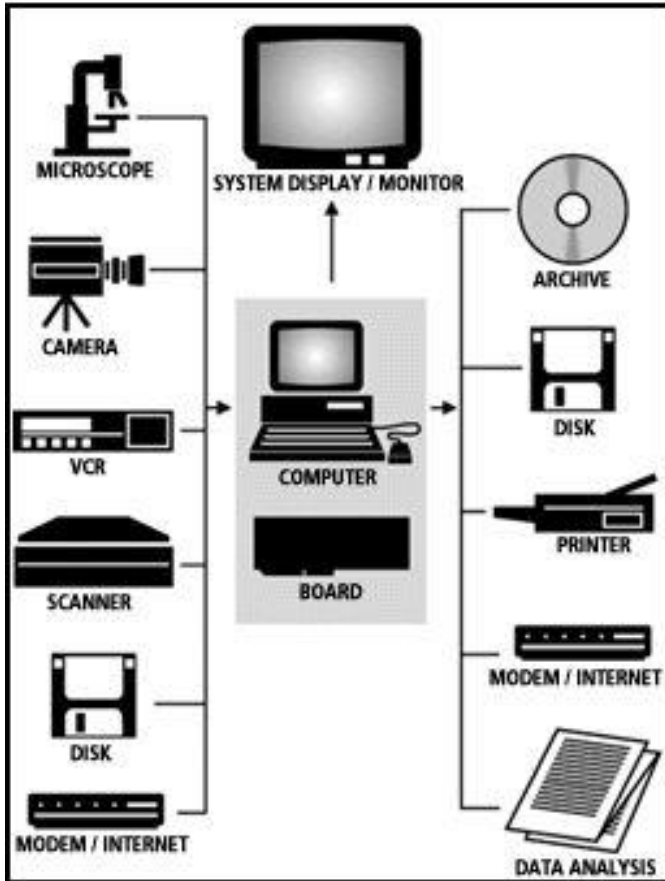




# Měřicí systémy a využití výpočetní techniky ve zkušebnách



TYPICAL SYSTEM DIAGRAM

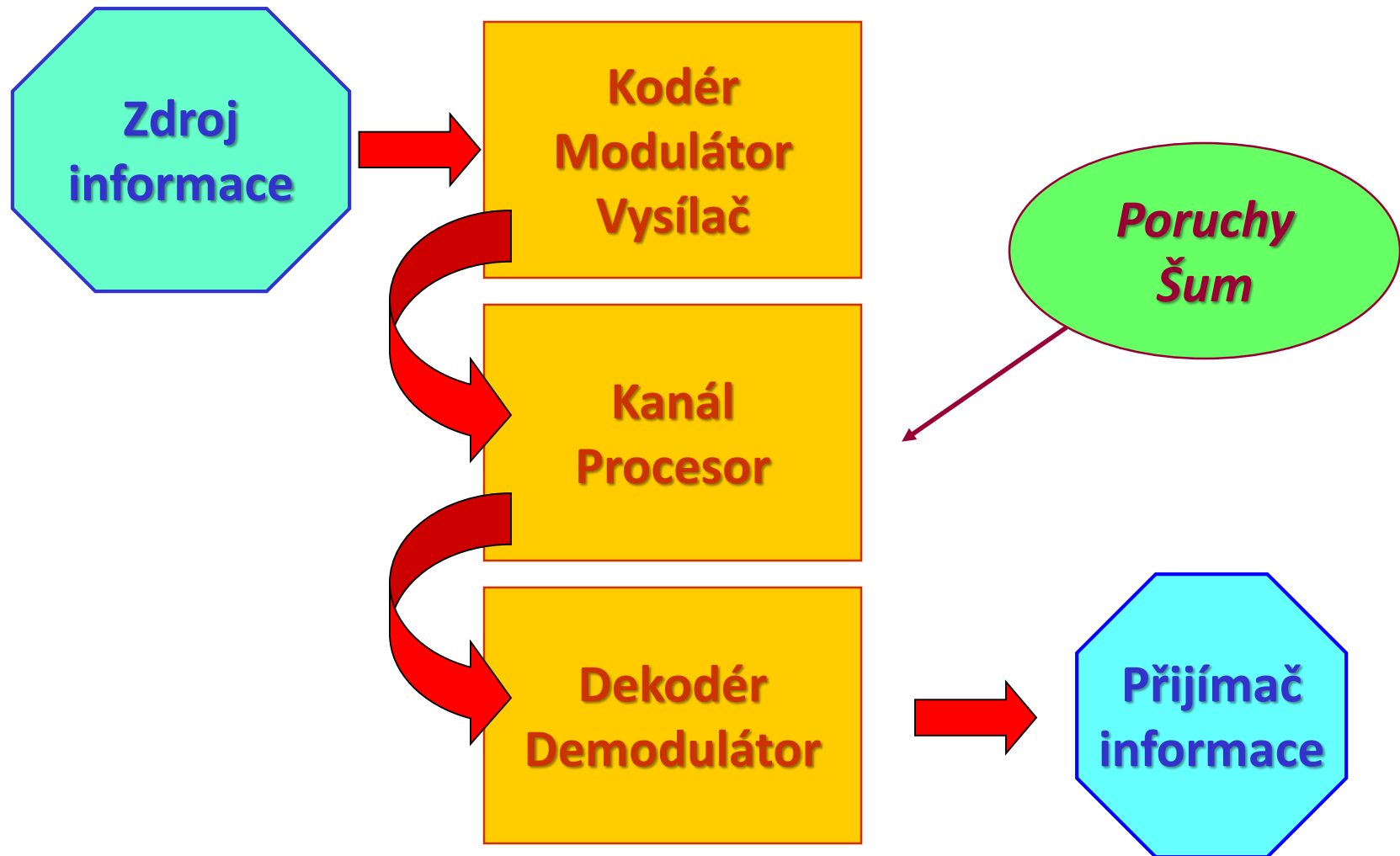


- ❑ Čidla (snímače)
- ❑ Zpracování dat
- ❑ Analýza a prezentace výsledků



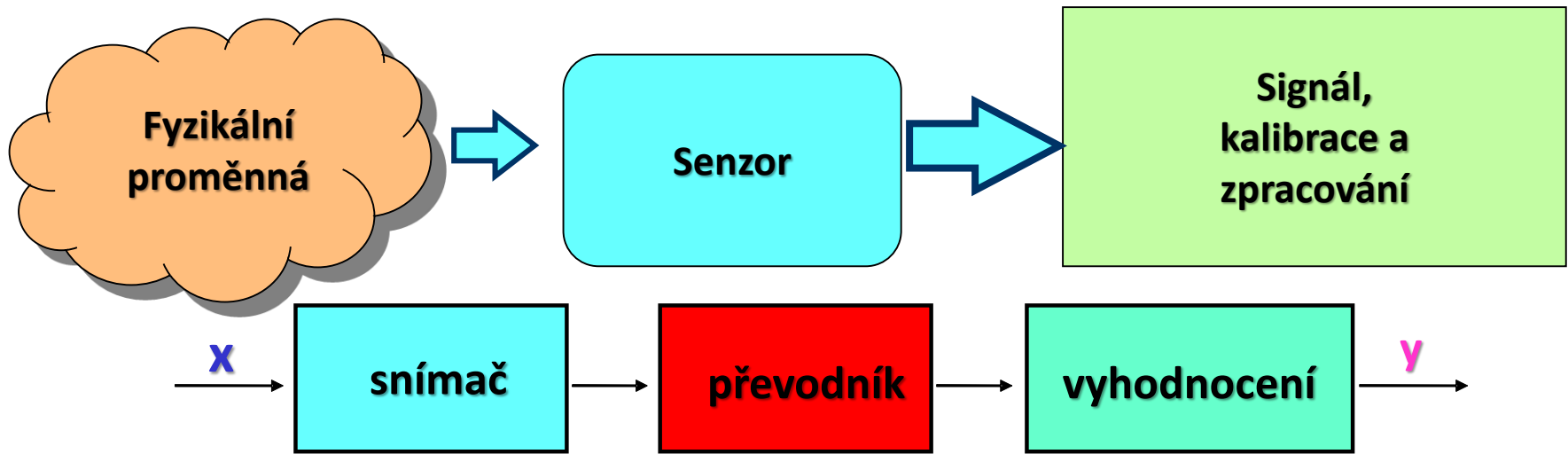


# Model přenosu informace





# Měřicí přístroje – skladba měřícího řetězce



**u** - měřící veličina

**y** - výstupní veličina

## ❑ Snímač (senzor, čidlo)

**x** sledovaná veličina

**u** měřící veličina  
(nejčastěji elektrická)

## ❑ Převodník

měřící veličina  $\Rightarrow$  definovaný signál  $\Rightarrow$  regulační zásahy

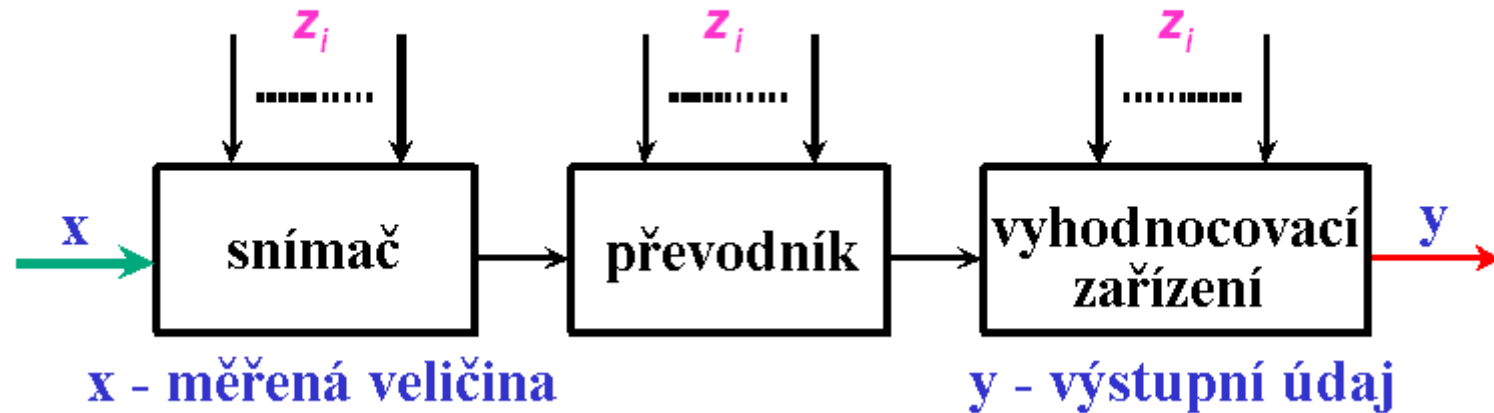
## ❑ Vyhodnocení

**y** výstupní veličina  
koncový blok řetězce  
 $\Rightarrow$  sběr dat, kalibrace  
 $\Rightarrow$  tvorba modelů



# Ovlivňující veličiny

$z_i$  - ovlivňující veličiny



## ❑ Ovlivňující veličiny

- ❑ ovlivňují výstupní signál
- ❑ **nejsou předmětem měření**
- ❑ jejich vliv je **nutno minimalizovat**
- ❑ vliv na výstupní údaje pro každou veličinu zvlášť
- ❑ nejvýraznější je vliv především **teploty**





# Měřicí řetězec - vstupní část

- ❑ převod neelektrické veličiny na elektrickou
- ❑ zesílení a filtrace signálu
- ❑ linearizace statické charakteristiky
- ❑ normování signálu
- ❑ přepínání více vstupních veličin
- ❑ ochrana proti působení parazitních veličin a jiné



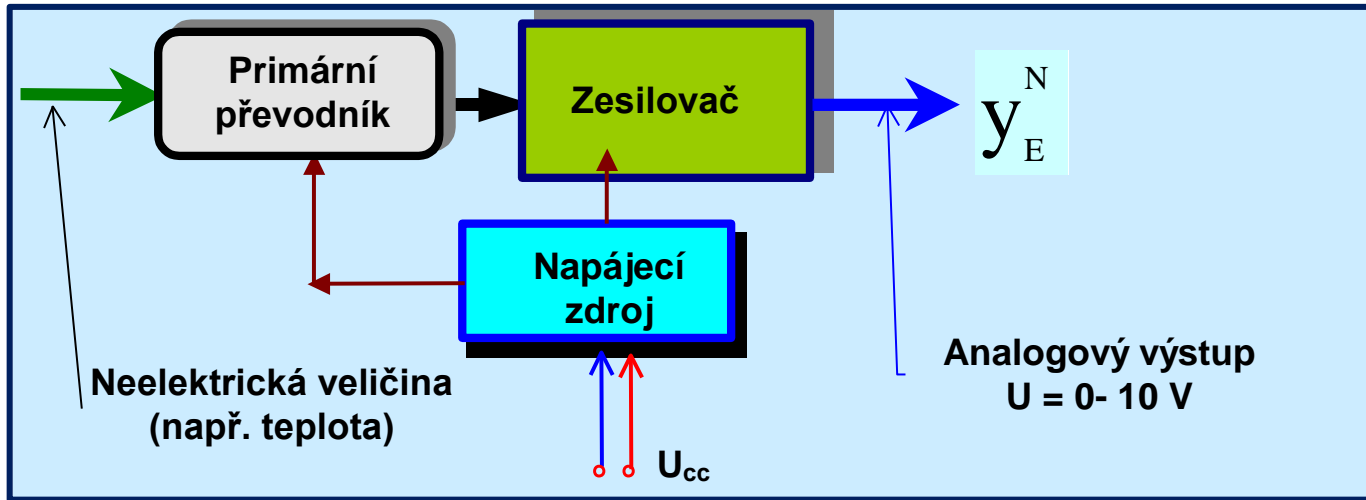
## Snímače – uvažované prvky

- ❑ signály
- ❑ měřicí obvod
- ❑ zesilovač
- ❑ převodníky A/D a D/A
- ❑ metody linearizace
- ❑ autokalibrace
- ❑ filtrace
- ❑ modulace

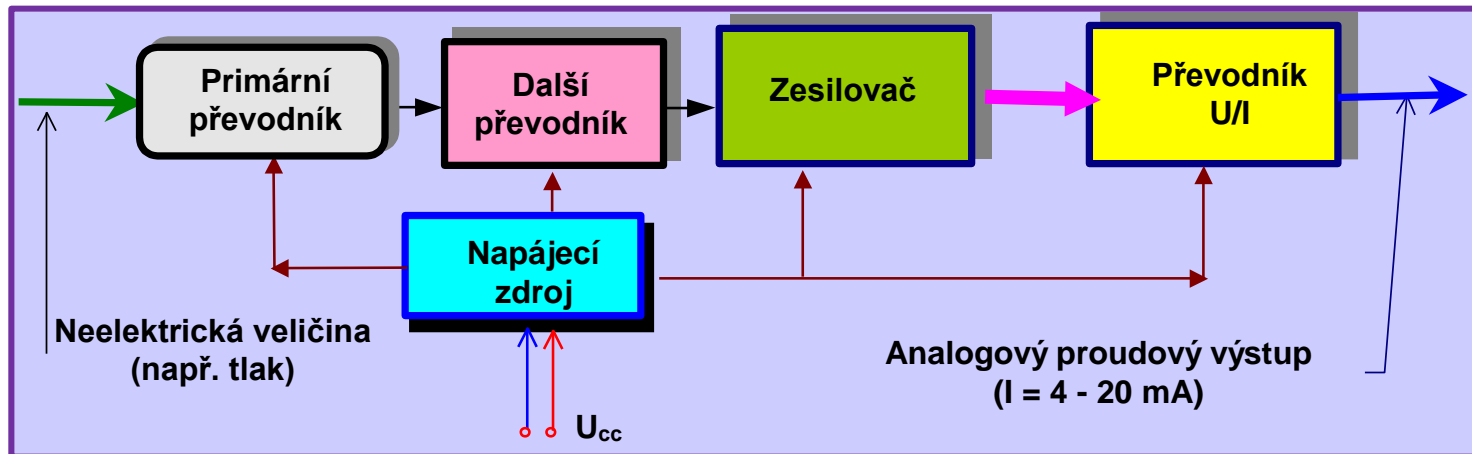




# Měřicí řetězec - snímače



*Schéma klasického snímače s napěťovým výstupním signálem (např. termočlánek)*



*Schéma mikroelektronického snímače s proudovým výstupním signálem (např. tlakoměr s křemíkovou membránou)*



# Princip snímače

## Ovlivňující veličiny $\mathcal{G}$

(teplota, vibrace, rušivá pole, ...)

Vstupní měřená  
veličina  $x_a$

Snímač

Napájení  $U_{cc}$

$$y_E^N = f(x_a, \mathcal{G}, U_{cc})$$

## 1. generace

- klasické snímače  
(termočlánek, tenzometr)

## 2. generace

- mikro a opto-elektronické  
(tlakový membránový Si-  
senzor, optické vláknové  
senzory)

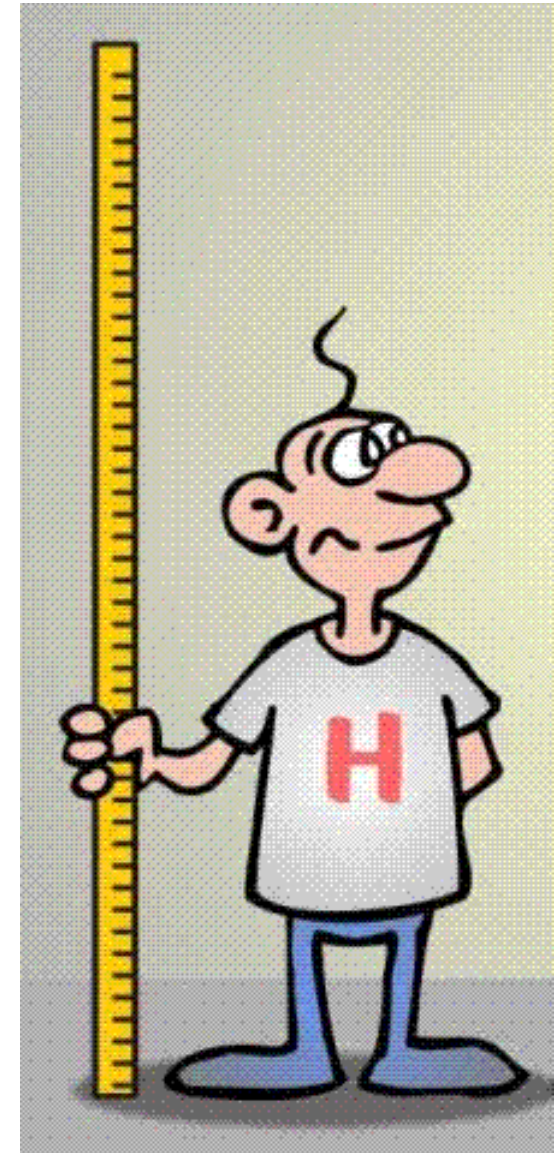
## 3. generace

- inteligentní (smart) senzory,  
videoprocessorové systémy



# Základní požadavky na volbu snímače

- ❑ **Volba druhu měřených veličin**
  - ❑ počet měřených veličin
  - ❑ počet odběrových měřicích míst
- ❑ **Volba přesnosti měření**
  - ❑ volba měřicí metody s ohledem na požadovanou přesnost
- ❑ **Přístrojové vybavení**
  - ❑ spolehlivost přístrojového vybavení
  - ❑ časová náročnost měření
  - ❑ dostupnost etalonů
  - ❑ kvalifikační požadavky na obsluhující personál
- ❑ **Druh rušivých vlivů**
  - ❑ volba ochrany před rušivými vlivy
  - ❑ vliv dynamiky měřicího zařízení
- ❑ **Financování měření**





# Rozdělení snímačů

## ❑ Podle fyzikálního principu

### ❑ Pasivní (parametrické):

- ❑ odporové, kapacitní, ionizační, indukční, magnetické, fotoelektrické, Hallovy, ultrazvukový
- ❑ ke své činnosti vyžadují zdroj elektrické energie

### ❑ Aktivní (generátorové):

- ❑ termoelektrické (termočlánek), fotoelektrické, indukční, piezoelektrické, pyroelektrické (pyrometr), CCD prvky (charge-coupled device, snímání obrazové informace)
- ❑ transformace snímané veličiny (teplota)
- ❑ chová se jako zdroj elektrické energie



## ❑ Podle měřené veličiny

- ❑ měření polohy, posunutí a vzdálenosti, výšky hladiny, tlaku, průtoku, síly, hmotnosti, kroutícího momentu, teploty, tepla, rychlosti, zrychlení a vibrací, vlhkosti, analýza složení a koncentrace látek, fyzikálně-chemické vlastnosti látek



## ❑ Podle styku s prostředím

- ❑ bezdotykové (proximitní), dotykové (taktilní)

## ❑ Podle výrobní technologie

- ❑ mechanické, pneumatické, hydraulické, elektronické, optoelektronické







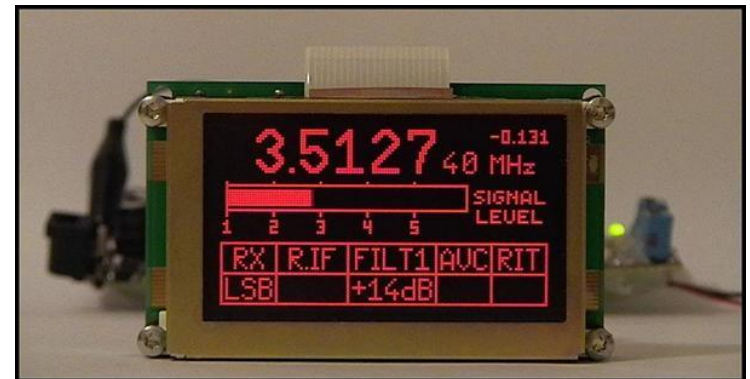
## Měřicí řetězec - vnitřní část

- ❑ převod A/Č
- ❑ autokalibrace měřicího řetězce
- ❑ číslicová linearizace aritmetických operací
- ❑ autodiagnostika přepínání rozsahů resp. zesílení
- ❑ sledování překročení nastavených mezí a jiné



## Měřicí řetězec – výstupní část

- ❑ unifikace výstupních signálů
- ❑ komunikace s okolím
- ❑ výkonové binární výstupy
- ❑ převod Č/A a jiné







# Příklad elektrického měření neelektrické veličiny

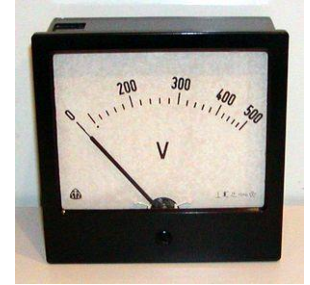
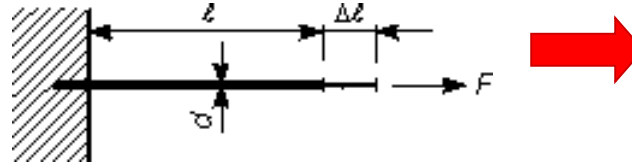
namáhání  
v tahu



$l_0 + \Delta l$   
deformace

Elektrický  
odpor

Napětí



Původní odpor vodiče  $R = \rho l / S$

- při namáhání tahem se zvětšuje délka a při zachování objemu se zmenšuje průřez - odpor vodiče roste ( $\rho$  - rezistivita materiálu)
- změní se jeho délka o  $\Delta l$  a průřez o  $\Delta S$
- v důsledku působící síly se změní o  $\Delta R$
- relativní deformace  $\varepsilon = \Delta l / l$
- relativní změna odporu

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \frac{\Delta l}{l} = k \cdot \varepsilon$$

- $k$  koeficient deformační citlivosti
- jeho velikost závisí na materiálu vodiče

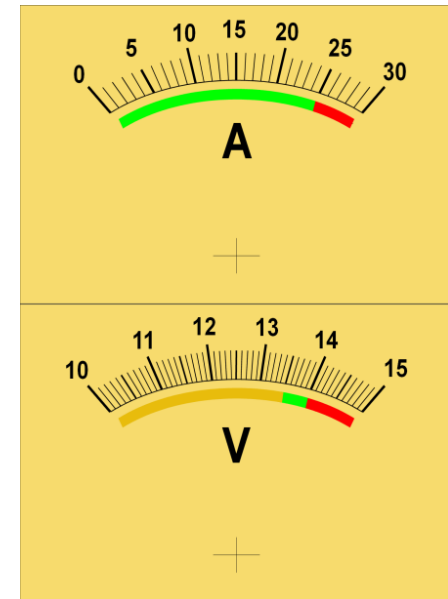


# Statické vlastnosti snímačů

- ❑ **Rozsah stupnice**
  - ❑ nominální rozsah (stupnice)
  - ❑ nominální rozpětí (stupnice)
- ❑ **Měřicí rozsah (přístroje)**
- ❑ **Měřicí rozpětí (přístroje)**
  - ❑ nominální hodnota výstupního signálu
  - ❑ kalibrační křivka
  - ❑ korekce

$$y_i = \mu + \varepsilon_i$$

$$\Delta_i = y_i - \mu$$



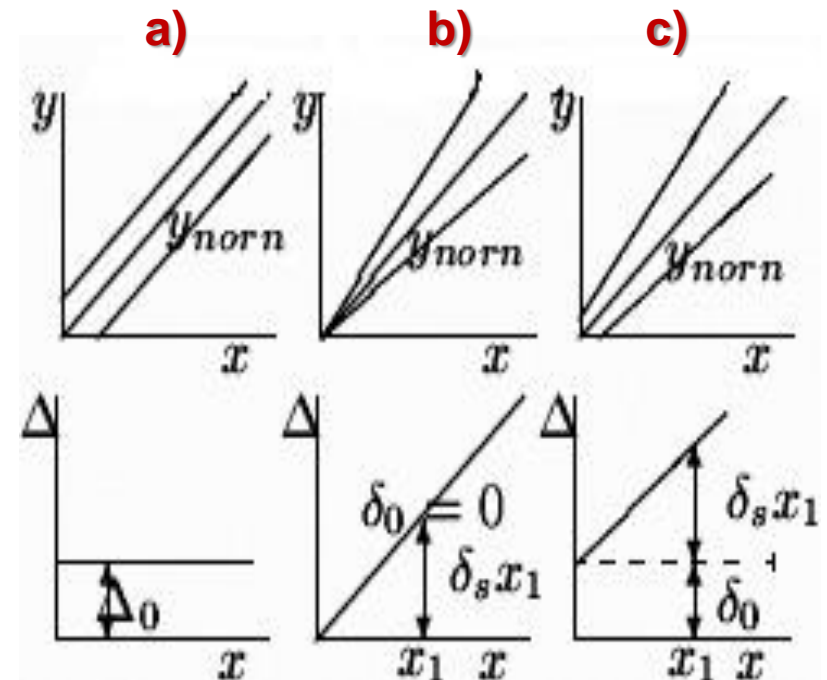


# Chyby snímačů (měřících přístrojů)

- ❑ **Mezní chyba přístroje  $\Delta_0$** 
  - ❑ největší dovolená chyba (nejistota)
- ❑ **Redukovaná mezní chyba  $\delta_{0,R}$** 
  - ❑ poměr mezní chyby  $\Delta_0$  a měřicího rozsahu přístroje R
- ❑ **Chyba údaje (měřidla)**
  - ❑ zákl. a doplňková chyba
  - ❑ chyba linearity
- ❑ **Typy chyb přístrojů**
  - ❑ Aditivní chyby (**a**)
  - ❑ Multiplikační chyby (**b**)
  - ❑ Kombinované chyby (**c**)

$$\delta_{0,R} = \Delta_0 / R$$

$$R = x_{max} - x_{min}$$





# Měření materiálových vlastností

- ❑ Měřením zjišťujeme, prostřednictvím měřicího přístroje, hodnoty vlastností materiálů
  - ❑ **Objektivní zjišťování** měřených veličin
  - ❑ Výběr vhodných metod a přístrojů
  - ❑ Každý přístroj podává **kvantitativní informace** o úrovni měřené vlastnosti **s určitou přesností**
- ❑ Měřené veličiny vyjadřujeme číselnou hodnotou v příslušných jednotkách

$$X = \{x\} \cdot [x]$$

- ❑ **4 etapy měření (každá má svoji kvalitu!):**
  - ❑ návrh měření (volba přístroje, počet opakování, podmínky měření)
  - ❑ provedení (realizace) měření (pečlivost obsluhy, vliv prostředí)
  - ❑ zpracování naměřených hodnot (experimentálních dat)
    - ❑ statistické metody, přesnost výpočtů, zaokrouhlování apod.)
  - ❑ interpretace (sdělení) výsledků
    - ❑ úroveň hodnocení, srovnatelnost jednotek apod.



# Měřicí metody I

## Základní rozdělení měřících metod

### 1. absolutní měřící metody

- Používají se k měření základních veličin
- Vycházejí z definice měřené veličiny, která se určí přímo nebo výpočtem ze známých základních fyzikálních veličin
  - Prostá hodnota měřené veličiny v příslušných jednotkách
  - Nepotřebujeme znát její hodnotu v některém zvláštním případě
  - Příklad: metoda **Ohmova metoda měření elektrického odporu**

### 2. srovnávací měřící metody

- Změna měřené veličiny vůči zvolené referenční hodnotě
  - Hodnota měřené veličiny se srovnává se známou hodnotou veličiny téhož druhu nebo veličiny jiného druhu, jež je známou funkcí měřené veličiny
- Všechny měřící metody kromě metod absolutních
  - výchylkové, nulové, koincidenční a speciální.
  - Příklad: Zjištění velikosti neznámého odporu změřením úbytků napětí na jednotlivých rezistorech. Proud v obvodu musí být konstantní





# Měřicí metody II

## Rozdělení dle způsobu zjišťování měřené veličiny

### ❑ Měření přímá

- ❑ hodnotu měřené veličiny získáváme přímo, aniž by bylo nutno dodatečně provádět výpočty založené na funkční závislosti dané veličiny na jiných známých veličinách
- ❑ např. určení velikosti proudu z údaje ampérmetru,

### ❑ Měření nepřímá

- ❑ hodnota měřené veličiny se určuje pomocí přímých měření veličin jiného druhu, které jsou s měřenou veličinou vázány známými vztahy;
- ❑ např. měření odporu pomocí Ohmova zákona

### ❑ Měření kombinační

- ❑ hodnoty určitého počtu měřených veličin stanovíme z různých kombinací výsledků měření přímých nebo nepřímých řešením soustavy rovnic;
- ❑ např. měření teplotních součinitelů odporů

## Rozdělení dle fyzikálního principu

- ❑ mechanické, elektrické, elektromagnetické, optické, termické, termodynamické, akustické, časové





# Chyby měření

- ❑ Příčiny **odchylek od „správné hodnoty - chyb měření“**
  - ❑ Nehomogenost materiálu
  - ❑ Chyby odečítání
  - ❑ Kolísání měřících elementů (proměnlivost s teplotou, napětím v síti, přepočet, atd.)

$$x_i = \mu \pm \varepsilon_i$$

- ❑ **Absolutní chyba**

$$\Delta_i = x_i - \mu$$

- ❑ Odchylky od „správné hodnoty“: **Co je správná hodnota  $\mu$  ???**
  - ❑ Dohodnutá
  - ❑ Dlouhodobě ustálená
  - ❑ Normovaná



# Složky chyby výsledku měření

- ❑ Střední kvadratická chyba přístroje  $\sigma_{inst}$
- ❑ Variabilita měřeného materiálu  $\sigma_M$
- ❑ Střední kvadratická chyba výsledků měření  $\sigma_V$
- ❑ Pokud jsou obě složky nekorelované, platí

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_{inst}^2 + \sigma_M^2}$$

- ❑ Přístroj obvykle volíme tak přesný, aby chyba výsledků měření  $\sigma_V$  odpovídala pouze variabilitě měřeného materiálu



# Zaokrouhlování chyby výsledku

**MĚŘENÁ HODNOTA =  
VÝSLEDNÁ HODNOTA ± SMĚRODATNÁ ODCHYLKA**

- ❑ První významná číslice **jednička nebo dvojka**  
⇒ chyba měření **prvními dvěma významnými číslicemi**
- ❑ První významná číslice **trojka nebo vyšší**  
⇒ **pouze tato číslice**
- ❑ Výsledek měření se **zaokrouhuje na stejný počet** desetinných míst jako má absolutní mezní chyba
- ❑ **Př. Zjištěná hmotnost 100 m příze byla 2,54689 g**
  - ❑ Chyba váhy A = 528 mg ⇒ Hodnota
  - ❑ Chyba váhy B = 248 mg ⇒ Hodnota

$$A = 2,5 \pm 0,5 \text{ g}$$

$$B = 2,55 \pm 0,24 \text{ g}$$



# Zpracování dat

$$x_i = \mu \pm \varepsilon_i$$

## Analýza a interpretace experimentálních dat

- ☐ náhodně proměnné veličiny
- ☐ filtrace dat
- ☐ chyby a neurčitosti výsledků měření

## Exploratorní analýza jednorozměrných dat

- ☐ odhady polohy, variability, šikmosti a špičatosti rozdělení náhodných veličin
- ☐ testování statistických hypotéz (s důrazem na kontrolu kvality)

## Analýza vícerozměrných dat a analýza rozptylu

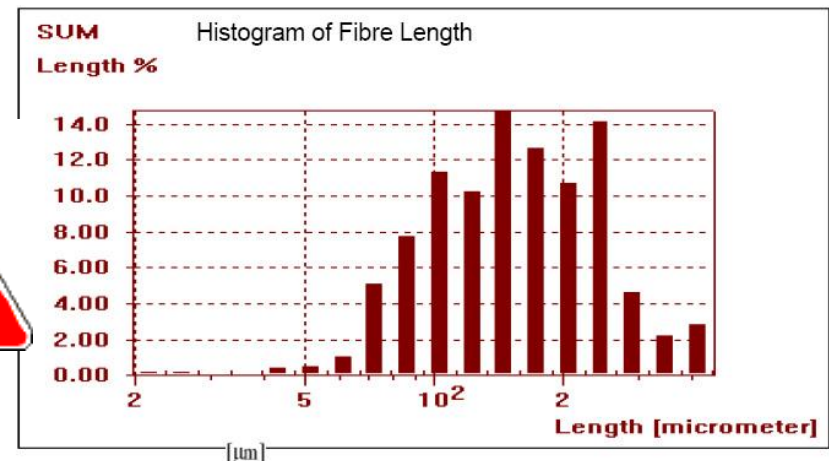
- ☐ lineární a nelineární regresní analýza

## Korelace, interpolace

## Aproximace

$x_i$  – naměřená hodnota v  $i$  – tém měření  
 $\mu$  – „správná“ hodnota  
 $\varepsilon_i$  – chyba v  $i$ –tém měření

Fibre length : 135.37 [μm]  
 Median Fibre length : 118.67 [μm]  
 Curvature : 0.00056473  
 Rectangularity : 0.9967, s: 0.0578  
 Measured objects image fraction [%] : 0.19  
 Object area fraction [%] : 5.16  
 All objects image fraction [%] : 3.68

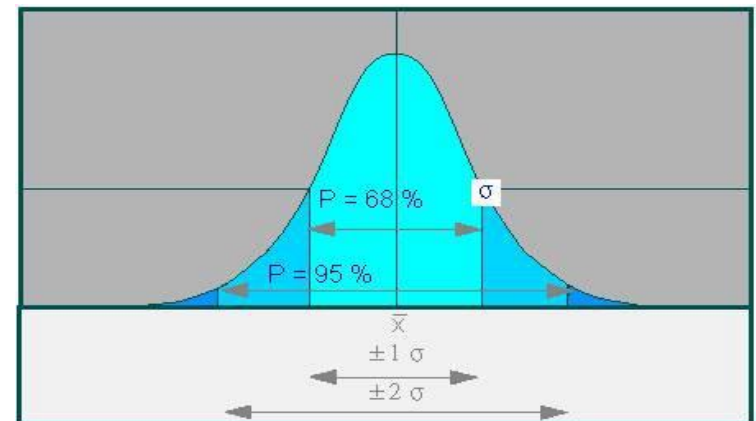
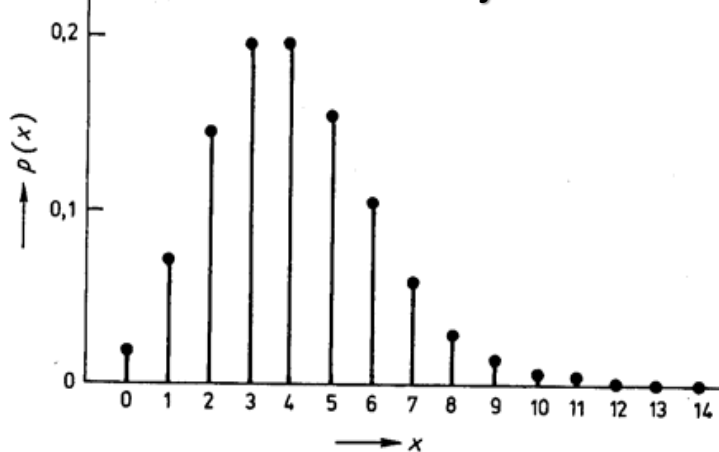




# Náhodně proměnné veličiny

## □ Náhodně proměnné veličiny

- **Diskrétní náhodně proměnná veličina** - hodnoty měřené veličiny nabývají jen celých čísel
- **Spojitě náhodně proměnná veličina** - hodnoty měřené vlastnosti (měřené veličiny) nabývají libovolné hodnoty
- Kromě toho ještě náhodně proměnné veličiny můžeme popisovat jako:
  - **jednorozměrné** - kdy se na jednom vzorku měří jenom jedna vlastnost
  - **vícerozměrné** - na jednom vzorku se zároveň měří dvě nebo více vlastností





# Náhodně proměnné veličiny diskrétní

- ❑ Diskrétní veličiny mohou být např.:
  - ❑ Počet poruch, počet vad ve výrobku
  - ❑ Počet vláken v průřezu příze
- ❑ Teoretické rozdělení pravděpodobnosti **diskrétní** náhodně proměnné veličiny:
  - ❑ **Poissonovo rozdělení**
    - ❑ Náhodně proměnná veličina  $\xi$  v Poissonově rozdělení nabývá hodnot **0, 1, 2, ..., n**
    - ❑  $\xi$  - **xí**
    - ❑ Pravděpodobnostní funkce této veličiny je popsána vztahem

$$p(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}$$

**X!** = faktoriál

( **3!** = 3\*2\*1 = 6)

- ❑  $\lambda$  – střední hodnota rozdělení





# Poissonovo rozdělení

- Jediný parametr  $\lambda (\lambda > 0) \rightarrow P(\lambda)$

- Střední hodnota:

$$E(\xi) = \lambda$$

- Rozptyl:

$$D(\xi) = \lambda$$

$$p(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}$$

- Střední hodnotu podle statistických výpočtů odhadujeme:

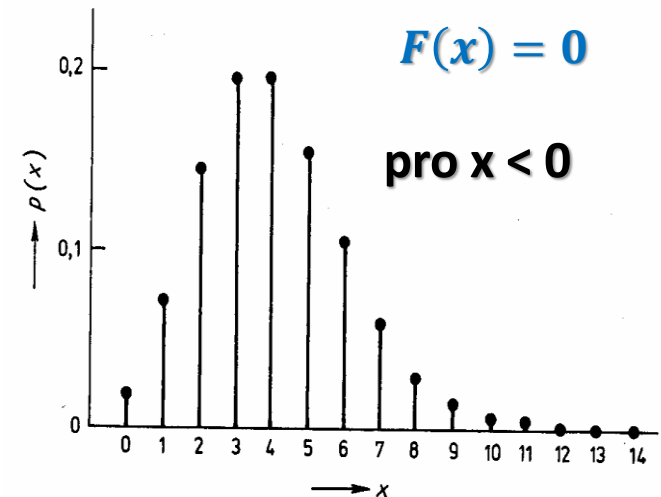
- průměrnou hodnotou, modem nebo mediánem

- Rozptyl odhadujeme:

rozptylem a směrodatnou odchylkou

- Distribuční funkce  $F$ :

$$F(x) = \sum_{i=0}^x \frac{\lambda^i e^{-\lambda}}{i!} \quad \text{pro } x \geq 0$$





# Náhodně proměnné veličiny spojité

- Spojité veličiny mohou být např:
  - pevnost nitě, plošná hmotnost, tloušťka textilie, atd.
- Teoretické rozdělení pravděpodobnosti spojité náhodně proměnné veličiny:
  - Většina spojitých náhodně proměnných veličin se řídí

## Normálním rozdělením pravděpodobnosti

- Hustota pravděpodobnosti této veličiny je popsána vztahem:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot 2\sqrt{\pi}} e^{-1/2[(x-\mu)/\sigma]^2}$$



# Odhady parametrů N ( $\mu, \sigma^2$ )

- ❑ Střední hodnotu  $\mu$  odhadujeme pomocí charakteristik vypočtených z naměřených hodnot na náhodném výběru
- ❑ Charakteristiky polohy

Výběrový průměr

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad [\dots\dots]$$

*Modus*  $\hat{x}$  hodnota, která má maximální četnost

*Medián*  $\tilde{x} = x_{(k)}$  kde  $k = \frac{n}{2}$  pro lichá  $n$

$\tilde{x} = \frac{x_{(k)} + x_{(k+1)}}{2}$  kde  $k = \frac{n+1}{2}$  pro sudá  $n$



# Odhady parametrů $N(\mu, \sigma^2)$

- ❑ Rozptyl  $\sigma^2$  odhadujeme pomocí charakteristik vypočtených z naměřených hodnot na náhodném výběru
- ❑ Charakteristiky rozptylu
- ❑ Výběrový rozptyl a směrodatná odchylka

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad [\dots^2]$$

$$s = \sqrt{s^2} \quad [\dots]$$

- ❑ Variační koeficient  $v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 10^2 [\%]$



# Intervalové odhady

- Odhadovaný parametr (střední hodnota  $\mu$ ) není odhadován pouze prostřednictvím jednoho čísla ( $\bar{x}$ ), ale dvěma číselnými hodnotami, které tvoří meze tzv. **intervalu spolehlivosti** (*konfidenčního intervalu*)

Dolní hranice  $L_D$

Horní hranice  $L_H$

$$L_D = \bar{x} - t_{\alpha(n-1)} \cdot s / \sqrt{n} \quad [\dots]$$

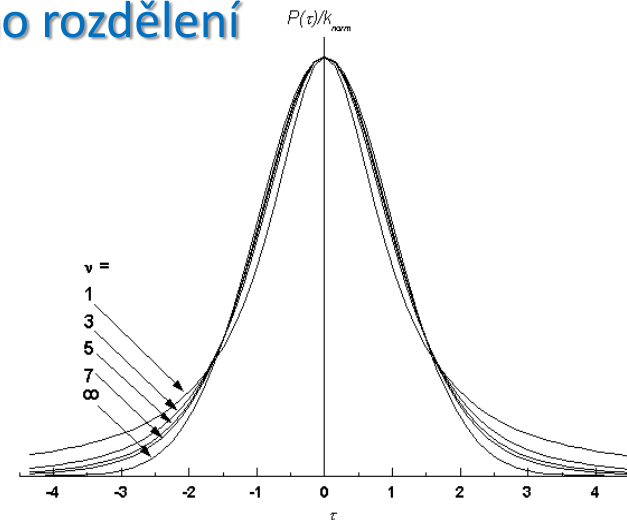
$$L_H = \bar{x} + t_{\alpha(n-1)} \cdot s / \sqrt{n} \quad [\dots]$$

- $t_{\alpha(n-1)}$  je kvantil Studentova výběrového rozdělení  
Hodnoty jsou tabelovány

- Pro  $n \cong \infty$  pro  $\alpha = 0,95$

$$t_{\alpha(n-1)} = 1,96$$

- Pro reálný počet měření lze použít hodnotu  $t_{\alpha(n-1)} = 2$





# Výpočty pro velký rozsah dat

- ❑ Místo absolutní četnosti počítáme nejčastěji **relativní četnost**

$$f_j = \frac{n_j}{n} \quad n = \sum_{j=1}^k n_j$$

- ❑ Pro zápis hodnot do tříd používáme s výhodou tzv. **třídící tabulky**
- ❑ Příklad zápisu v třídící tabulce - měření tloušťky vláken  $d$  [ $\mu\text{m}$ ]:

j	$d_{jd} - d_{jh}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$d_j$ [ $\mu\text{m}$ ]	zápis	$n_j$
1	11-13	12	+++ +++	10
2	13-15	14	+++ +++	13
3	15-17	16	+++ +++ +++ +++	20
4	17-19	18	+++ +++ +++ +++ +++	27
5	19-21	20	+++ +++ +++ +++ +++ +++	30





# Velký rozsah dat $n > 40$

## ☐ Stanovení šířky a počtu tříd

- ☐ Rozpětí

$$R = x_{max} - x_{min}$$

- ☐ Odhad šířky třídy

$$\Delta x = 0,08 \cdot R$$

- ☐ Počet tříd  $k$

$$10 \leq k \leq 20$$

## ☐ Výpočty

- ☐ Průměrná hodnota

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k x_j \cdot n_j$$

- ☐ Rozptyl

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k (x_j - \bar{x})^2 \cdot n_j$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \left( \sum_{j=1}^k x_j^2 \cdot n_j \right) - \frac{1}{n} \left( \sum_{j=1}^k x_j \cdot n_j \right)^2 \right]$$

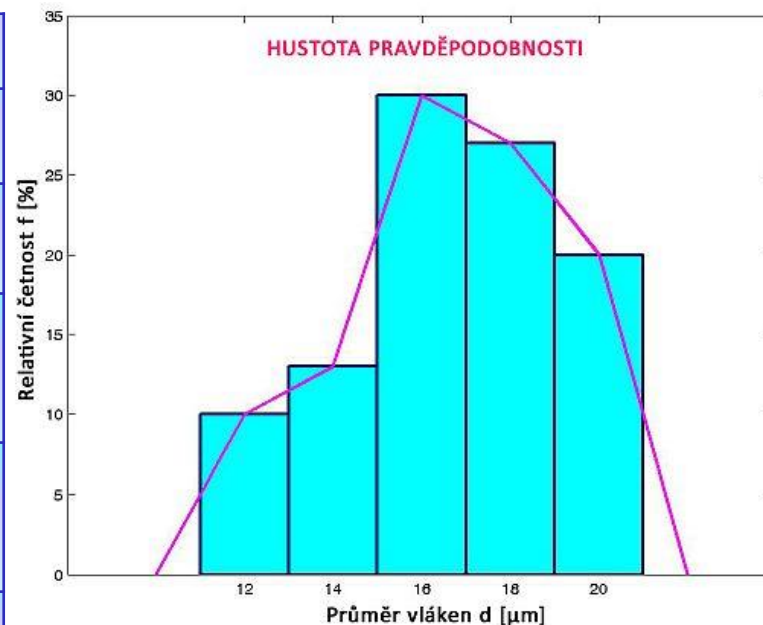
- ☐ Směrodatná odchylka  $s = \sqrt{s^2}$



# Histogram a polygon četnosti

□ Modelová křivka **hustoty pravděpodobnosti!**

j	$d_{jd} - d_{jh} [\mu\text{m}]$	$d_j [\mu\text{m}]$	zápis	$n_j$	$f_j [\%]$
1	11-13	12		10	10
2	13-15	14		13	13
3	15-17	16	           	30	30
4	17-19	18	           	27	27
5	19-21	20	 	20	20
$\Sigma \dots$				n=100	100%



$$f_j = \frac{n_j}{n} \cdot 100 [\%] \quad n = \sum_{j=1}^k n_j$$



# Histogram a součtová křivka

- ❑ Modelová křivka **distribuční funkce!**
- ❑ Součtovou křivku sčítáme až po  $x_{jh}$ !

j	$d_{jd} - d_{jh} [\mu\text{m}]$	$d_j [\mu\text{m}]$	zápis	$n_j$	$f_j [\%]$	$F_j [\%]$
1	11-13	12	+++ +	10	10	10
2	13-15	14	+++ +	13	13	23
3	15-17	16	+++ + + +++ + +	30	30	53
4	17-19	18	+++ + + + +++ +	27	27	80
5	19-21	20	+++ + + + +++	20	20	100

