



# ČASOVÉ ŘADY (SIGNÁLY A LINEÁRNÍ SYSTÉMY)



**prof. Ing. Jiří Holčík, CSc.**

UKB, A29 – RECETOX, dv.č.112  
[holcik@iba.muni.cz](mailto:holcik@iba.muni.cz)

# KDE A KDY SE BUDEME VÍDAT?

# **KDE A KDY SE BUDEME VÍDAT?**

## **přednášky:**

**úterý 8-10 hod., UKB, A1, 6NP, PC učebna COMPK6**

## **cvičení:**

**úterý 10 – 12 hod., jednou za dva týdny,  
UKB, A1, 6NP, PC učebna COMPK6  
začínáme 4.10.2016**

# 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.: Signály a lineární systémy. Funkce, časové řady a jejich lineární modely.  
<http://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analyza-a-modelovani-dynamickych-biologickych-dat--signaly-a-linearni-systemy>
- ☑ 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

<http://portal.matematickabiologie.cz/>

The screenshot shows a web browser window with the URL <http://portal.matematickabiologie.cz/>. The page has a navigation bar with the following items: E-learningová učebnice, Matematická biologie, and Slovník | Vyhledávání | Mapa webu. Below the navigation bar, there are five main menu items: Analýza a hodnocení biologických dat, Aplikovaná analýza klinických a biologických dat, Analýza a modelování dynamických biologických dat, Základy informatiky pro biologie, and Analýza genomických a proteomických dat. The main content area features a sidebar with 'standardní struktura', 'AKTUALITY', and 'Podklady pro pracovní skupinu'. The main content area is titled 'Matematická biologie: E-learningová učebnice' and contains a paragraph about electronic study materials. Below this, there are two columns of links. The left column is under the heading 'IBA MU Institut biostatistiky a analýz' and lists: Algoritmizace a programování, Analýza dat v R, Analýza genomických a proteomických dat, Analýza sekvencí DNA, Analýza a management dat pro zdravotnické obory, Analýza klinických dat, Aplikovaná analýza přežití, Biostatistika pro matematickou biologii, Databázové systémy v biomedicině, Lineární a adaptivní zpracování dat, Regresní modelování, Signály a lineární systémy, Statistické hodnocení biodiverzity, Teoretické základy informatiky, Umělá inteligence, Úvod do matematického modelování, and Vícerozměrné metody pro analýzu a klasifikaci dat. The right column is under the heading 'ÚMS PŘF Ústav matematiky a statistiky' and lists: Diskrétní deterministické modely, Matematické modely v biologii, Maticové populační modely, Spojité deterministické modely I, Spojité deterministické modely II, Statistické modelování, Teorie a praxe jádrového vyhlazování, Vybrané kapitoly z matematického modelování, and Vypočetní matematické systémy. The Windows taskbar at the bottom shows the time as 9:42 on 31.8.2015.

# LITERATURA

- ☑ Holčík, J.: Signály, časové řady a lineární systémy. CERM, Brno, 2012, 136s.  
<http://www.iba.muni.cz/res/file/ucebnice/holcik-signal-y-casove-rady-linearni-systemy.pdf>  
<http://www.iba.muni.cz/index.php?pg=vyuka--ucebnice>
- ☑ Holčík, J.: Signály a lineární systémy. Funkce, časové řady a jejich lineární modely.  
<http://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analyza-a-modelovani-dynamickych-biologickych-dat--signal-y-a-linearni-systemy>
- ☑ Holčík, J.: přednáškové prezentace  
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 na ukončení předmětu:

☑ ústní zkouška

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



# II. ČASOVÉ ŘADY (SIGNÁLY) ZÁKLADNÍ POJMY



# ČASOVÁ ŘADA

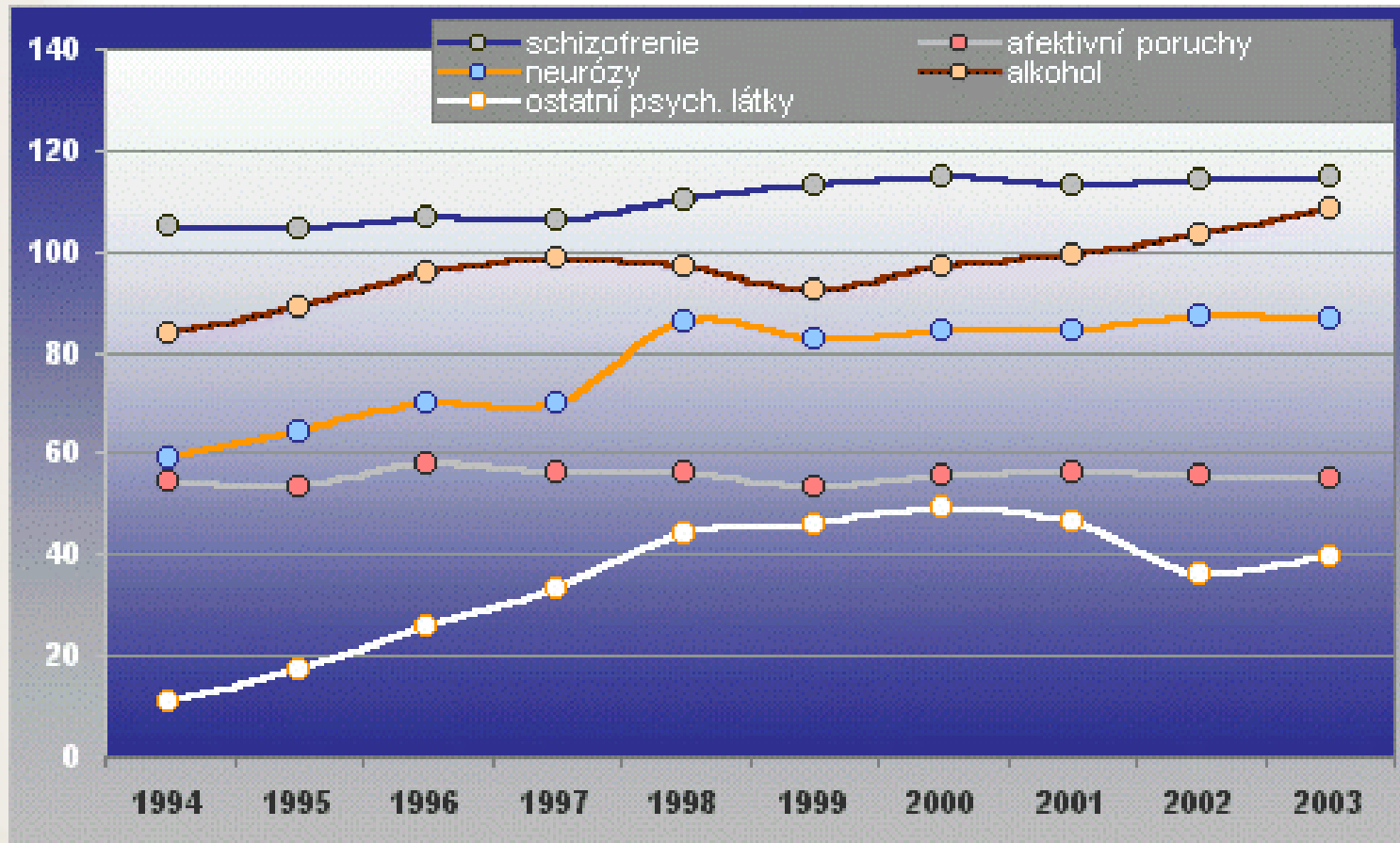
---

# ČASOVÁ ŘADA

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



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

*Pramen: Ústav zdravotnických informací a statistiky*

# ČASOVÁ ŘADA

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

Definice (základní):

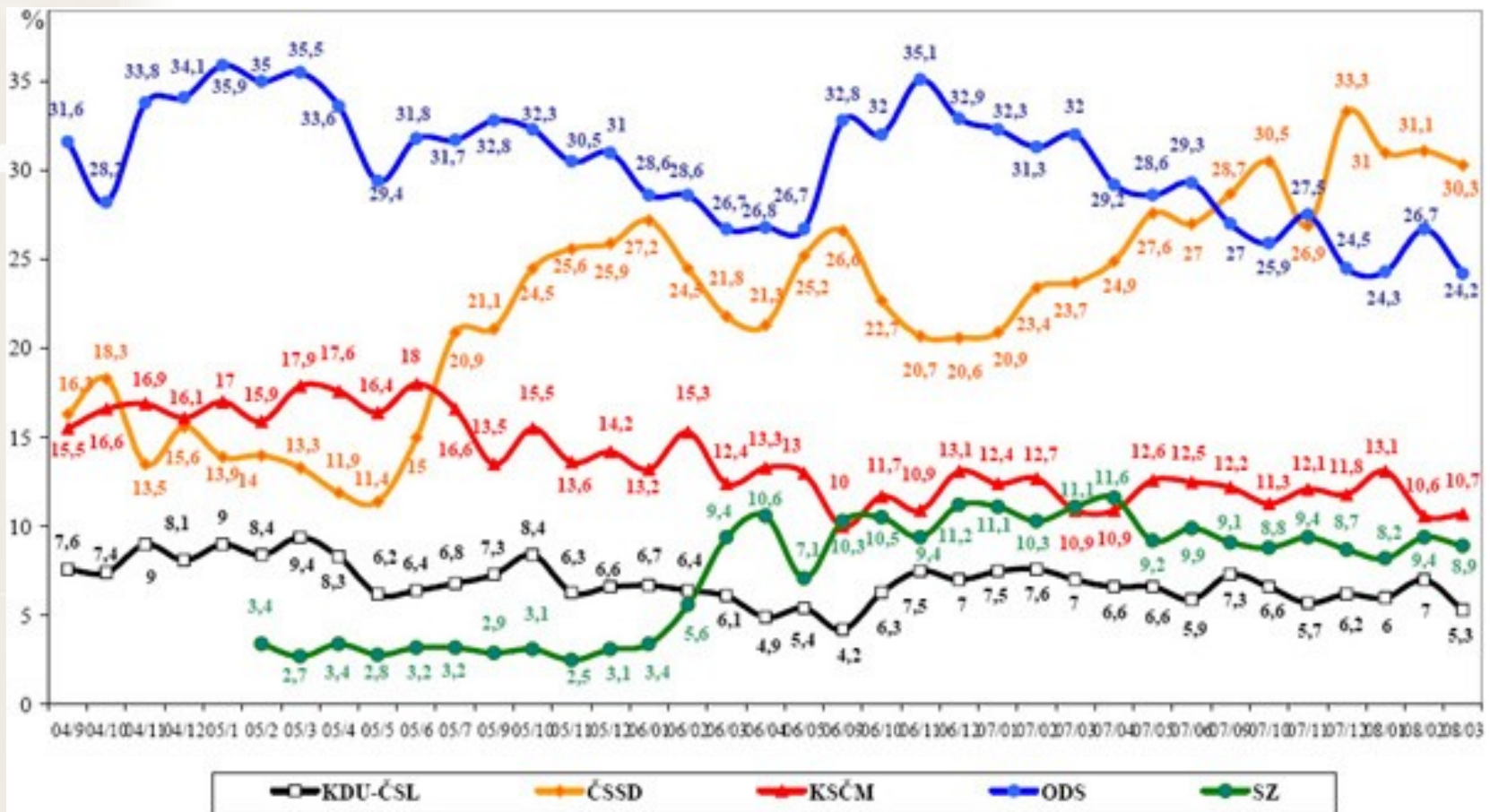
Časová řada je uspořádaná množina hodnot  $\{y_t : t=1, \dots, n\}$ , kde index  $t$  určuje čas, kdy byla hodnota  $y_t$  určena.

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  $\mathbf{y}_t = (y_{1t}, \dots, y_{pt})$



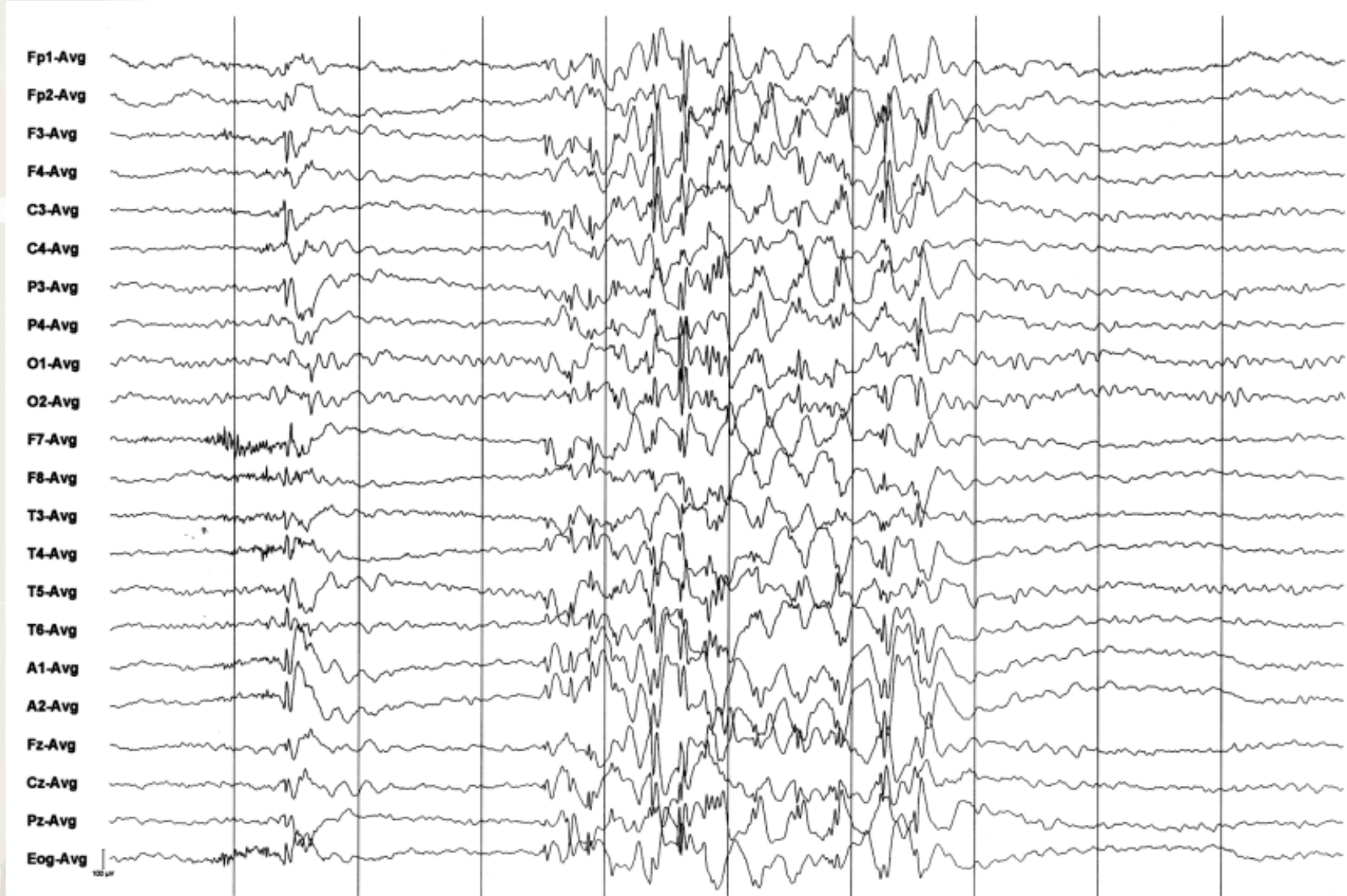
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



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

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

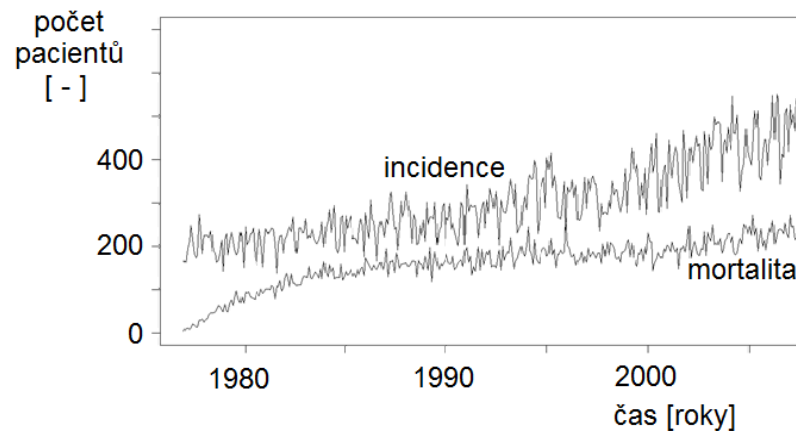
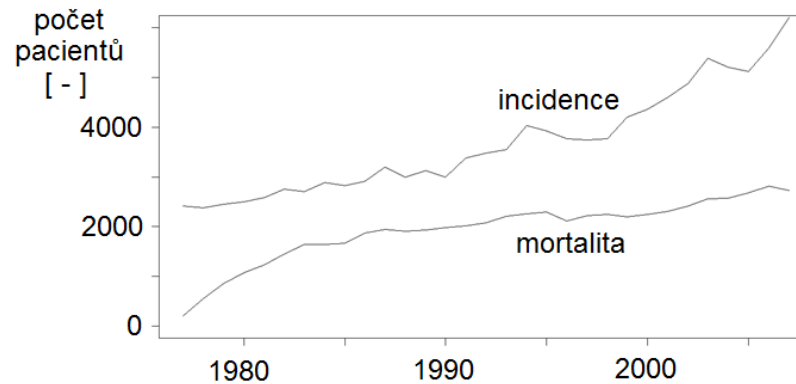
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



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

# ČASOVÉ ŘADY – CO S NIMI?

---

# ZPRACOVÁNÍ ČASOVÝCH ŘAD

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

# 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 i dále uvedených cílů

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

# ČASOVÉ ŘADY – CO S NIMI?

- ☑ **stručný popis jejích vlastností** (pomocí několika některých souhrnných parametrů (statistik?))



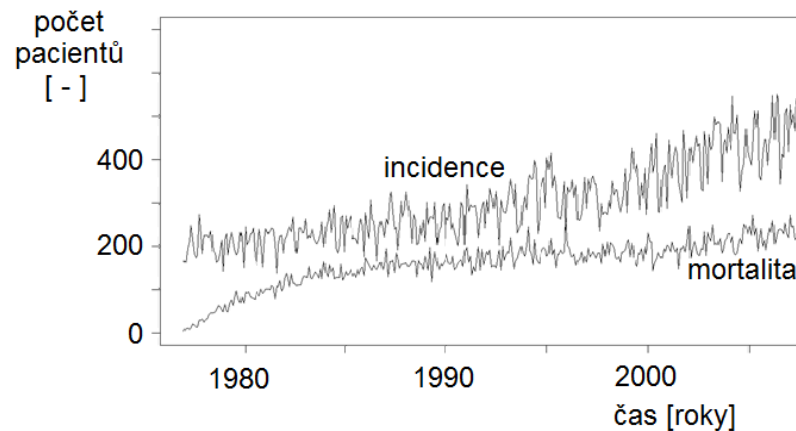
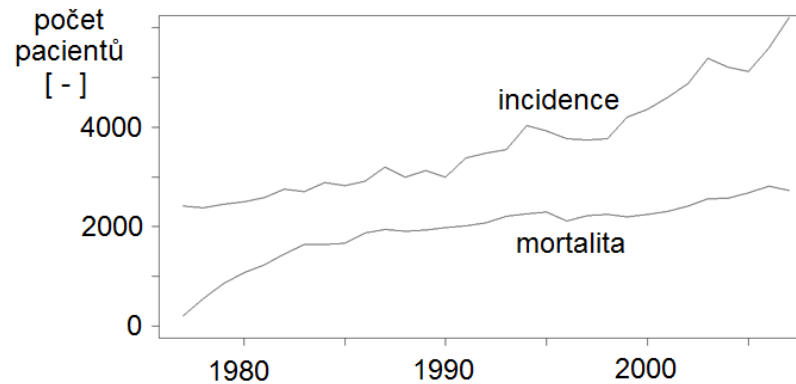
k popisu spíše funkce než jednoduchá hodnota, např. klouzavý průměr než střední hodnota;  
složky řady – trend, sezónní změny, pomalé a rychlé změny, nepravidelné oscilace – **frekvenční analýza**

- ☑ **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](#), tj. [matematický model](#).)



# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



**Vývoj incidence a mortality zhubného nádoru prsu v ČR –  
a) roční vzorkování; b) týdenní vzorkování**

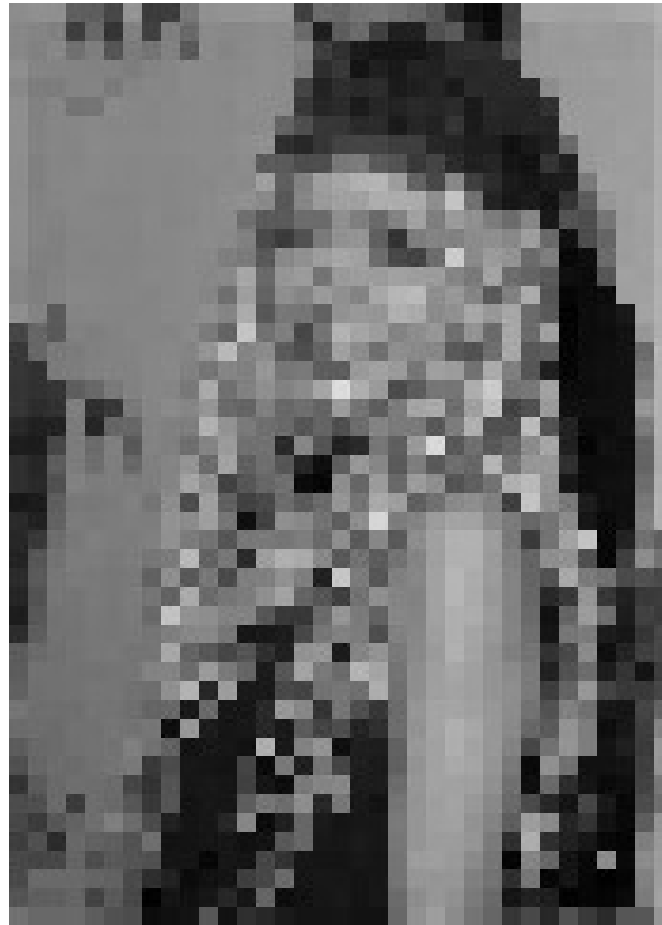
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



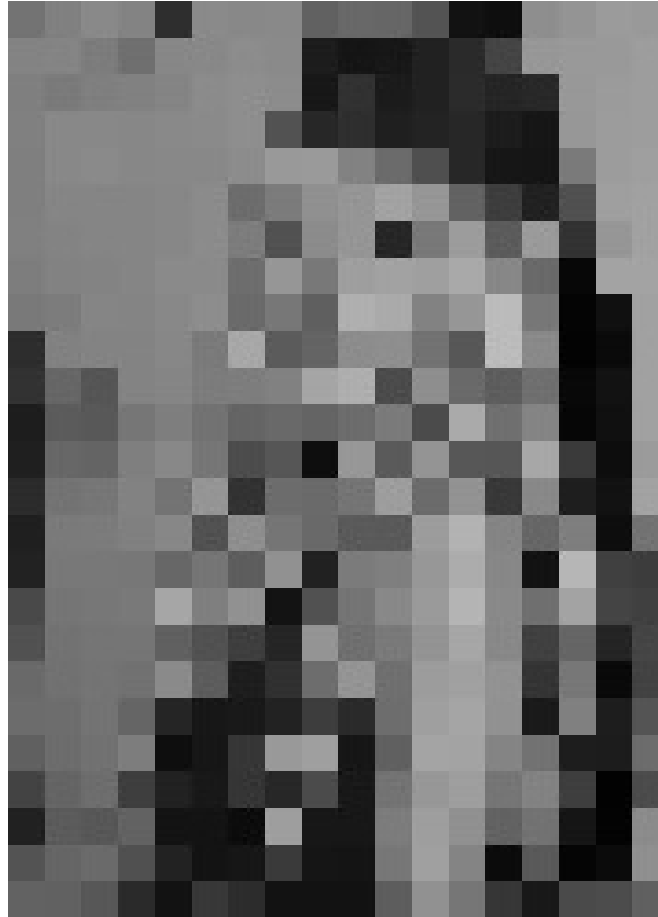
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



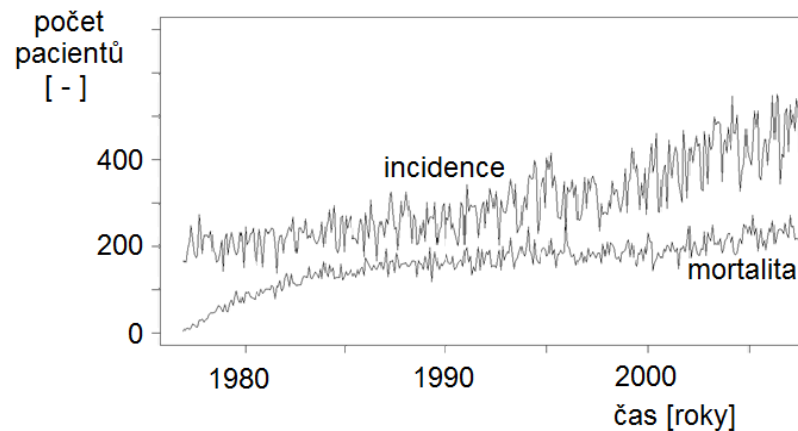
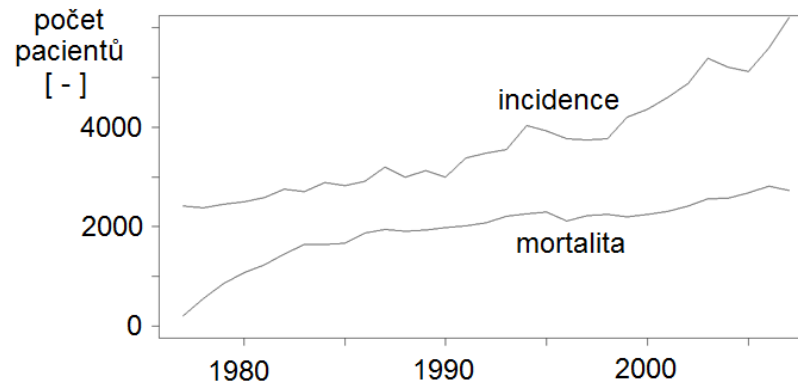
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD

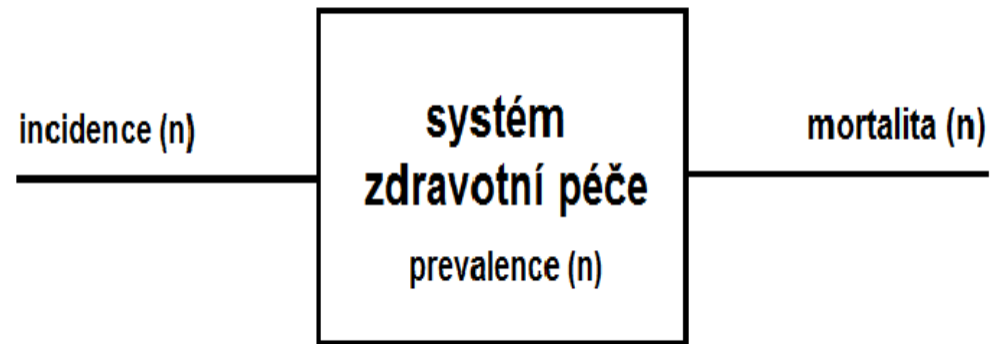


# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



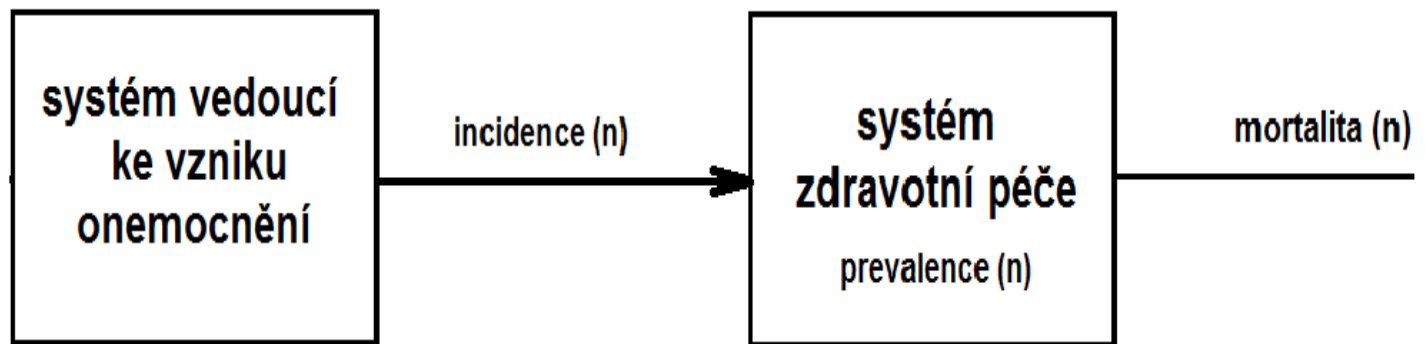
**Vývoj incidence a mortality zhubného nádoru prsu v ČR –  
a) roční vzorkování; b) týdenní vzorkování**

# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



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

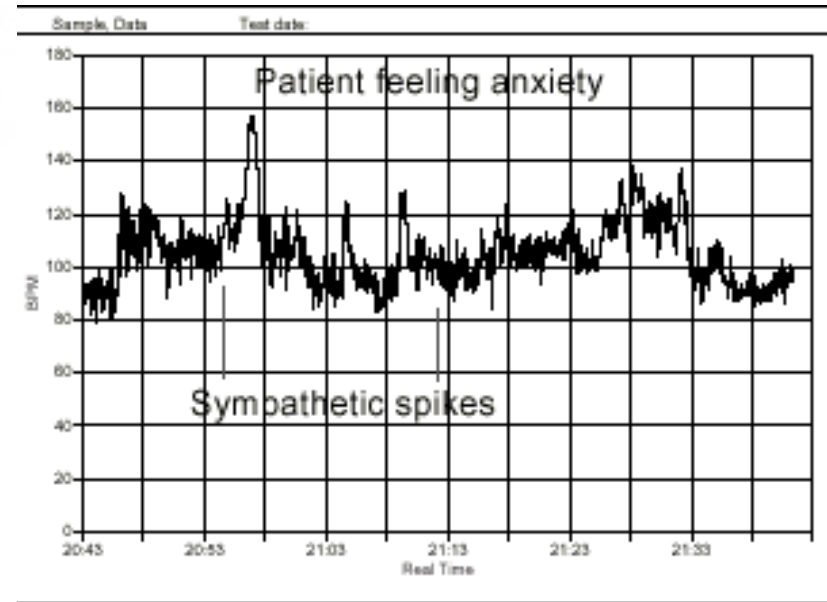
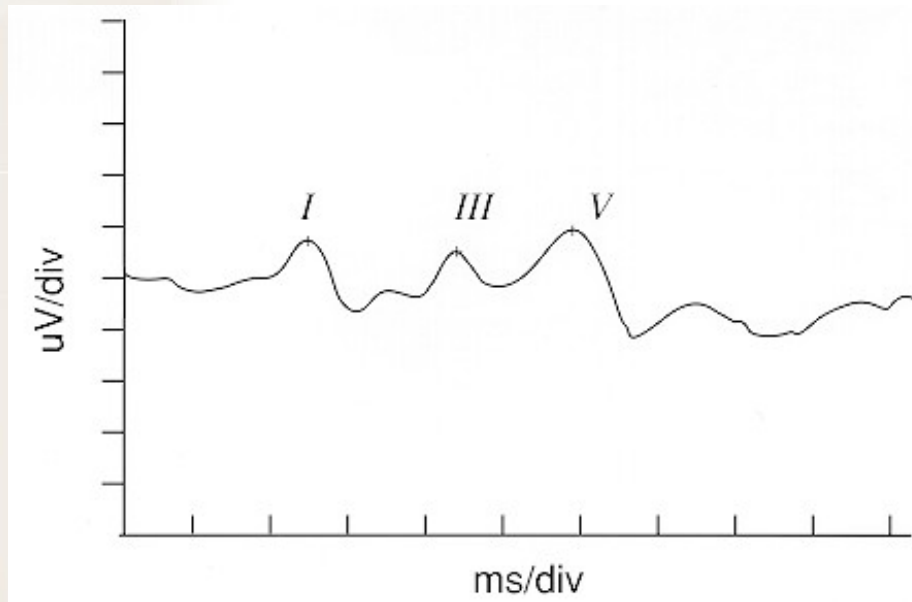
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



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

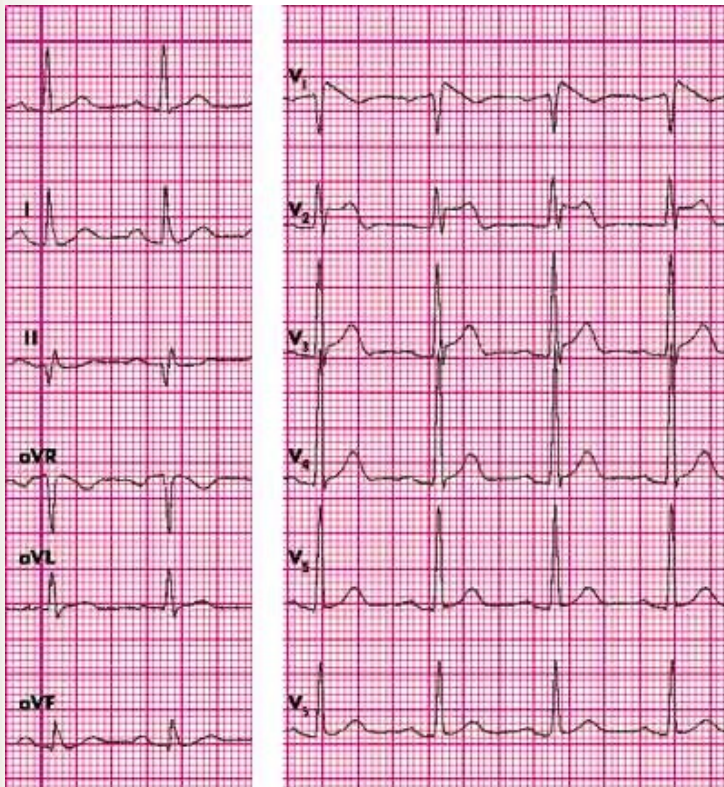


# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



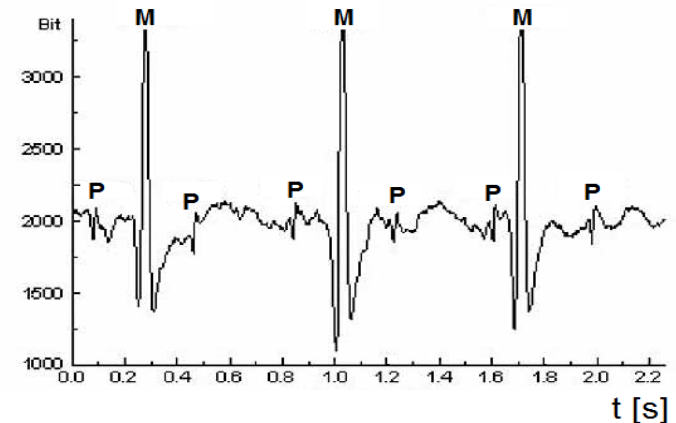
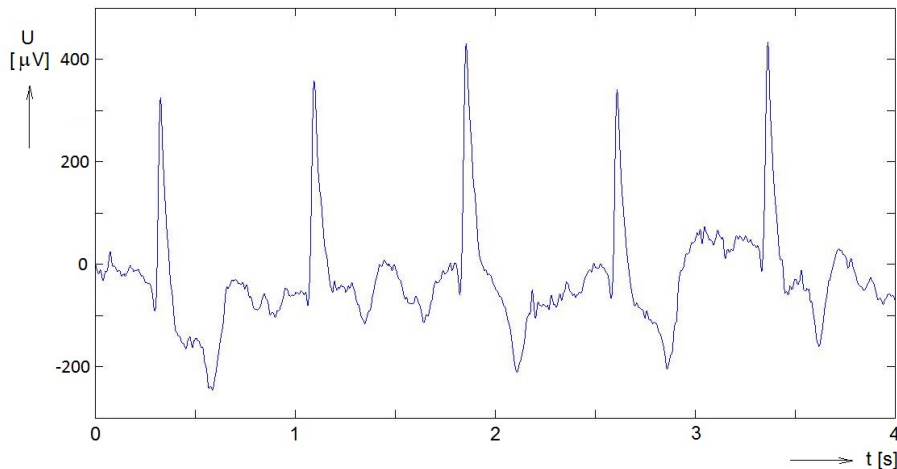
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD

## EKG – elektrokardiogram záznam signálu EKG

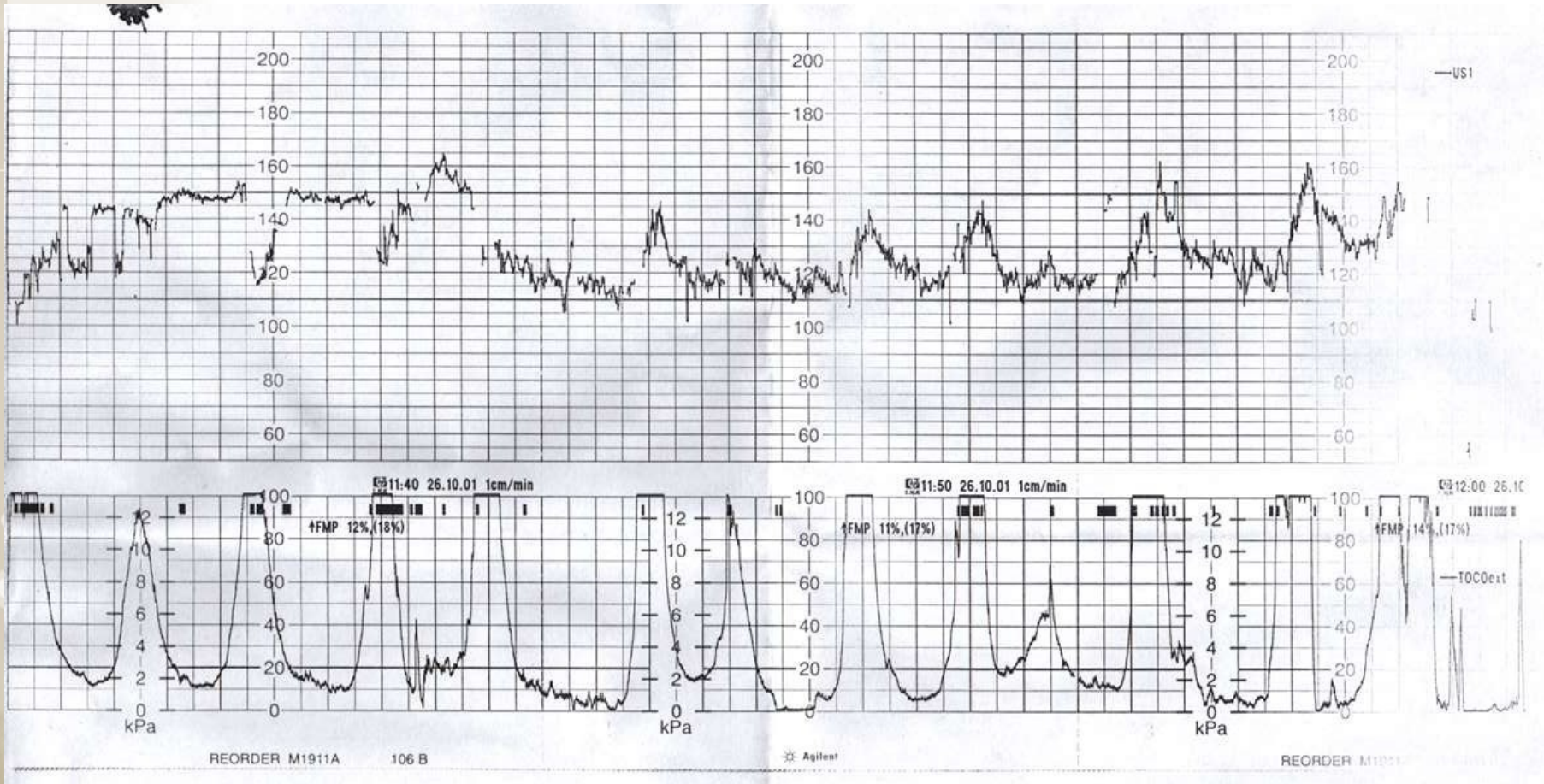


# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD

## EKG - elektrokardiogram

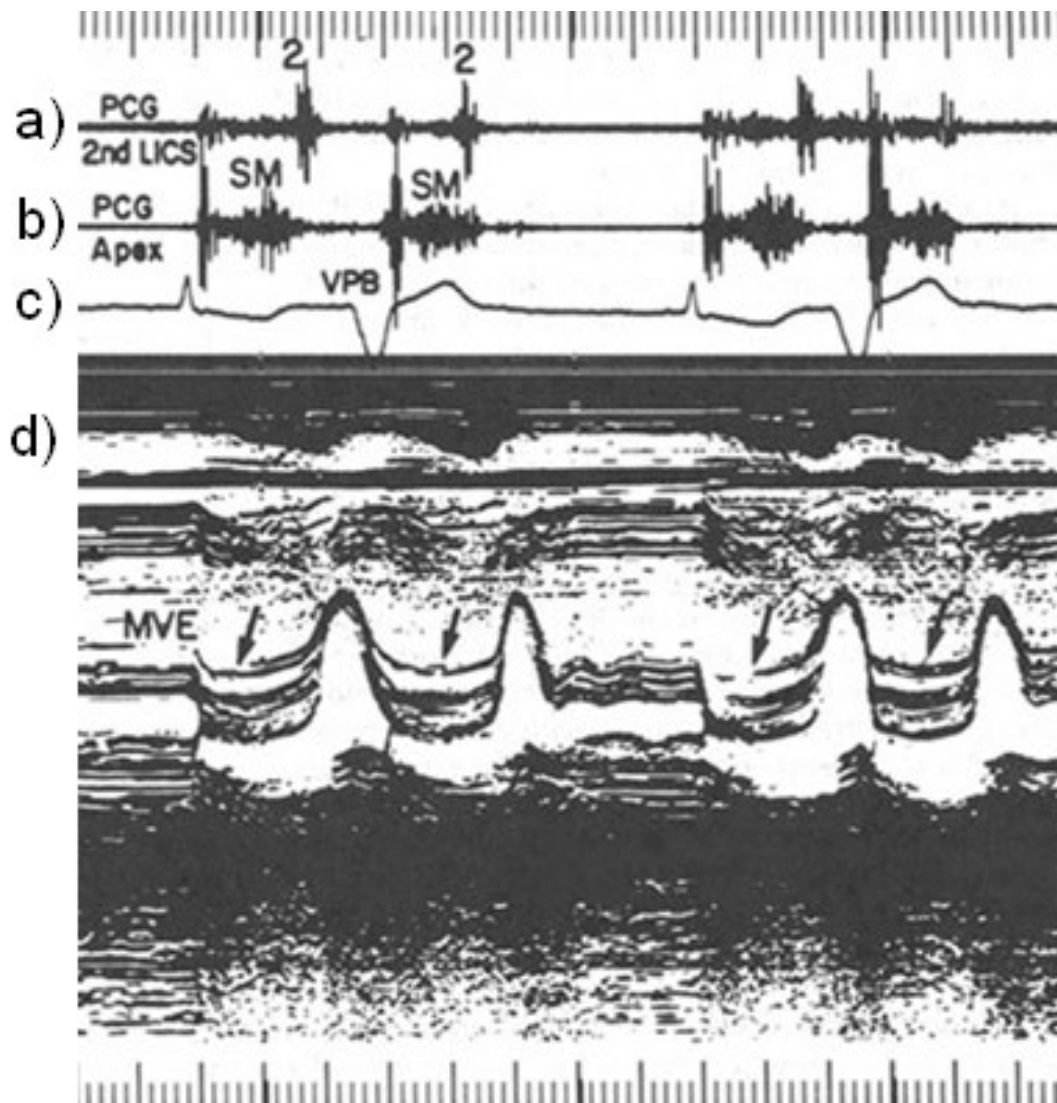


# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD

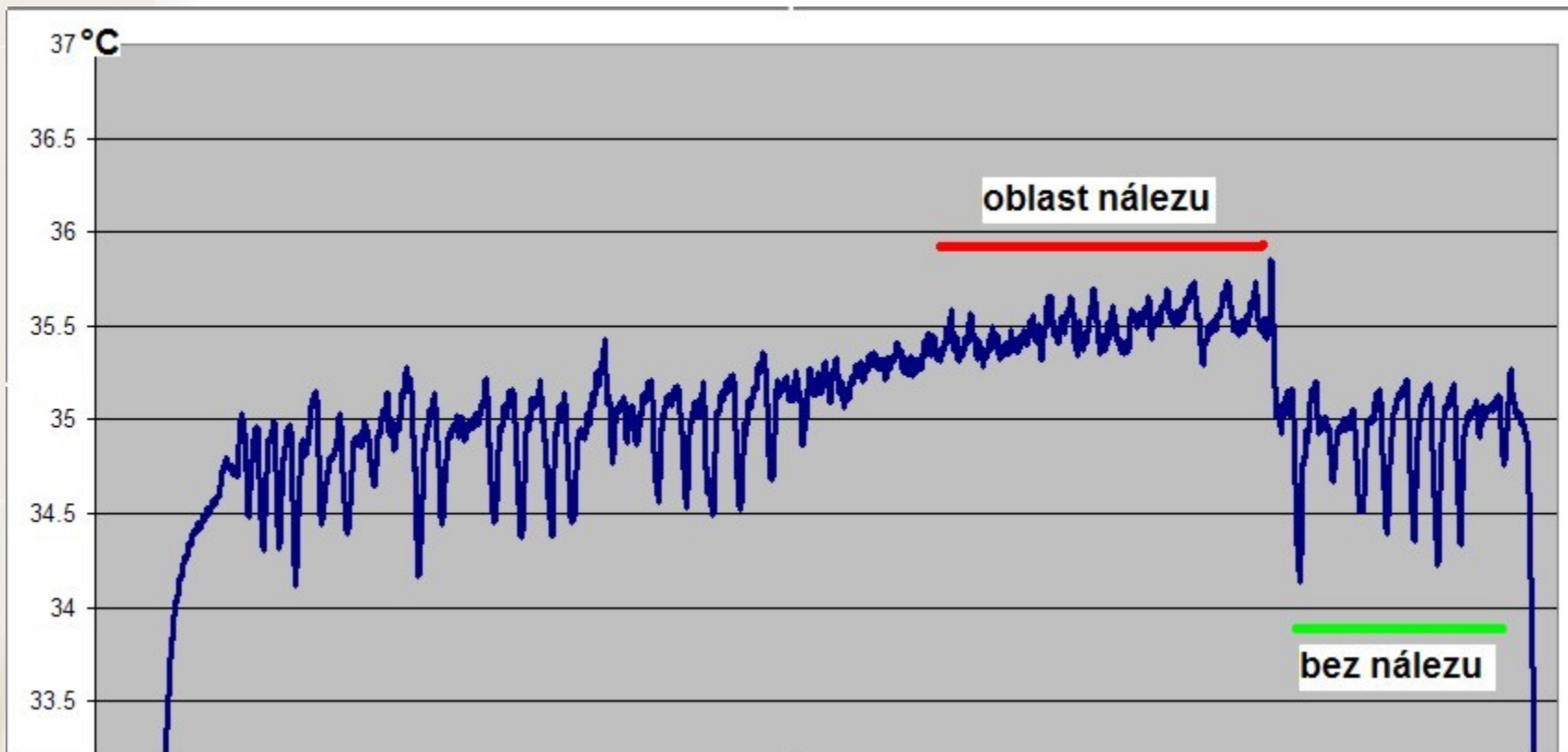


kardiotokogram

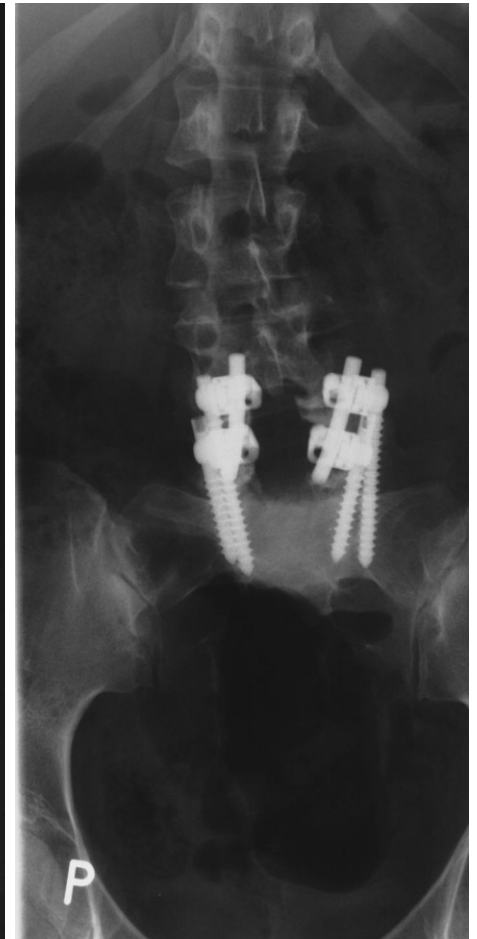
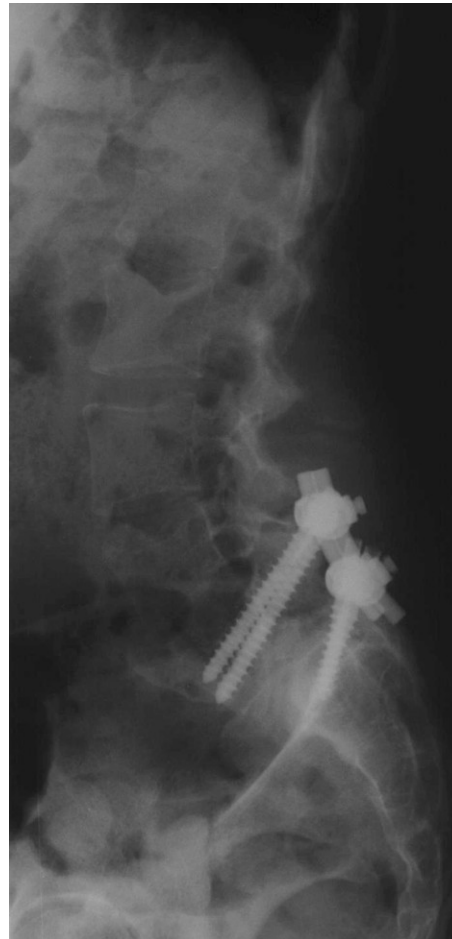
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



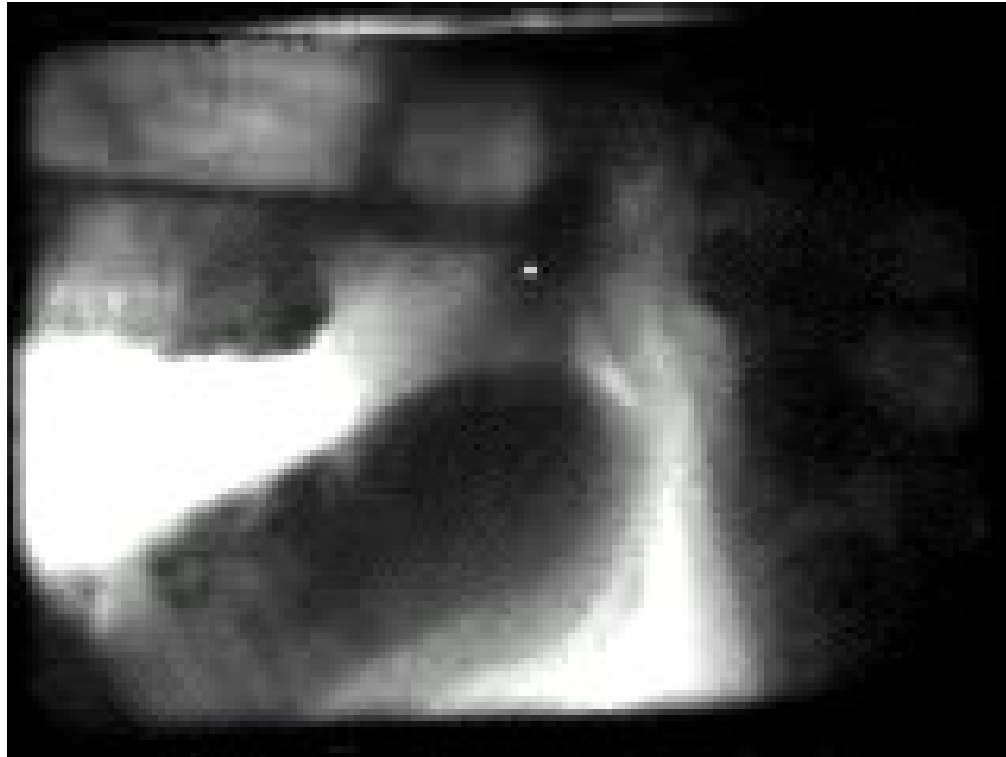
# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD



# NĚKOLIK PŘÍKLADŮ NA ÚVOD





# CO JE TO SIGNÁL ?

---

# CO JE TO SIGNÁL ?

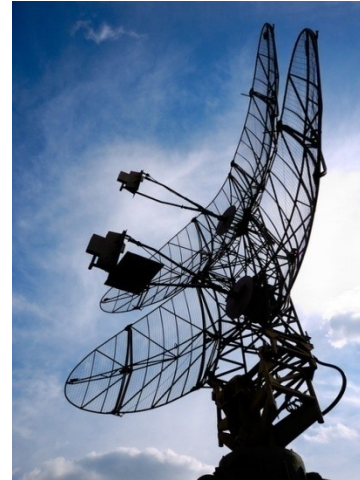
---



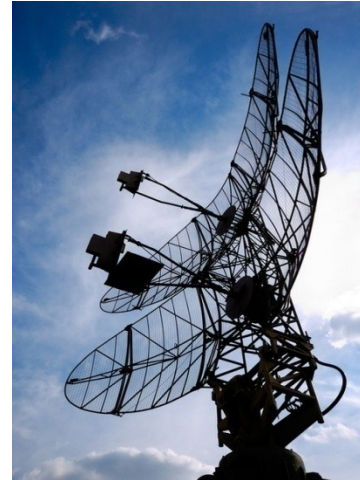
# CO JE TO SIGNÁL ?



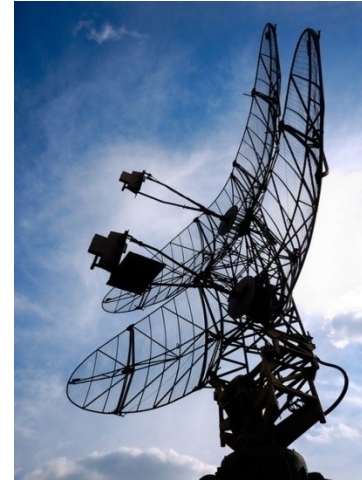
# CO JE TO SIGNÁL ?



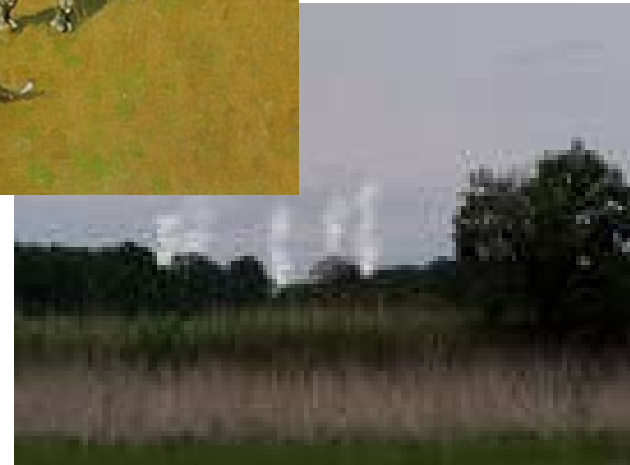
# CO JE TO SIGNÁL ?



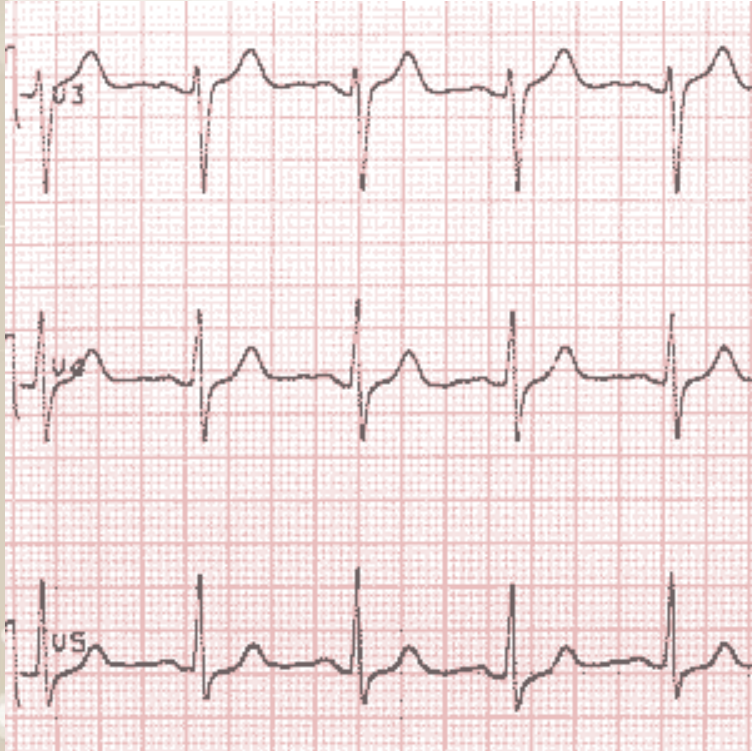
# CO JE TO SIGNÁL ?



# CO JE TO SIGNÁL ?

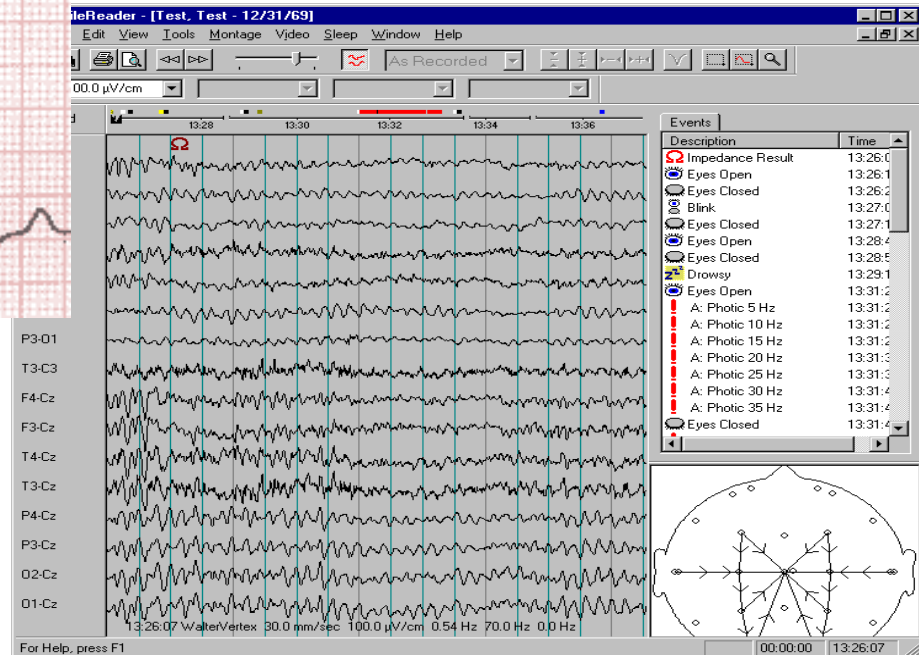
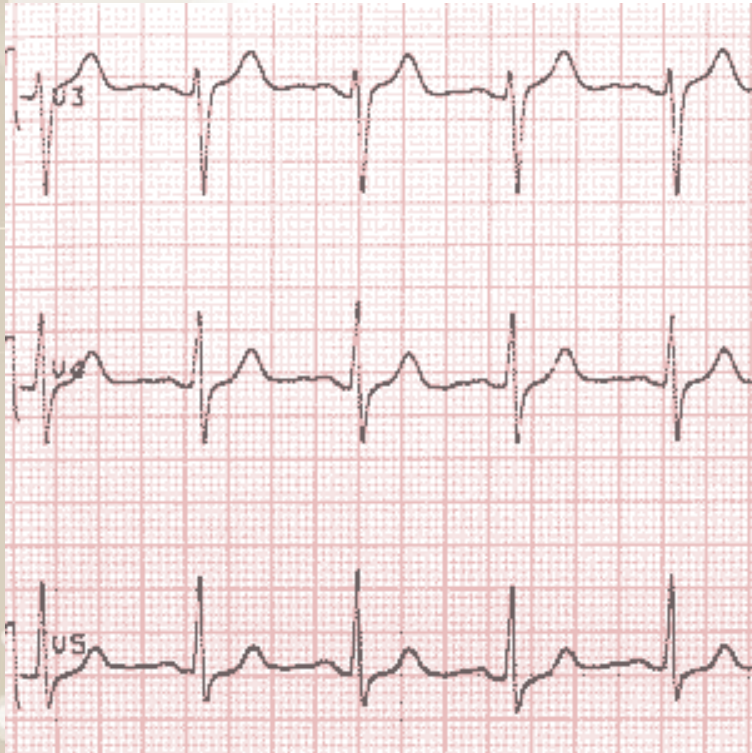


# CO JE TO SIGNÁL ?

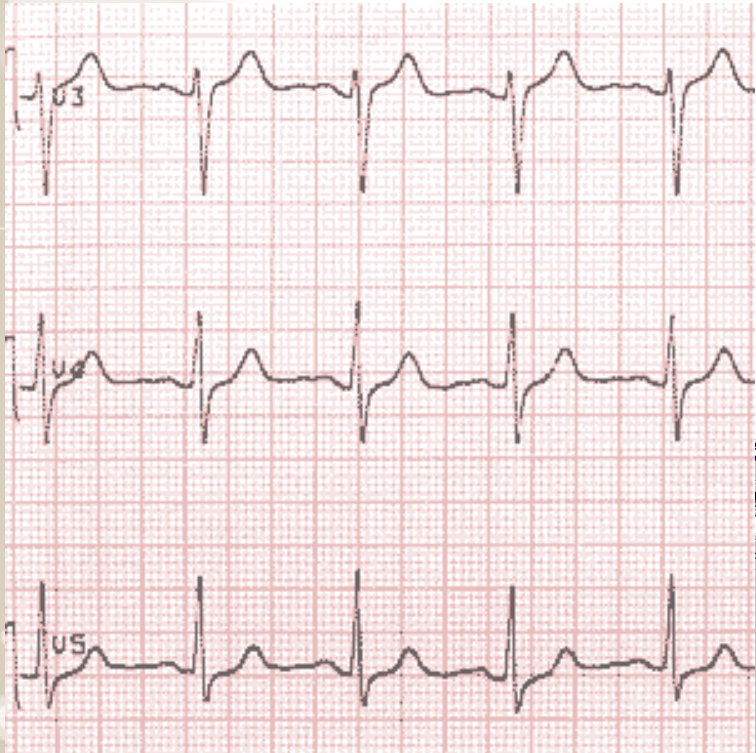




# CO JE TO SIGNÁL ?



# CO JE TO SIGNÁL ?



# CO JE TO SIGNÁL ?

---

## DEFINICE

# 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 **systemu**, který jej generuje.

# 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 !!!**

# 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.**

# 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.

Je-li zdrojem informace živý organismus, pak hovoříme o **biosignálech** bez ohledu na **podstatu** nosiče informace.



# 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, ...)



## II. ZÁKLADNÍ KONCEPT ZPRACOVÁNÍ DAT



# 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

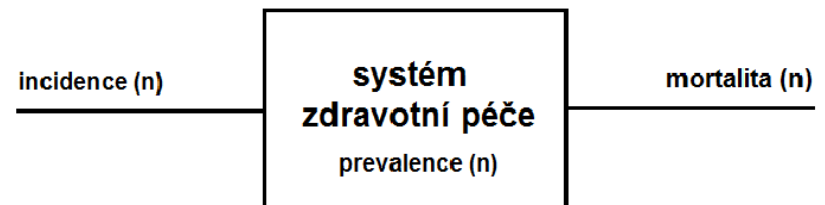


**CÍLEM JE ODHALIT TEN PŘÍČINNÝ  
DETERMINISTICKÝ VZTAH NAVZDORY VŠEMU  
TOMU, CO NÁM TO ODHALENÍ KAZÍ**

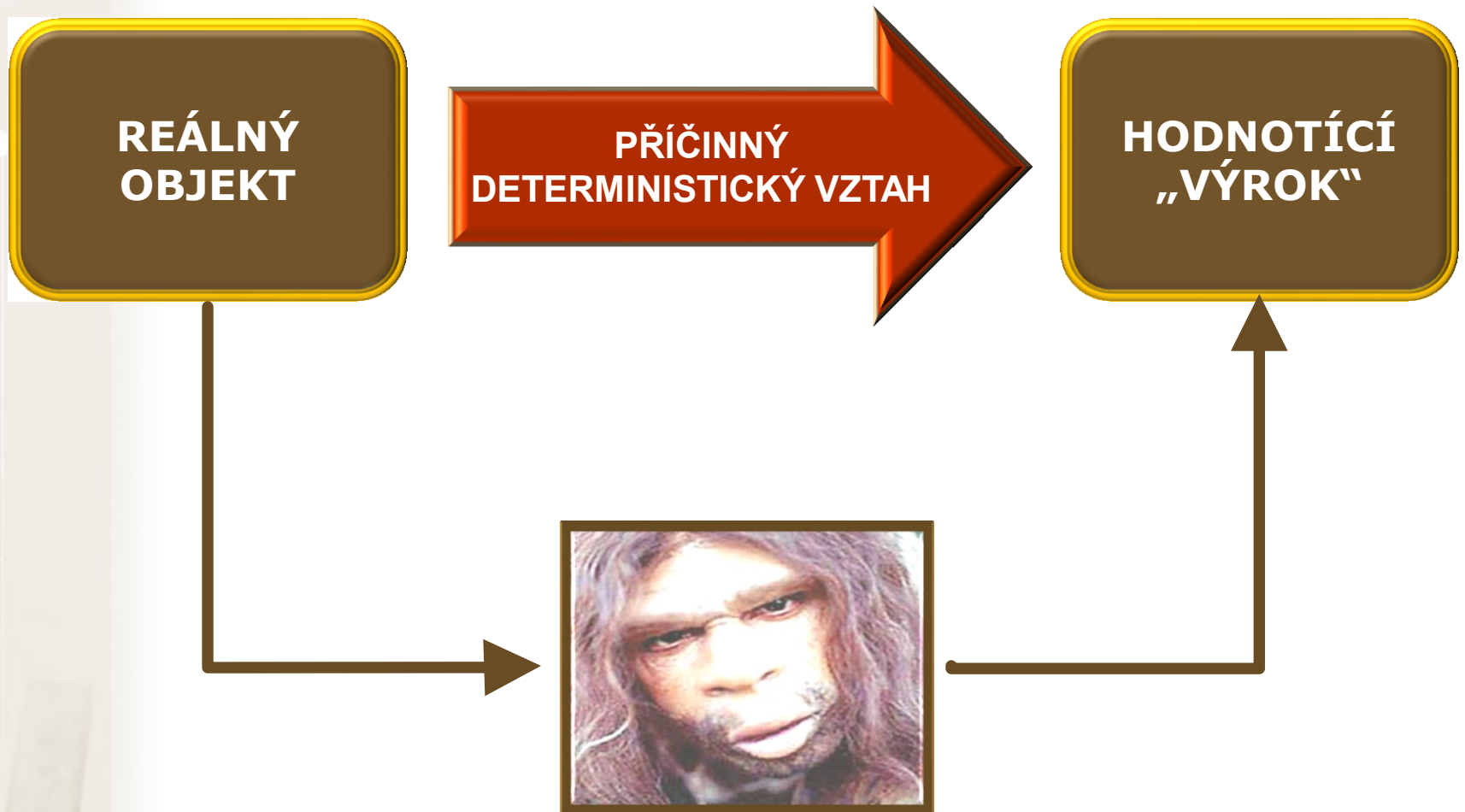
# K ČEMU TO JE?



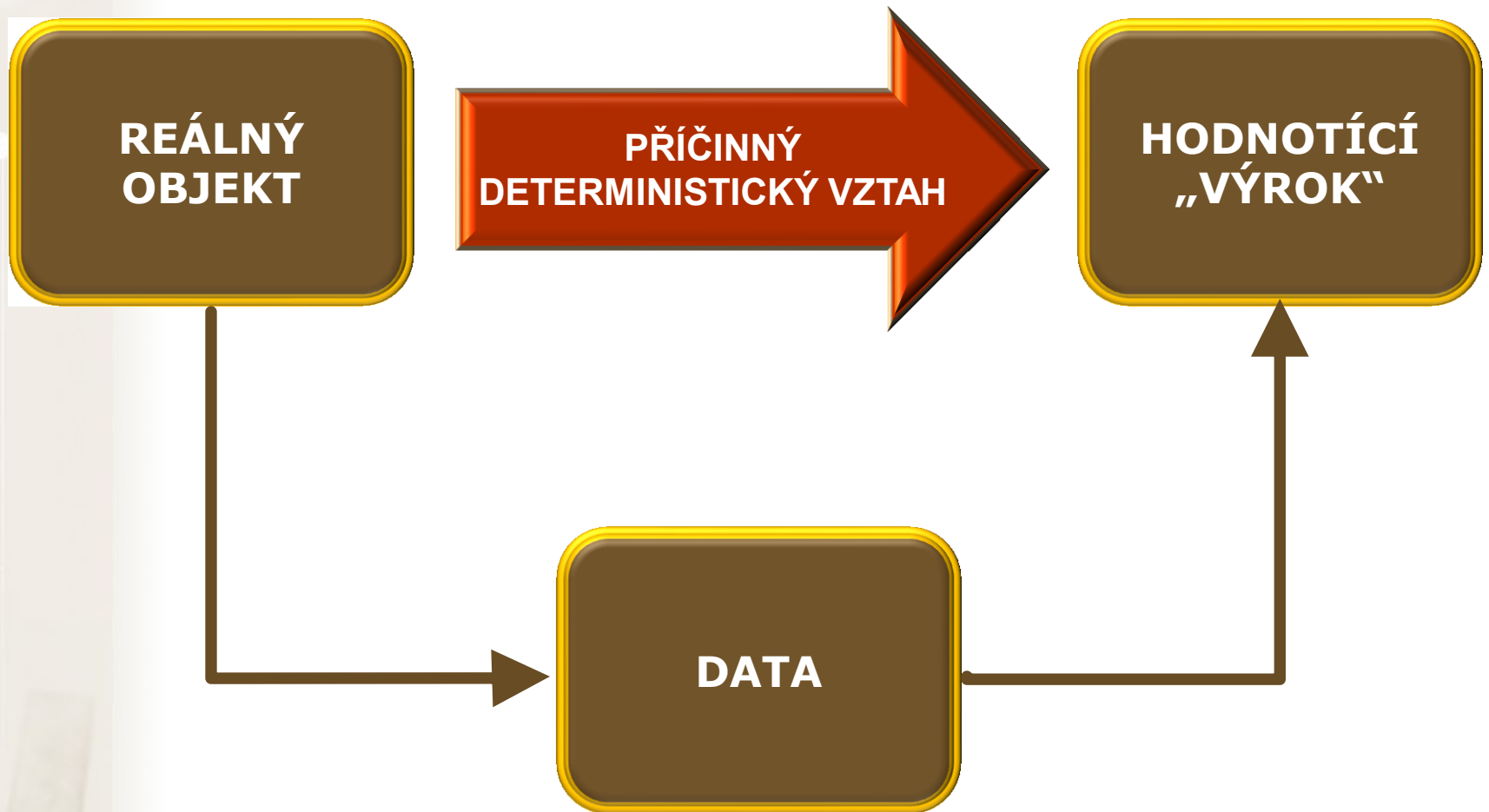
- zjistit co se děje v reálném objektu;
- dokázat jej zařadit;
- dokázat predikovat jeho chování;
- .....



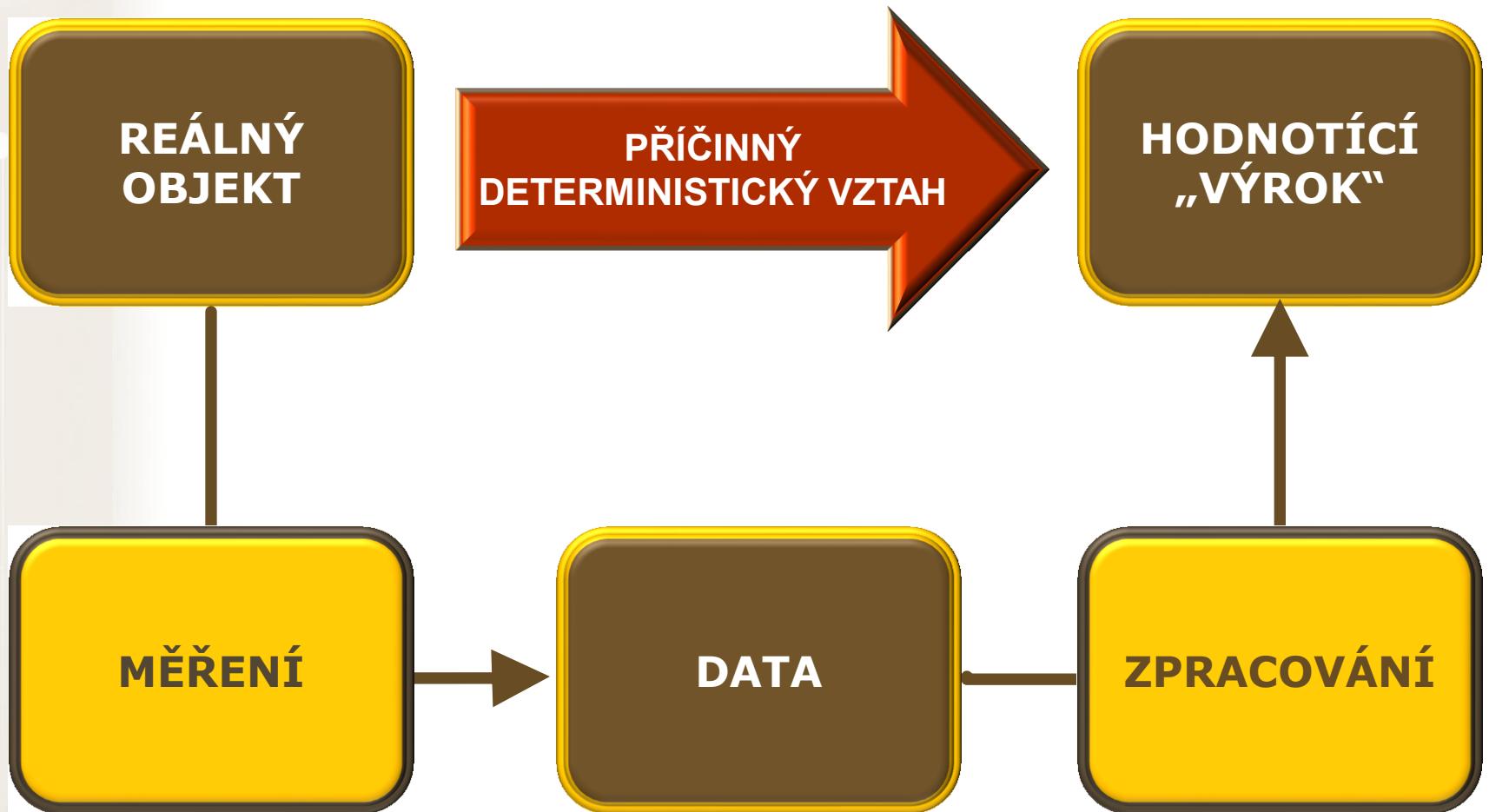
# ZÁKLADNÍ KONCEPT



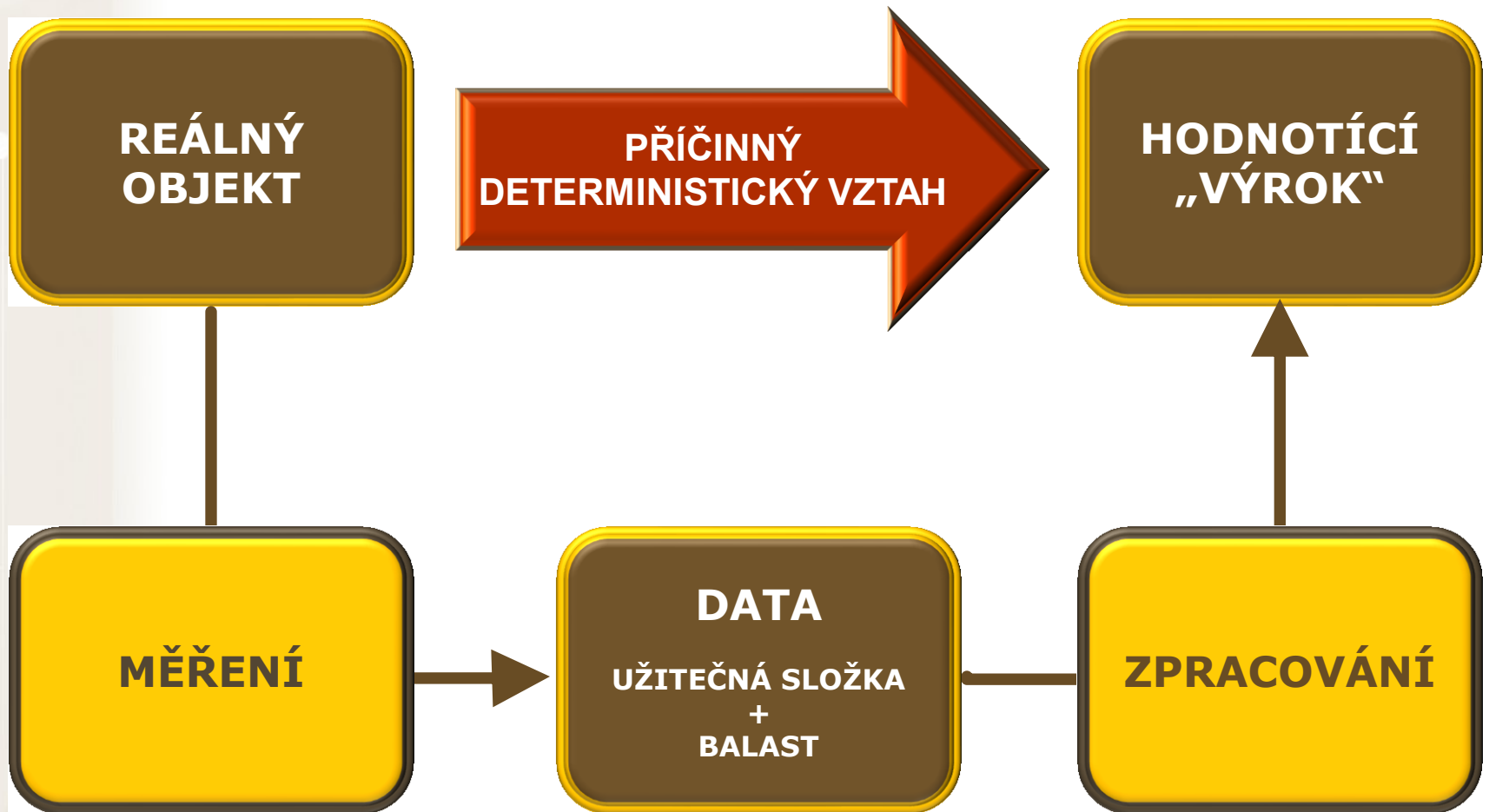
# ZÁKLADNÍ KONCEPT



# ZÁKLADNÍ KONCEPT



# ZÁKLADNÍ KONCEPT



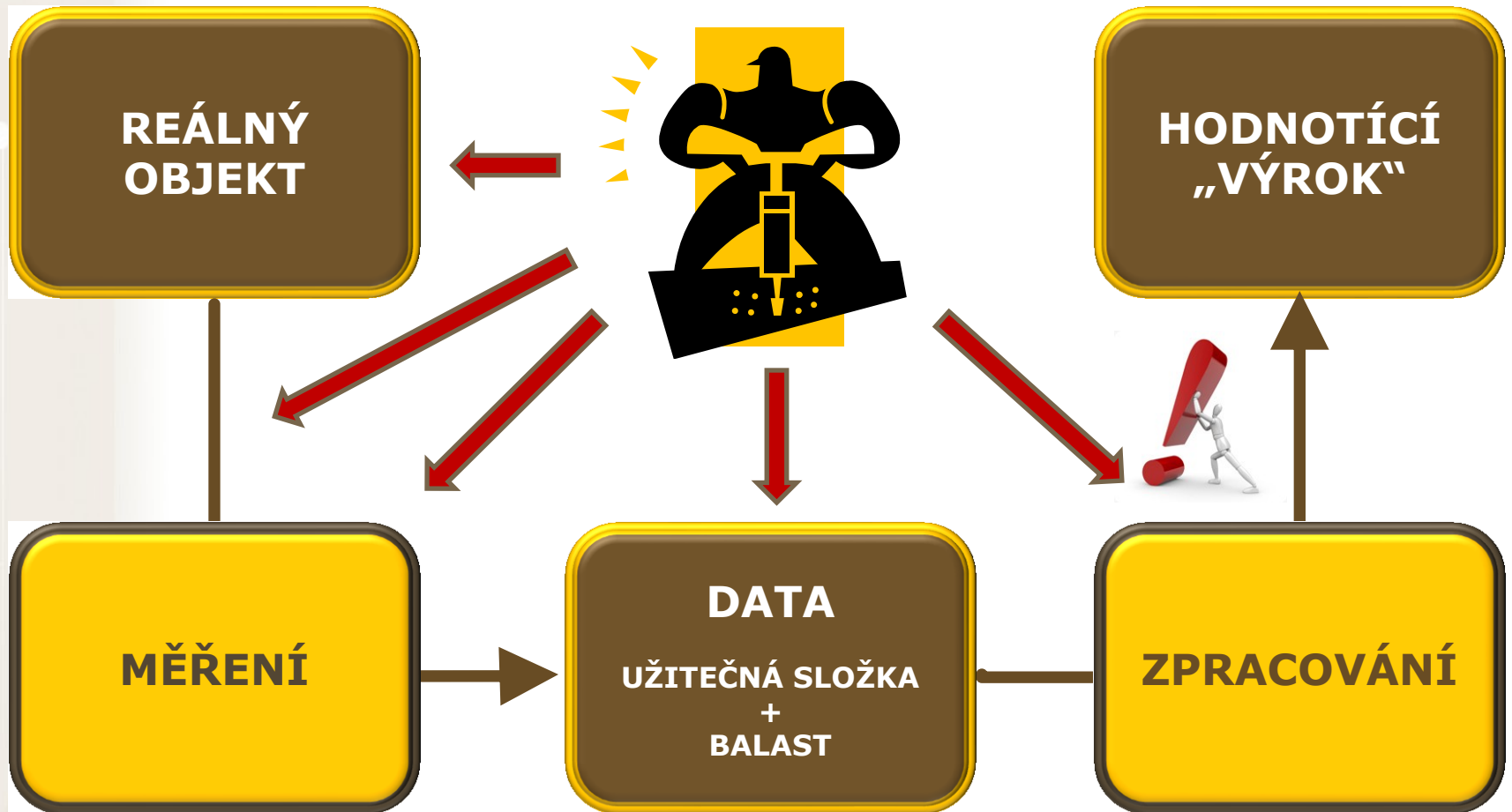


# ZÁKLADNÍ KONCEPT

## ☑ užitečná složka

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

# ZÁKLADNÍ KONCEPT



# DATA (ČASOVÉ ŘADY)

## ☑ užitečná složka

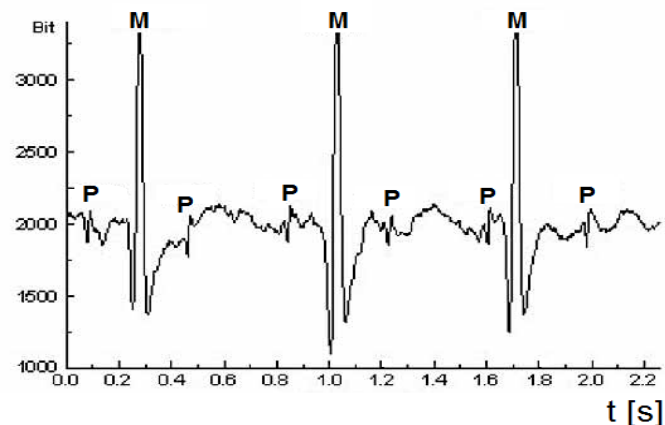
to je ta **deterministická** část dat, kterou využijeme pro generování výroku

## ☑ balast

část dat nesouvisející s cílem zpracování

→ deterministická část

- ☐ přímo ze zdroje



# DATA (ČASOVÉ ŘADY)

## ☑ užitečná složka

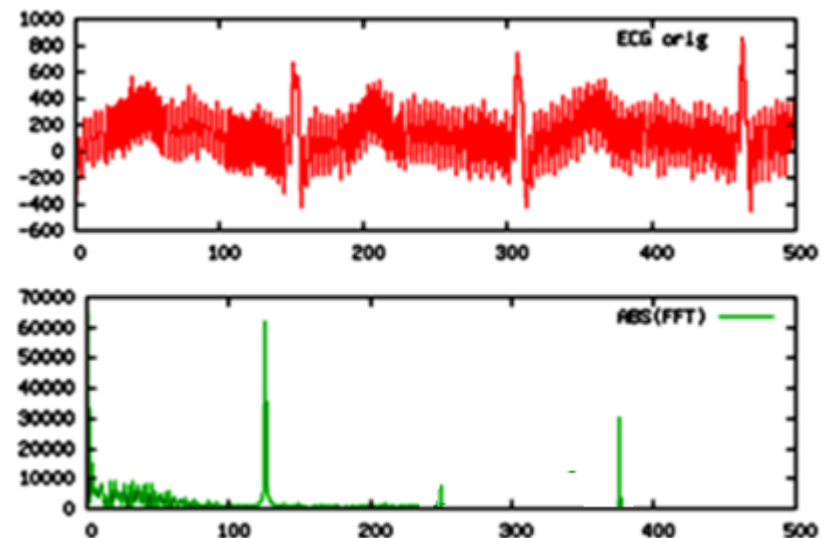
to je ta **deterministická** část dat, kterou využijeme pro generování výroku

## ☑ balast

část dat nesouvisející s cílem zpracování

→ deterministická část

- ☐ přímo ze zdroje
- ☐ zavlečená po cestě



# DATA (ČASOVÉ ŘADY)

## ✓ užitečná složka

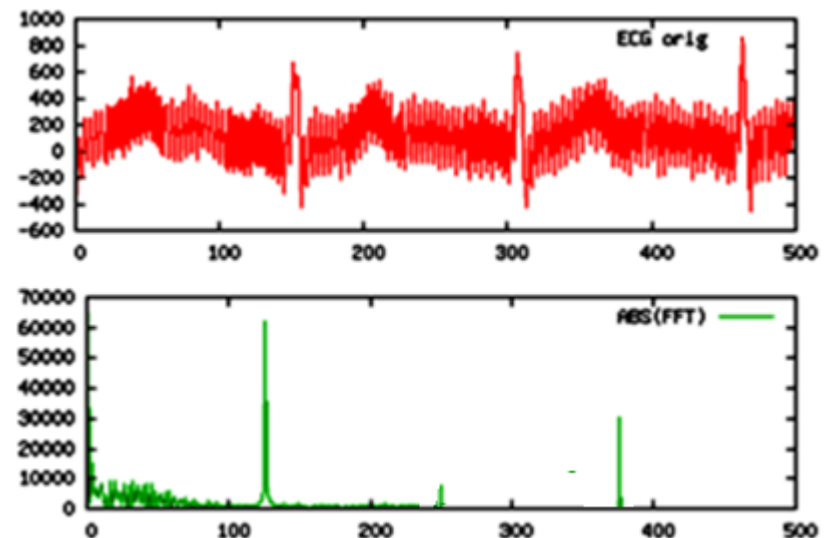
to je ta **deterministická** část dat, kterou využijeme pro generování výroku

## ✓ balast

část dat nesouvisející s cílem zpracování

→ deterministická část

- přímo ze zdroje
- zavlečená po cestě
  - přidaná (šum)
  - vyplývající z vlastností přenosové cesty (zkreslení, deformace)



# DATA (ČASOVÉ ŘADY)

## ☑ užitečná složka

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

## ☑ balast

část dat nesouvisející s cílem zpracování

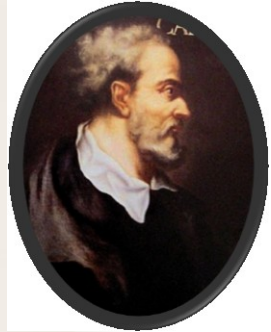
→ deterministická část

- ☐ přímo ze zdroje
- ☐ zavlečená po cestě

→ všechno ostatní, tj. **nedeterministická** (?) složka  
na její příčiny buď nemáme nebo nám to nestojí za námahu (šum)

# NEDETERMINISTICKÁ SLOŽKA

- ☑ náhodná – pravděpodobnost, statistika



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

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



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



# ZÁKLADNÍ KONCEPT



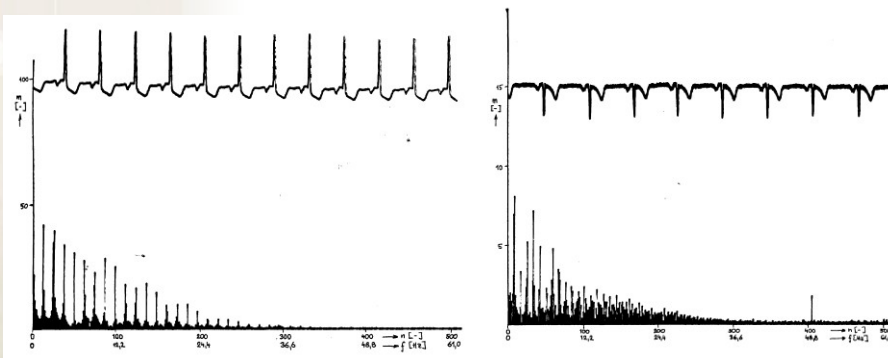
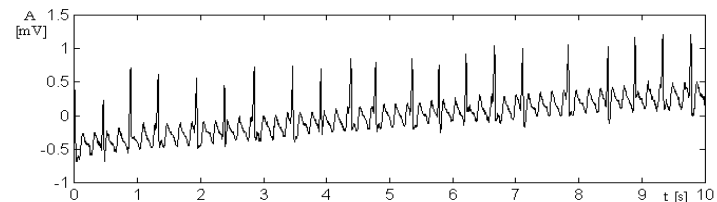
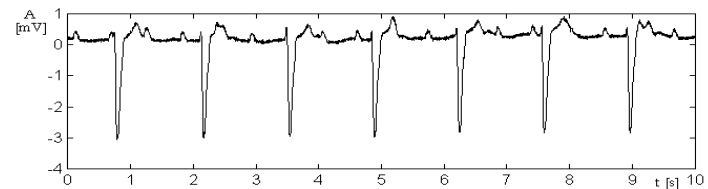
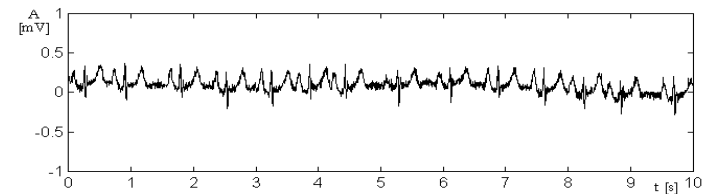
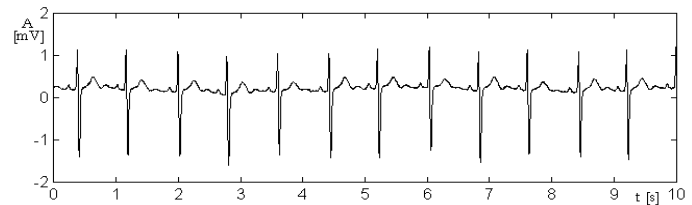
**CÍLEM JE ODHALIT TEN PŘÍČINNÝ  
DETERMINISTICKÝ VZTAH NAVZDORY VŠEMU  
TOMU, CO NÁM TO ODHALENÍ KAZÍ**



# SKLADBA DAT

☑ matematický model deterministické složky(složek)

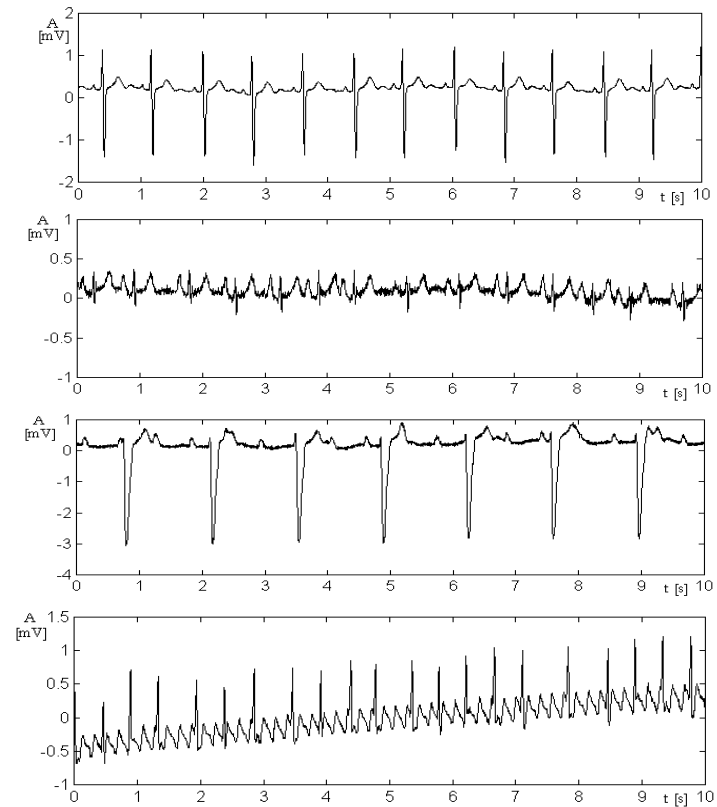
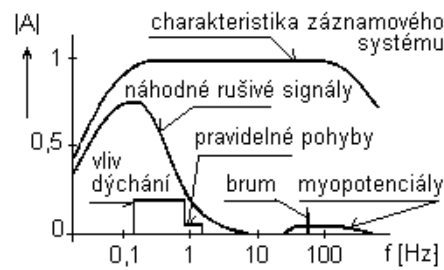
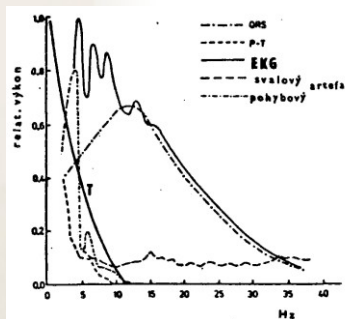
a zkoumáme jak data odpovídají modelové představě



# SKLADBA DAT

☑ matematický model deterministické složky(složek)

a zkoumáme jak data odpovídají modelové představě



# SKLADBA DAT

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

# SKLADBA DAT

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

# ZA TÝDEN NASHLEDANOU