

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Kontrola a měření

#### Obsah:

1. Základy metrologie, jednotky SI
2. Teorie chyb
3. Lícovací soustava
4. Statistická měření
5. Měření délek
6. Měření úhlů
7. Kontrola jakosti povrchu
8. Zkoušky bez porušení materiálu
9. Nepřímá měření
10. Zkoušky mechanických vlastností materiálu
11. Měření závitů
12. Měření tloušťek povrchových vrstev
13. Ergonomická měření

### 1. Základy metrologie, jednotky SI

#### Metrologie

Metrologie je věda zabývající se měřením.

Dělí se na:

- metrologii měření
- metrologii měřicích jednotek
- metrologii měřidel
- metrologii měřicích osob
- metrologii fyzikálních a technických konstant

#### Mezinárodní soustava jednotek SI

Zkratka SI pochází z francouzského výrazu *Système International d'Unités* (tj. mezinárodní systém jednotek).

Jednotky soustavy lze rozdělit do několika kategorií:

- základní
- doplňkové
- odvozené
- násobné a dílčí
- vedlejší

#### Základní jednotky SI

Veličina	Jednotka	Značka
délka	metr	m
hmotnost	kilogram	kg
čas	sekunda	s
elektrický proud	ampér	A
termodynamická teplota	kelvin	K
látkové množství	mol	mol
svítivost	kandela	cd

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Metr** - délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu za 1/299 792 458 sekundy.

**Kilogram** - hmotnost mezinárodního prototypu kilogramu uloženého v Mezinárodním úřadě pro váhy a míry v Sévres u Paříže.

**Sekunda** - doba rovnající se 9 192 631 770 periodám záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133.

**Ampér** - stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma přímými rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzájemné vzdálenosti 1 metr vyvolá mezi nimi stálou sílu  $2 \cdot 10^{-7}$  newtonu na 1 metr délky vodiče.

**Kelvin** - kelvin je 1/273,16 termodynamické teploty trojného bodu vody.

**Mol** - mol je látkové množství soustavy, která obsahuje právě tolik elementárních jedinců (entit), kolik je atomů v 0,012 kilogramu nuklidu uhlíku  $^{12}\text{C}$  (přesně).

**Kandela** - kandela je svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření o kmitočtu  $540 \cdot 10^{12}$  hertzů a jehož zářivost v tomto směru je 1/683 wattu na steradián.

### Doplňkové jednotky

Veličina	Jednotka	Značka
rovinný úhel	radián	rad
prostorový úhel	steradián	sr

**Radián** - rovinný úhel sevřený dvěma polopřímkami, které na kružnici opsané z jejich počátečního bodu vytínají oblouk o délce rovné jejímu poloměru.

**Steradián** - prostorový úhel s vrcholem ve středu kulové plochy, který na této ploše vytíná část s obsahem rovným druhé mocnině poloměru této kulové plochy.

### Odvozené jednotky

Odvozené jednotky vznikají pomocí fyzikálních definičních vztahů z jednotek základních nebo doplňkových. K vytváření dalších odvozených jednotek mohou být použity odvozené jednotky, které mají samostatný název. Některé odvozené jednotky jsou uvedeny v tabulce.

Jednotka	Značka	Veličina	Fyzikální rozměr
$\text{m}^2$	-	plošný obsah	$\text{m}^2$
$\text{kg}/\text{m}^3$	-	hustota	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
newton	N	síla	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
pascal	Pa	tlak	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$

### Násobné a dílčí jednotky

Násobné a dílčí jednotky se tvoří pomocí předpon, které předepisuje norma. U názvu nesmí být použito více než jedné předpony. Předpony pro tvoření násobků a dílů jednotek podle třetí mocniny deseti jsou uvedeny v následující tabulce.

Předpona	Značka	Původ	Znamená násobek	
exa	E	řečtina (exa = šest)	1 000 000 000 000 000 000	= $10^{18}$
peta	P	řečtina (pente = pět)	1 000 000 000 000 000	= $10^{15}$
tera	T	řečtina (teras = nebeské znamení)	1 000 000 000 000	= $10^{12}$
giga	G	řečtina (gigas = obr)	1 000 000 000	= $10^9$
mega	M	řečtina (megas = veliký)	1 000 000	= $10^6$
kilo	k	řečtina (chiliolo = tisíc)	1 000	= $10^3$
mili	m	latina (mille = tisíc)	0,001	= $10^{-3}$
mikro	$\mu$	řečtina (mikros = malý)	0,000 001	= $10^{-6}$

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

nano	n	latina (nanus = trpaslík)	0,000 000 001	= 10 <sup>-9</sup>
piko	p	italština (piccolo = malíčký)	0,000 000 000 001	= 10 <sup>-12</sup>
femto	f	dánština (femten = patnáct)	0,000 000 000 000 001	= 10 <sup>-15</sup>
atto	a	dánština (atten = osmnáct)	0,000 000 000 000 000 001	= 10 <sup>-18</sup>

Kromě těchto předpon je možno užívat i předpon odstupňovaných po jednom dekadickém řádu. Užívání těchto předpon je dovoleno jen ve zvláštních případech, tj. např. hektolitr (hl) nebo centimetr (cm), kterých se běžně užívalo před zavedením nové normy.

Všeobecně se dává přednost užívání předpon odstupňovaných podle třetí mocniny deseti.

Předpona	Značka	Původ	Znamená násobek	
hekto	h	řečtina (hekaton = sto)	100	= 10 <sup>2</sup>
deka	da	řečtina (dekas = deset)	10	= 10 <sup>1</sup>
deci	d	latina (decem = deset)	0,1	= 10 <sup>-1</sup>
cent	c	latina (centum = sto)	0,01	= 10 <sup>-2</sup>

### Vedlejší jednotky

Vedlejší jednotky nepatří do soustavy SI, ale norma povoluje jejich používání. Tyto jednotky nejsou koherentní vůči základním nebo doplňkovým jednotkám SI. Jejich užívání v běžném praktickém životě je ale tradiční a jejich hodnoty jsou ve srovnání s odpovídajícími jednotkami SI pro praxi vhodnější. Bylo tedy nutné (a vhodné) povolit jejich užívání. Vedlejší jednotky uvádí následující tabulka.

Veličina	Jednotka	Značka	Vztah k jednotkám SI
délka	astronomická jednotka	UA (AU)	1 UA = 1,49598 · 10 <sup>11</sup> m
-	parsek	pc	1 pc = 3,0857 · 10 <sup>16</sup> m
-	světelný rok	ly	1 ly = 9,4605 · 10 <sup>15</sup> m
hmotnost	atomová hmotnostní jednotka	u	1 u = 1,66057 · 10 <sup>-27</sup> m
-	tuna	t	1 t = 1000 kg
čas	minuta	min	1 min = 60 s
-	hodina	h	1 h = 3600 s
-	den	d	1 d = 86 400 s
teplota	Celsiův stupeň	°C	1 °C = 1 K
rovinný úhel	úhlový stupeň	°	1 ° = (π/180) rad
-	úhlová minuta	'	1 ' = (π/10800) rad
-	úhlová vteřina	"	1 " = (π/648000) rad
-	grad (gon)	g (gon)	1 g = (π/200) rad
plošný obsah	hektar	ha	1 ha = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
objem	litr	l	1 l = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
tlak	bar	b	1 b = 10 <sup>5</sup> Pa
energie	elektronvolt	eV	1 eV = 1,60219 · 10 <sup>-19</sup> J
optická mohutnost	dioptrie	Dp, D	1 Dp = 1 m <sup>-1</sup>
zdánlivý výkon	voltampér	VA	-
jalový výkon	var	var	-

Otázky a úkoly:

- 1) Zjistěte, kde sídlí mezinárodní úřad pro míry a váhy.
- 2) Určete název jednotky. Její definice je: ..... úhel mezi dvěma poloměry kružnice, které na obvodě vytínají oblouk stejné délky, jakou má poloměr.
- 3) Nalezněte odvozenou jednotku pro rychlost a výkon.

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### 2. Teorie chyb

Chyby - odchylky od správných hodnot, které vznikají při měření.

Chyby mohou být:

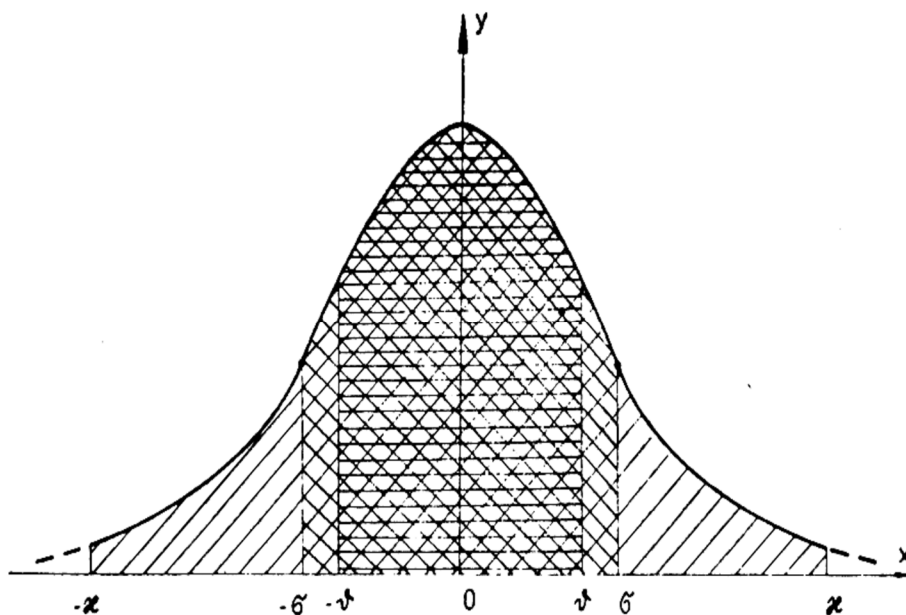
- systematické (soustavné)
- nahodilé
- hrubé

**Systematické chyby** jsou vždy stejné hodnoty a smyslu a při stejných podmínkách měření se vyskytují pravidelně. Mohou být způsobeny měřicí metodou, měřicím přístrojem a pracovníkem. Dají se minimalizovat tak, že měříme danou veličinu různými metodami a výsledky porovnáme.

**Hrubé chyby** se vyznačují velkou odchylkou od naměřených hodnot. Mohou být způsobeny chvilkovou nepozorností nebo poruchou měřicího přístroje. Při zpracování výsledků měření s nimi nepočítáme.

**Nahodilé chyby** se projevují tím, že při opakovaném měření za stejných podmínek nedostaneme stejný výsledek. Jejich výskyt se řídí Gaussovou křivkou, kde na vodorovné ose je vynesena velikost chyb a na svislé ose četnost chyb.

Gaussova křivka rozložení chyb



Z Gaussovy křivky je zřejmé, že:

- Počet kladných chyb je stejný jako počet záporných chyb.
- Čím jsou chyby menší, tím se vyskytují častěji a naopak.

Přestože příčinu nahodilých chyb přesně neznáme, můžeme tyto chyby matematickými metodami zpracovat, neboť známe jejich charakteristické vlastnosti:

- Malé chyby se vyskytují mnohem častěji než chyby velké.
- Při nekonečně velkém počtu měření je součet nahodilých chyb roven nule (vliv chyb záporných je vylíčen vlivem chyb kladných).

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Správné hodnotě se nejvíce blíží aritmetický průměr jednotlivých měření.

Měříme-li danou veličinu  $n$ -krát a jsou-li naměřené hodnoty  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , potom platí, že aritmetický průměr

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Aritmetický průměr se liší od naměřené hodnoty o odchylku měření  $\Delta$ .

$$\Delta_i = x_i - \bar{x}$$

Jako výsledek měření se uvádí aritmetický průměr hodnot jednotlivých měření

a k němu se připojuje chyba měření:

a) pravděpodobná chyba jednoho měření  $\vartheta$  (pravděpodobnost, že je chyba v intervalu od  $-\vartheta$  do  $+\vartheta$  je 50%)

$$\vartheta = \frac{2}{3} \sigma$$

b) pravděpodobná chyba výsledku (aritmetického průměru)  $\bar{\vartheta}$  bude menší

$$\bar{\vartheta} = \frac{2}{3} \bar{\sigma}$$

c) směrodatná odchylka = střední kvadratická chyba  $\sigma$  (pravděpodobnost výskytu chyby v intervalu od  $-\sigma$  do  $+\sigma$  je 68,27%), odpovídá inflexnímu bodu Gaussovy křivky (bod, ve kterém mění křivka vyduťtý tvar na vypouklý)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{(n-1)}}$$

d) směrodatná odchylka výsledku  $\bar{\sigma}$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n(n-1)}}$$

e) krajní chyba  $\varepsilon$  (pravděpodobnost, že je chyba v intervalu od  $-\varepsilon$  do  $+\varepsilon$  je 99,73%)

$$\varepsilon = 3\sigma$$

f) krajní chyba výsledku  $\bar{\varepsilon}$

$$\bar{\varepsilon} = 3\bar{\sigma}$$

Ve výsledku měření zapisujeme hodnoty tak, aby číslice nejnižšího řádu aritmetického průměru měla stejný řád jako číslice chyby.

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Příklad zpracování výsledků pro 10 měření:

Měření daného rozměru bylo provedeno 10x. Rozměry jsou v mm. Vypočítejte aritmetický průměr naměřené hodnoty. Určete pravděpodobnou chybu a výběrovou směrodatnou odchylku výsledku

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot:

Číslo měření $i$	Naměřená hodnota $x_i$	Odchylka měření $\Delta_i$	Čtverec odchylky $\Delta_i^2$
1	22,13		
2	21,93		
3	21,96		
4	21,91		
5	22,01		
6	21,95		
7	22,03		
8	21,98		
9	21,89		
10	21,92		

$$\text{Aritmetický průměr: } \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} =$$

$$\text{Pravděpodobná chyba jednotlivého měření: } \vartheta = \frac{2}{3} \sigma =$$

$$\text{Pravděpodobná chyba výsledku: } \bar{\vartheta} = \frac{2}{3} \bar{\sigma} =$$

$$\text{Výběrová směrodatná odchylka jednotlivého měření: } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{(n-1)}} =$$

$$\text{Výběrová směrodatná odchylka výsledku: } \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n(n-1)}} =$$

$$\text{Pravděpodobný výsledek měření } A_p = \bar{x} \pm \bar{\vartheta} =$$

$$\text{Standardní- směrodatný výsledek měření } A = \bar{x} \pm \bar{\sigma} =$$

### Nejistoty měření = podle některých norem chyby měření

$u_A$  - zahrnuje vliv nahodilých chyb, jde o střední kvadratickou chybu.

$u_B$  - zahrnuje vliv systematických chyb, stanovuje se odhadem nebo z kalibračních listů.

$u_C$  - celková nejistota měření  $u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$

Otázky a úkoly:

- 1) Byly naměřeny tyto výsledky: 12, 11, 12, 13, 12, 11, 50, 13, 12,13, 11,12.  
Jaká chyba při měření vznikla?
- 3) Můžeme odstranit vliv nahodilých chyb?
- 4) Můžeme odstranit systematické chyby?

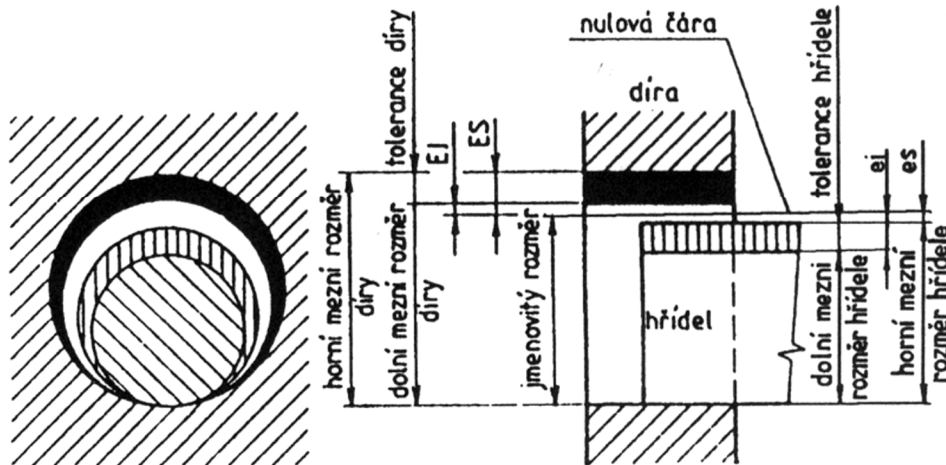
## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### 3. Lícovací soustava

#### Základní pojmy:

#### SOUSTAVA TOLERANCÍ A ULOŽENÍ

Výběr z ČSN EN 20 286-1 (01 4201)  
Účinnost od 1. 1. 1997



**Nulová čára OČ** - odpovídá jmenovitému rozměru, zobrazuje graficky polohu tolerančních polí a uložení.

**Díra** - pojem pro označení vnitřních prvků součásti (všechna písmena velká).

**Hřídel** - pojem pro označení vnějších prvků součástí (všechna písmena malá).

**Horní mezní úchylka ES, es** – je určena normou, slouží k určení HMR, hmr.

**Dolní mezní úchylka EI, ei** – je určena normou, slouží k určení DMR, dmr.

**Horní mezní rozměr HMR, hmr** - největší rozměr, kdy je součást ještě použitelná.

$$HMR = JR + ES, hmr = JR + es$$

**Dolní mezní rozměr DMR, dmr** - nejmenší rozměr, kdy je součást ještě použitelná.

$$DMR = JR + EI, dmr = JR + ei$$

**Tolerance T** - povolená výrobní nepřesnost.

$$T = HMR - DMR = ES - EI, t = hmr - dmr = es - ei$$

**Jmenovitý rozměr JR** - rozměr, k němuž se vztahují oba mezní rozměry a úchylky. Je dán kótou na výkrese.

**Skutečný rozměr SR** - rozměr součásti zjištěný měřením.

**Stupeň přesnosti IT** - udává velikosti tolerance v závislosti na rozměru součásti.

Čím vyšší je číslo IT, tím širší je toleranční pole.

Norma udává 20 stupňů přesnosti (od IT01 do IT18).

Polohu tolerančního pole vzhledem k nulové čáře určuje písmeno.

A÷ZC pro díry, a÷zc pro hřídele. Toleranční pole H a h leží na nulové čáře. (Jsou nepoužívané – nejjednodušší výroba.)

**Uložení** - vzniká při funkčním spojení dvou součástí.

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Uložení

#### Soustavné:

##### Soustava jednotné díry - SJD

Je to soustava uložení, kdy k díře jsou přiřazeny různé hřídele a díra má  $EI=0$ .

##### Soustava jednotného hřídele - SJH

Je to soustava uložení, kdy k hřídeli jsou přiřazeny různé díry a hřídel má  $es=0$ .

#### Nesoustavné:

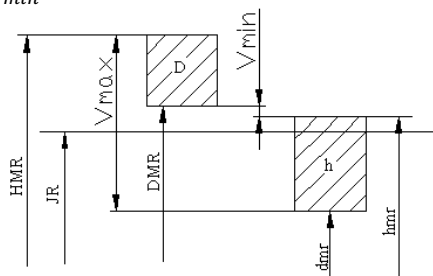
Ani díra ani hřídel nemají mezní úchytku rovnou nule.

V závislosti na vzájemné poloze tolerančních polí díry a hřídele může být:

**uložení s vůlí (hybné)** - nejmenší díra je větší než největší hřídel - určují se u něj hodnoty maximální a minimální vůle:

$$v_{max} = HMR - dmr$$

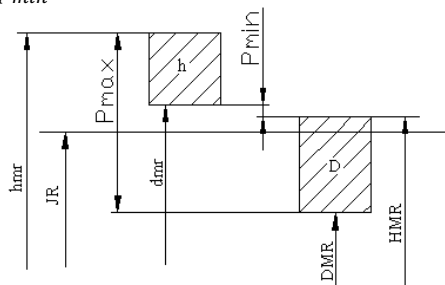
$$v_{min} = DMR - hmr$$



**uložení s přesahem (nehybné)** - nejmenší hřídel je větší než největší díra - určují se u něj hodnoty maximálního a minimálního přesahu:

$$p_{max} = hmr - DMR$$

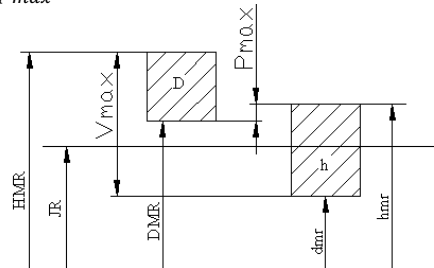
$$p_{min} = dmr - HMR$$



**uložení přechodné**, u něhož může vzniknout jak vůle, tak i přesah - určují se u něj hodnoty maximální vůle a maximálního přesahu:

$$v_{max} = HMR - dmr$$

$$p_{max} = hmr - DMR$$



### Rozebírací značka: Ø 30 H7 / js6

30....JR

6, 7...IT

H / js...SJD, uložení přechodné





## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Otázky a úkoly:

- 1) Najděte ve strojnických tabulkách použití jednotlivých stupňů přesnosti.
- 2) Ze strojnických tabulek zjistěte, kde se používá uložení H7/f7 ?
- 3) Vyřešte a nakreslete uložení  $\varnothing 30$  H7/f 7.

### Použitá literatura a zdroje obrázků:

VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky pro SPŠ strojnické*. 2. vydání. Praha: SNTL, 1984. 672 s.

LEINVEBER, Jan, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 1. vydání. Úvaly: ALBRA, 2003. 865 s.

ISBN 80-86490-74-2.

ŠULC, Jan. *Technologická a strojnická měření pro SPŠ strojnické*. 2. vydání. Praha: SNTL, 1982. 420 s.

MARTINÁK, Milan. *Kontrola a měření pro 3. ročník SPŠ strojnických*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1989.

216 s. ISBN 80-03-00103-X.