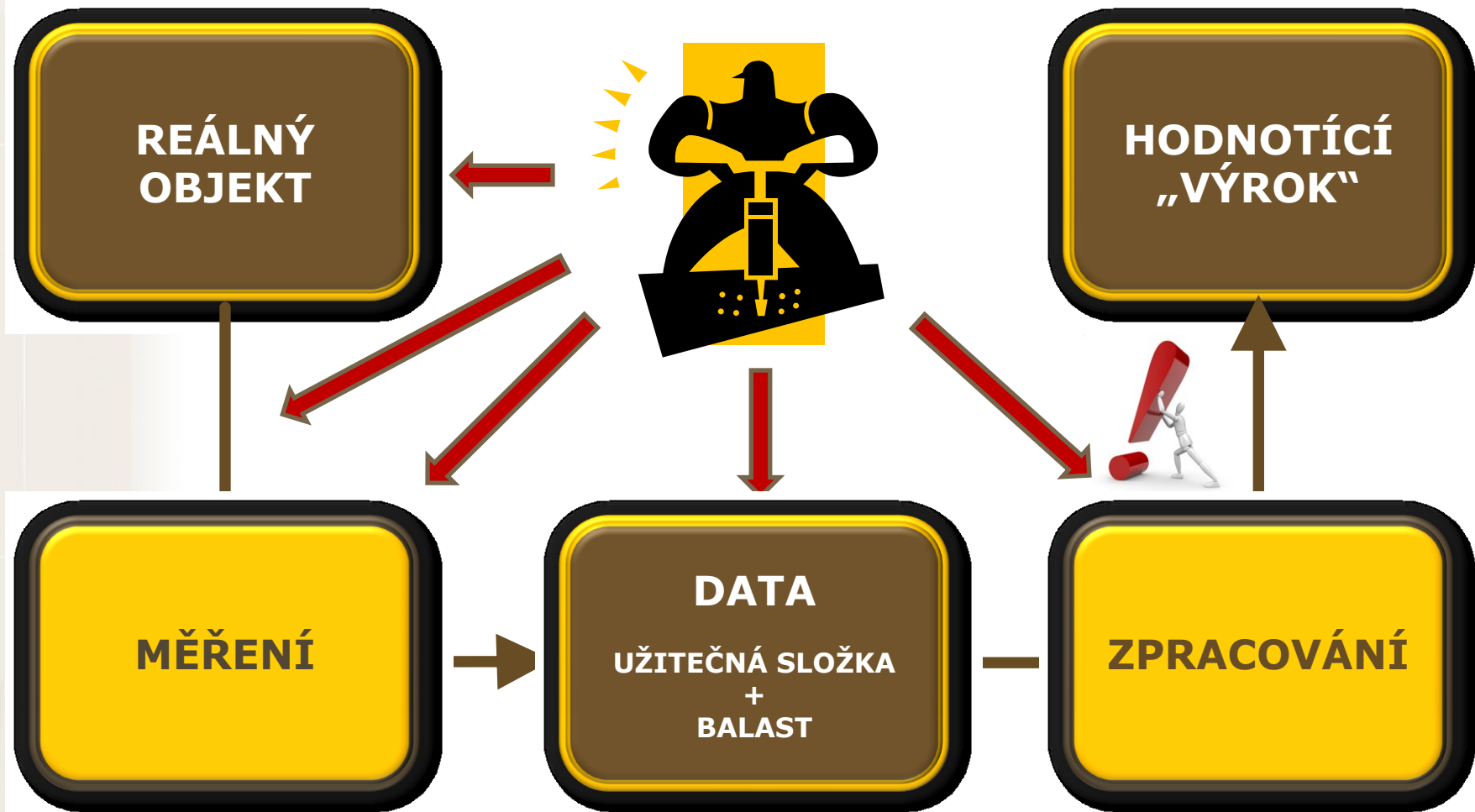


# ZÁKLADNÍ KONCEPT

## ☑ užitečná složka

to je ta **deterministická** část dat, kterou využijeme pro generování výroku

# ZÁKLADNÍ KONCEPT





# ZÁKLADNÍ KONCEPT

## ☑ užitečná složka

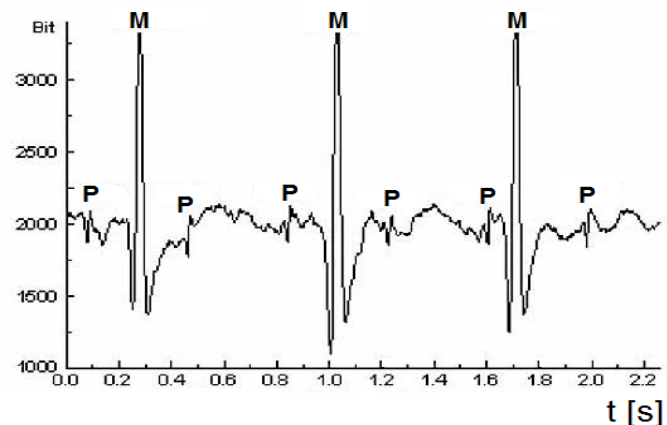
to je ta **deterministická** část dat, kterou využijeme pro generování výroku

## ☑ balast

část dat nesouvisející s cílem zpracování

→ deterministická část

☐ přímo ze zdroje



# DATA (ČASOVÉ ŘADY)

## ☑ užitečná složka

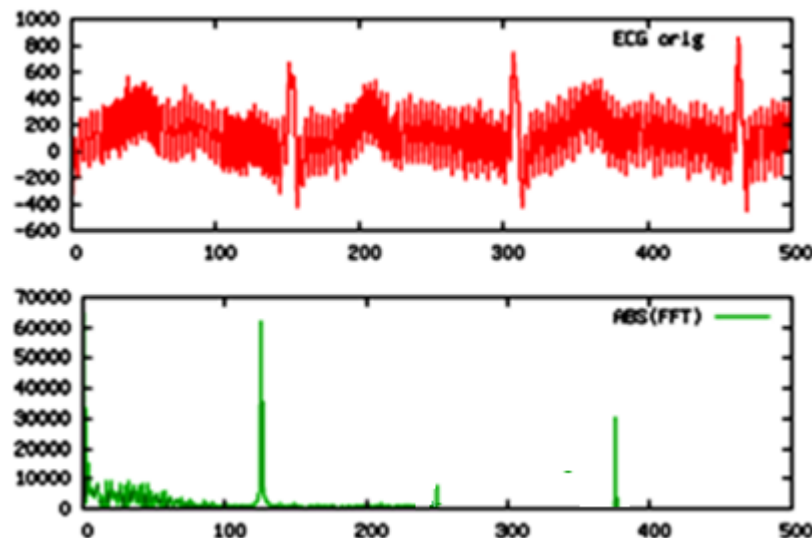
to je ta **deterministická** část dat, kterou využijeme pro generování výroku

## ☑ balast

část dat nesouvisející s cílem zpracování

→ deterministická část

- ☐ přímo ze zdroje
- ☐ zavlečená po cestě



# DATA (ČASOVÉ ŘADY)

## ☑ **užitečná složka**

to je ta **deterministická** část dat, kterou využijeme pro generování výroku

## ☑ **balast**

část dat nesouvisející s cílem zpracování

→ deterministická část

- ☐ přímo ze zdroje
- ☐ zavlečená po cestě

→ všechno ostatní, tj. **nedeterministická** (?) složka


na její příčiny buď nemáme nebo nám to nestojí za námahu

# NEDETERMINISTICKÁ SLOŽKA

- ☑ náhodná – pravděpodobnost, statistika

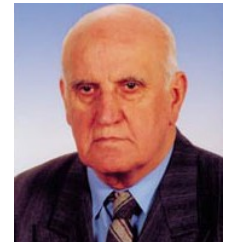


(G. Cardano *Liber de ludo aleae*  
1663)

- ☑  – příslušnost, fuzzy algebra  
(L.A. Zadeh 1965)



- ☑ hrubá – důvěra, hrubé množiny  
(Z. Pawłak 1991)



# ZÁKLADNÍ KONCEPT

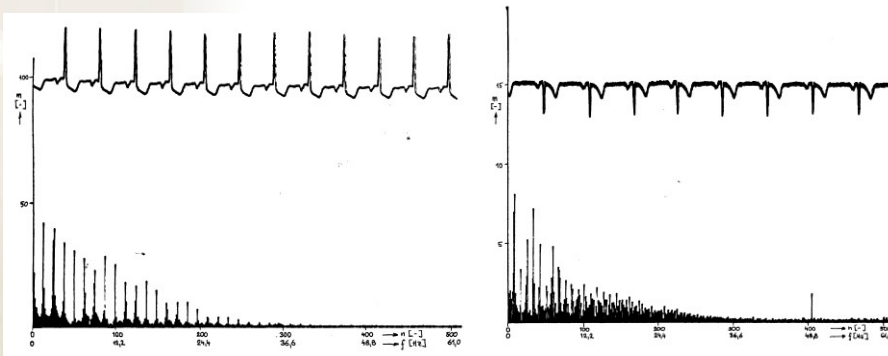
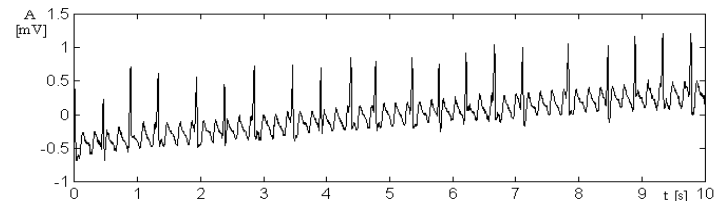
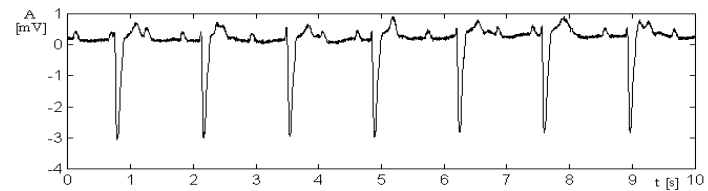
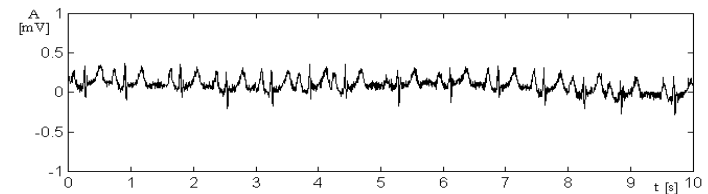
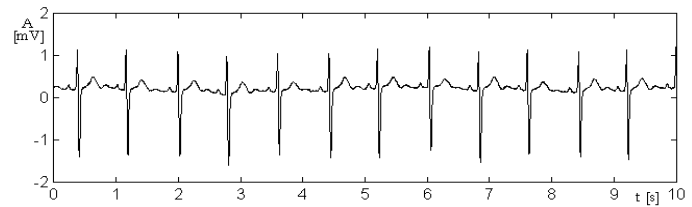


**CÍLEM JE ODHALIT TEN PŘÍČINNÝ  
DETERMINISTICKÝ VZTAH NAVZDORY VŠEMU  
TOMU, CO NÁM TO ODHALENÍ KAZÍ**

# JAK ELIMINOVAT JEDNOTLIVÉ SLOŽKY?

☑ matematický model deterministické složky(složek)

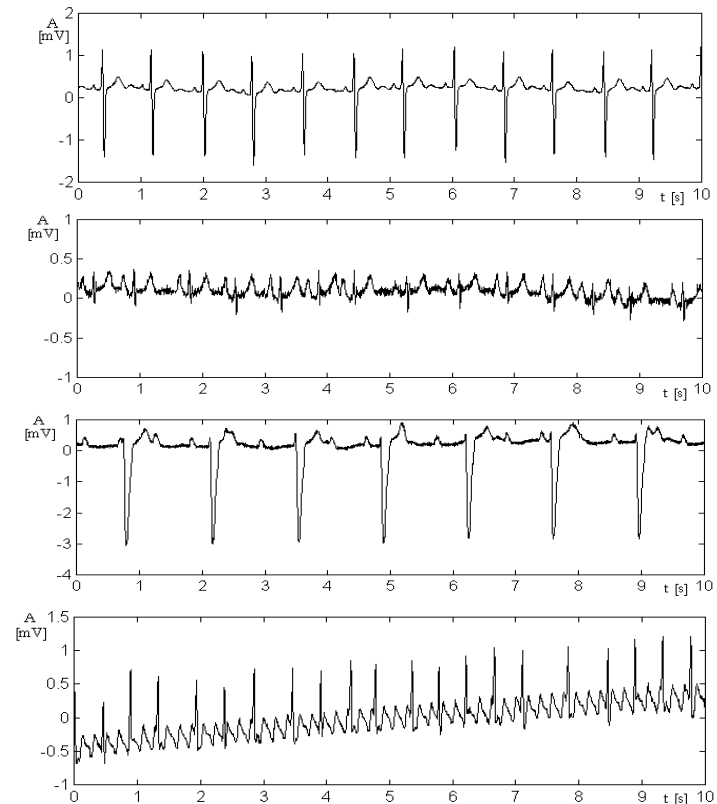
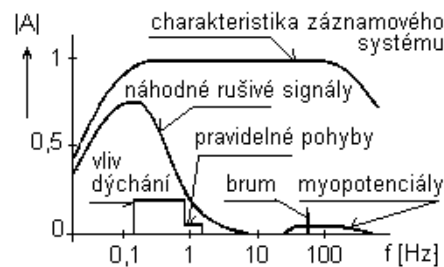
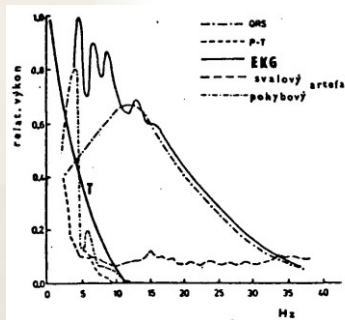
a zkoumáme jak data odpovídají modelové představě



# JAK ELIMINOVAT JEDNOTLIVÉ SLOŽKY?

- ☑ matematický model deterministické složky(složek)

a zkoumáme jak data odpovídají modelové představě



# JAK ELIMINOVAT JEDNOTLIVÉ SLOŽKY?

- ☑ model deterministické složky(složek);
  - nelineární
  - lineární
    - ☐ časová oblast
    - ☐ frekvenční oblast
    - ☐ ...



# JAK ELIMINOVAT JEDNOTLIVÉ SLOŽKY?

- ☑ model deterministické složky(složek);
  - nelineární
  - lineární
    - ☐ časová oblast
    - ☐ frekvenční oblast
    - ☐ ...
- ☑ model nedeterministické složky
  - pravděpodobnostní
  - fuzzy
  - hrubý
  - ...



# II. SIGNÁLY ZÁKLADNÍ POJMY



# CO JE TO SIGNÁL ?

---

# CO JE TO SIGNÁL ?

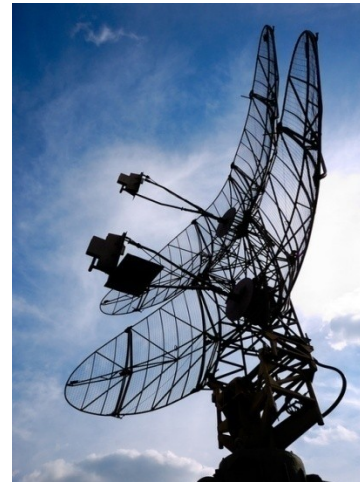
---



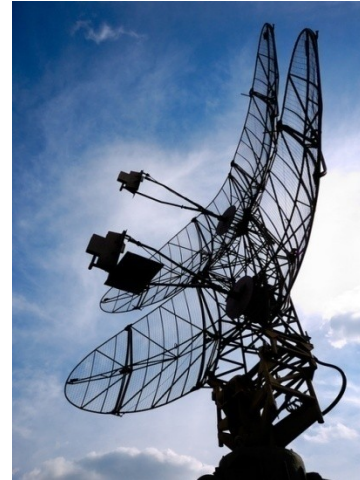
# CO JE TO SIGNÁL ?



# CO JE TO SIGNÁL ?



# CO JE TO SIGNÁL ?

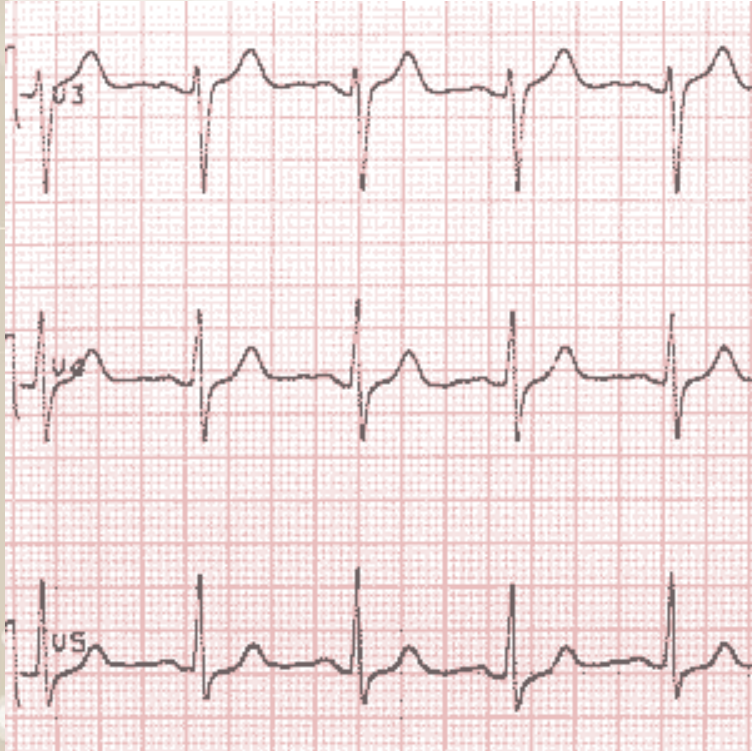


# CO JE TO SIGNÁL ?

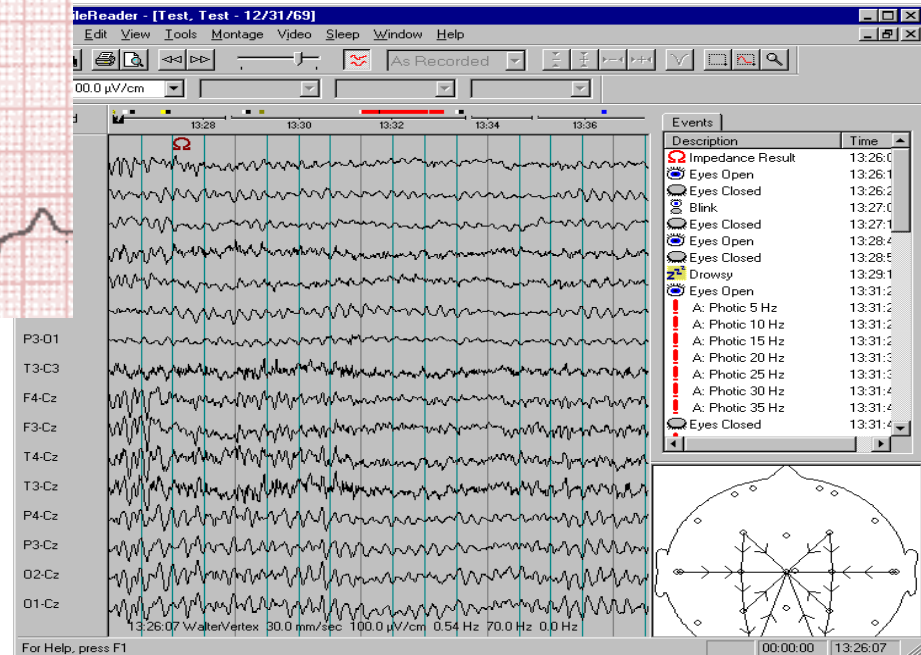
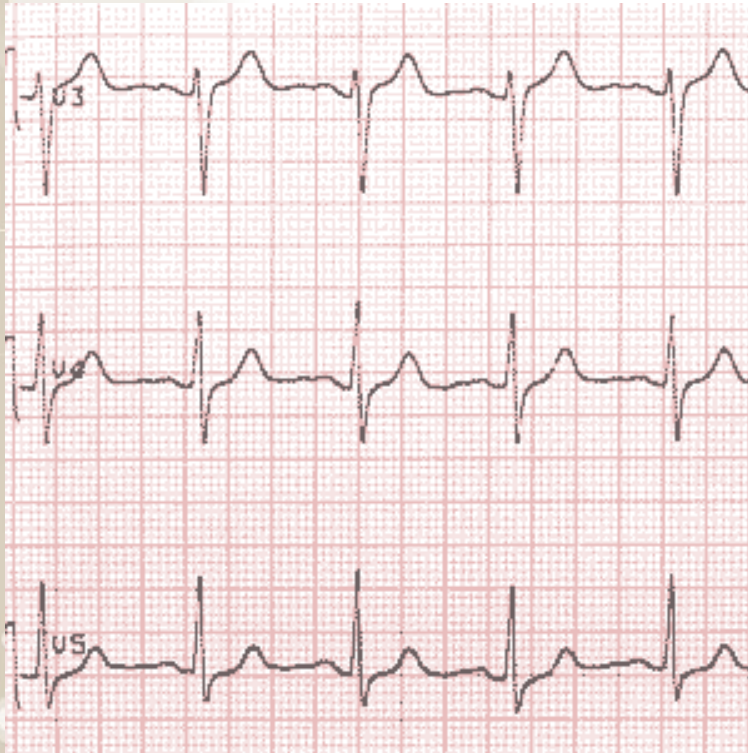




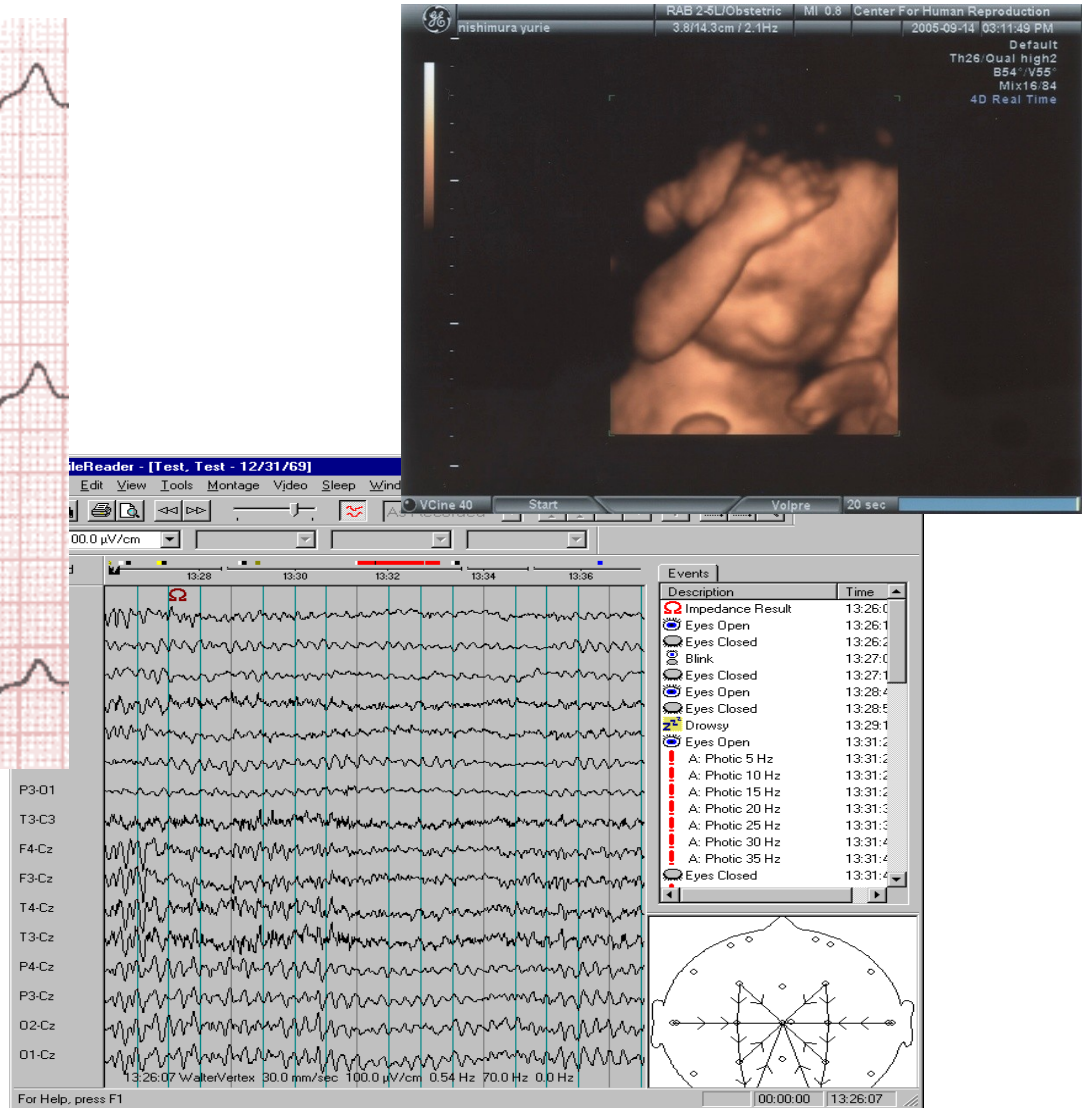
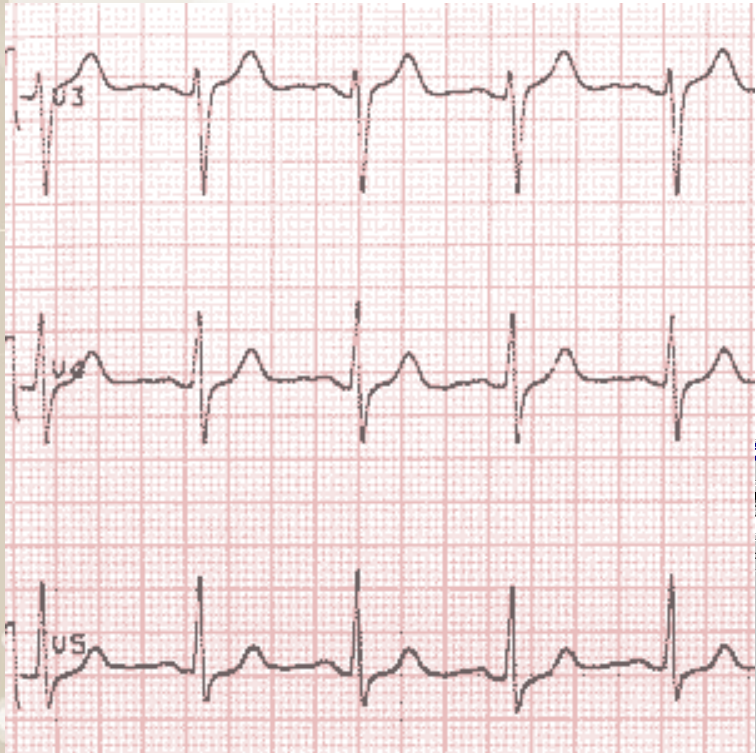
# CO JE TO SIGNÁL ?



# CO JE TO SIGNÁL ?



# CO JE TO SIGNÁL ?



# CO JE TO SIGNÁL ?

## DEFINICE

**Signál** je jev fyzikální, chemické, biologické, ekonomické či jiné materiální povahy, nesoucí informaci o stavu systému, který jej generuje.

# CO JE TO SIGNÁL ?

## DEFINICE

**Signál** je jev fyzikální, chemické, biologické, ekonomické či jiné materiální povahy, nesoucí informaci o stavu systému, který jej generuje, **a jeho dynamice.**

# A Z ČEHO SE TEDY SIGNÁLY (DATA) SKLÁDAJÍ?

- ☑ nesou **informaci** o měřeném objektu (informace je nehmotná) na nějakém **nosiči** (hmotném – to bývá nějaká hmotná – fyzikální, chemická, biologická, ... veličina);

# INFORMACE

- ☑ poznatek (znalost) týkající se jakýchkoliv objektů, např. faktů, událostí, věcí, procesů nebo myšlenek včetně pojmů, které mají v daném kontextu specifický význam (ISO/IEC 2382-1:1993 „Informační technologie – část I: Základní pojmy“)
- ☑ název pro obsah toho, co se vymění s vnějším světem, když se mu přizpůsobujeme a působíme na něj svým přizpůsobováním. Proces přijímání a využívání informace je procesem našeho přizpůsobování k nahodilostem vnějšího prostředí a aktivního života v tomto prostředí (WIENER);
- ☑ poznatek, který omezuje nebo odstraňuje nejistotu týkající se výskytu určitého jevu z dané množiny možných jevů;

**!!! NEHMOTNÁ !!!**

# A Z ČEHO SE TA DATA SKLÁDAJÍ?

- ☑ nesou **informaci** o měřeném objektu (informace je nehmotná) na nějakém **nosiči** (hmotném – to bývá nějaká hmotná – fyzikální, chemická, biologická, ... veličina);
- ☑ nesou jednak **užitečnou informaci**, která se příčinně (deterministicky) váže k měřenému reálnému objektu (!!!!), jednak **balast**, který se na tu informaci připojil někde po cestě



# ZÁKLADNÍ KONCEPT

## CÍL VŠECH MOŽNÝCH ANALÝZ

Odhalit příčinný (deterministický) vztah mezi zdrojem a projevem navzdory všemu, co nám to odhalení kazí.

# ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

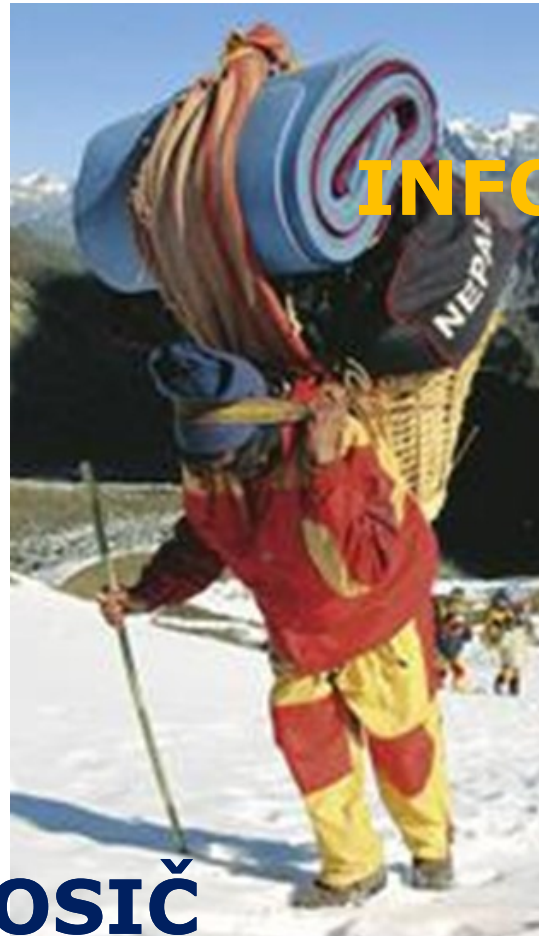


# ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU



**NOSIČ**

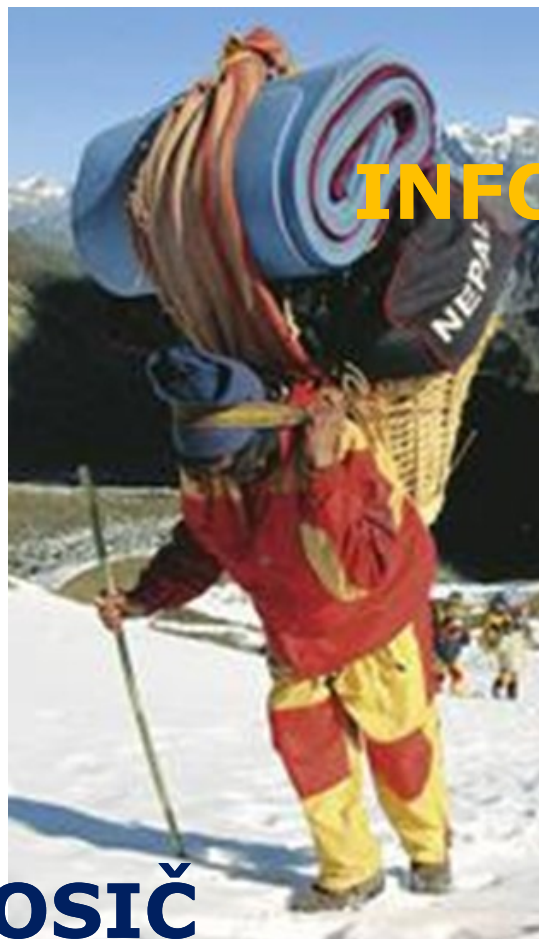
# ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU



**INFORMACE**

**NOSIČ**

# ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

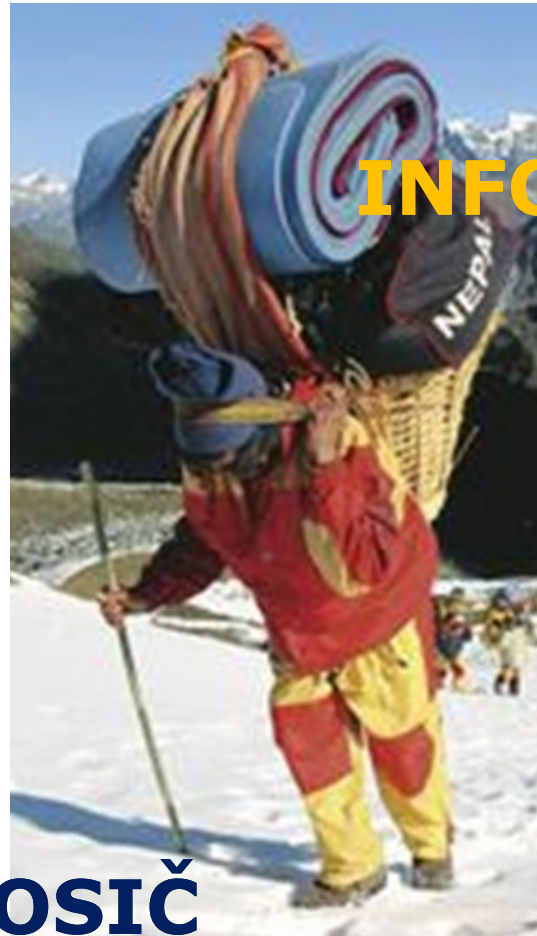


**INFORMACE**

**NOSIČ**

**TO NECHME TECHNIKŮM (ELEKTRIKÁŘŮM, ...)**

# ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU



**INFORMACE**



**ZPRACOVÁNÍ  
INFORMACE**

**NOSIČ**

**TO NECHME TECHNIKŮM (ELEKTRIKÁŘŮM, ...)**

# ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

---

K čemu ta informace bude?

# ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

- ☑ abychom dokázali říct, co to je za objekt (rozpoznání, klasifikace,...);
- ☑ abychom dokázali posoudit jeho stav (O.K., hypertenze, epilepsie, exitus, úroveň chemického zamoření dané lokality, ...);
- ☑ abychom dokázali předpovědět jeho budoucnost (lze léčit a vyléčit, ocenit finanční nároky léčení po dobu přežití, les do 20 let odumře, sociální složení obyvatelstva v daném časovém rozpětí, ...);



# ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

popis

# ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

- ☑ popis – matematický model

# ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

- ☑ popis – matematický model
  - **analytický** (nějakou funkcí)

# ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

☑ popis – matematický model

→ **analyticky** (nějakou funkcí)

→ **posloupností hodnot**



# ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

☑ popis – matematický model

→ **analyticky** (nějakou funkcí)

→ **posloupností hodnot**



**!!! ČASOVÁ ŘADA !!!**

# ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

☑ popis – matematický model

→ **analyticky** (nějakou funkcí)

→ **posloupností hodnot**



**!!! ČASOVÁ ŘADA !!!**



# ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

☑ popis – matematický model

→ **analytický** (nějakou funkcí)

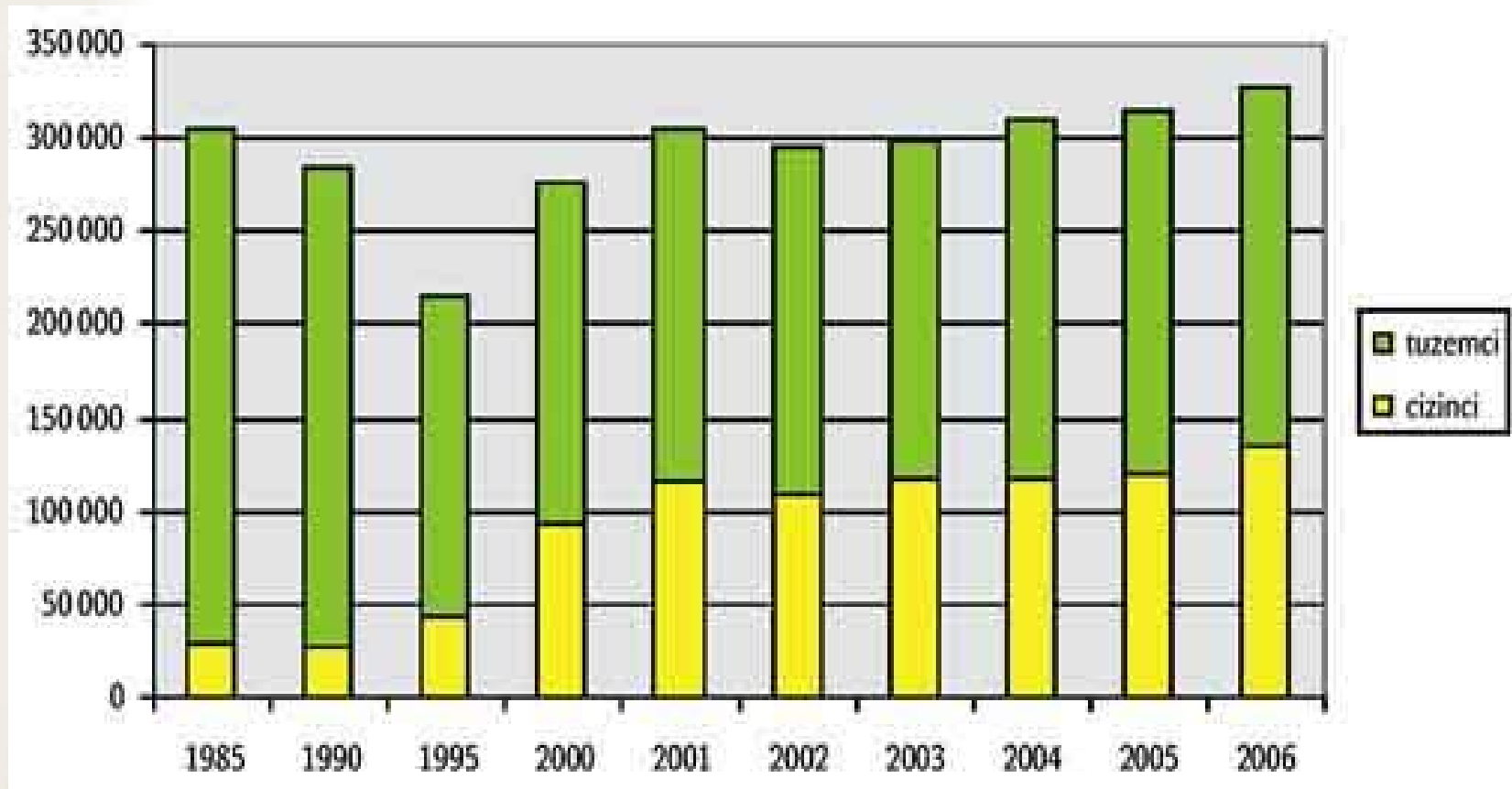
→ **posloupností hodnot**



**!!! ČASOVÁ ŘADA !!!**

Závislost nějaké veličiny na jiné nazýváme v případě spojité nezávislé veličiny **funkcí**, v případě diskrétní nezávislé veličiny **posloupností**, resp. **časovou řadou** (obecně je to **zobrazení**). Pojem signál je tedy jakousi technickou náhražkou matematického pojmu zobrazení.

# ČASOVÁ ŘADA

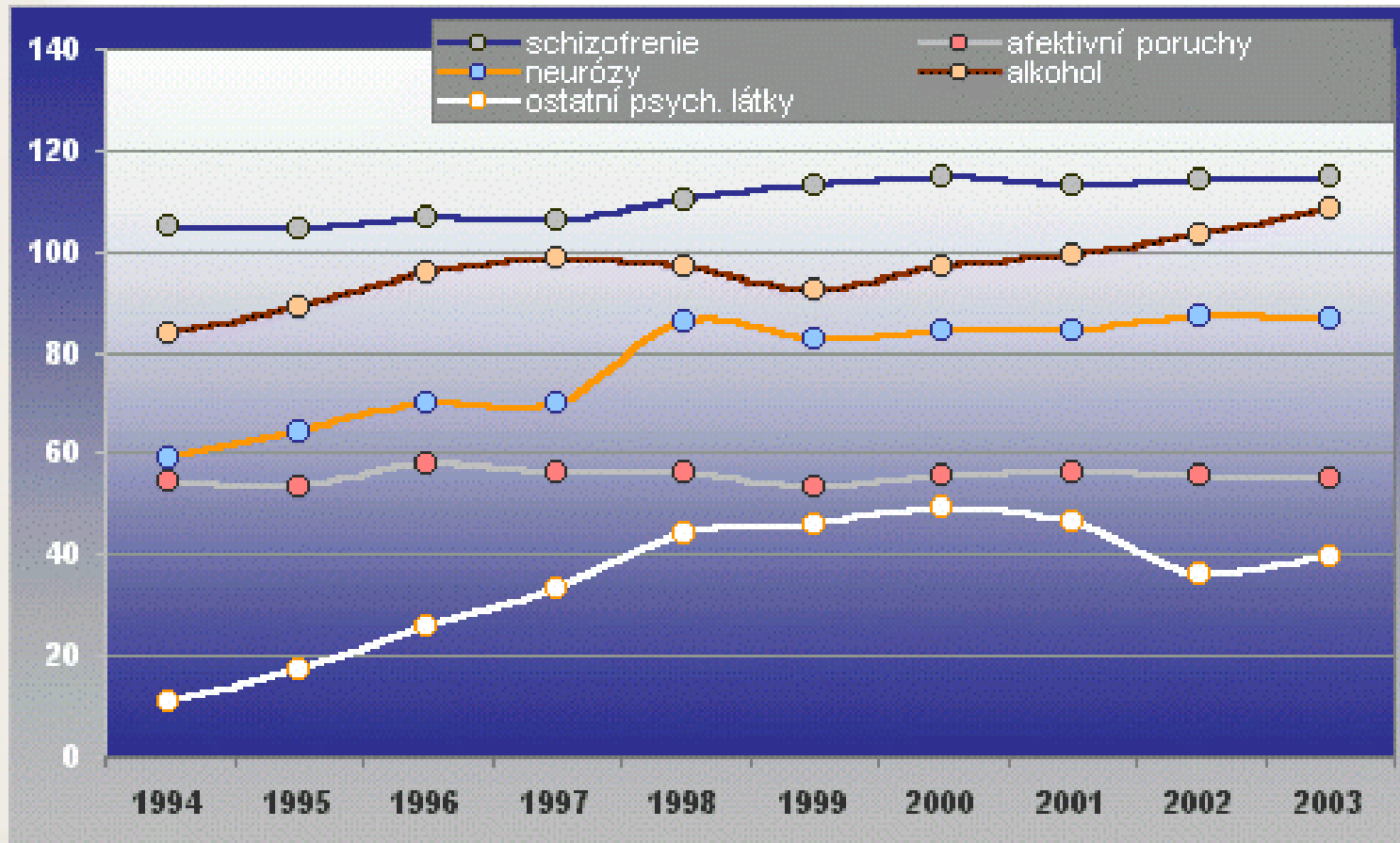


**Vývoj počtu pacientů v lázeňských zařízeních**

*Pramen: Ústav zdravotnických informací a statistiky*



# ČASOVÁ ŘADA



**Vývoj počtu hospitalizací v lůžkových psychiatrických zařízeních (na 100 000 osob)**

*Pramen: Ústav zdravotnických informací a statistiky*

# ČASOVÁ ŘADA (SIGNÁL V DISKRÉTNÍM ČASE)

Definice (základní):

Časová řada je uspořádaná množina hodnot  $\{y_t : t=1, \dots, n\}$ , kde index  $t$  určuje čas, kdy byla hodnota  $y_t$  určena.

# ČASOVÁ ŘADA (SIGNÁL V DISKRÉTNÍM ČASE)

Definice (základní):

Časová řada je uspořádaná množina hodnot  $\{y_t : t=1, \dots, n\}$ , kde index  $t$  určuje čas, kdy byla hodnota  $y_t$  určena.

Mnohé další modifikace:

- ☑ Časové okamžiky  $t$  jednotlivých pozorování nemusí být rovnoměrné  $\{y(t_i) : i=1, \dots, n\}$ .
- ☑ Každá hodnota může mít akumulární (integrační) charakter za určité období než že by vyjadřovala okamžitý stav

# ČASOVÁ ŘADA (SIGNÁL V DISKRÉTNÍM ČASE)

Definice (základní):

Časová řada je uspořádaná množina hodnot  $\{y_t : t=1, \dots, n\}$ , kde index  $t$  určuje čas, kdy byla hodnota  $y_t$  určena.

Mnohé další modifikace:

- ☑ Hodnoty mohou být rozšířeny o násobná měření (vývoj hmotnosti každého experimentálního zvířete v dané skupině)
- ☑ Každý skalár  $y_t$  může být nahrazen vektorem  $p$  hodnot  $\mathbf{y}_t = (y_{1t}, \dots, y_{pt})$

# ČASOVÉ ŘADY – CO S NIMI?

- ☑ **stručný popis jejích vlastností** (pomocí několika některých souhrnných parametrů (statistik?)) – na jednoduchá data příliš složitý průběh      ↓

k popisu spíše funkce než jednoduchá hodnota, např.

klouzavý průměr než střední hodnota;

složky řady – trend, sezónní změny, pomalé a rychlé změny, nepravidelné oscilace – **frekvenční analýza**

- ☑ **predikce budoucích hodnot** – velká část analytických metod pro časové řady;

(**Predikce** (z lat. *prae-*, před, a *dicere*, říkat) znamená **předpověď** či prognózu, tvrzení o tom, co se stane nebo nestane v budoucnosti. Na rozdíl od věštění nebo hádání se slovo predikce obvykle užívá pro odhady, opřené o vědeckou hypotézu nebo teorii.)

# ČASOVÉ ŘADY – CO S NIMI?

- ✓ **monitorování průběhu a detekce významných změn** - např. sledování funkce ledvin po transplantaci;
- ✓ **modelování průběhu**
  - pochopení procesů způsobujících vznik dat;
  - pragmatický nástroj pro splnění výše uvedených cílů

Ize řešit např. pomocí lineárních systémů – autoregresivní (AR), integrační (I), s klouzavým průměrem (moving average – MA)

# ZA TÝDEN NASHLEDANOU