

## MODUL 2: MĚŘENÍ ÚHLOVÝCH ROZMĚRŮ

Výukový materiál

*Autor: Mgr. Jan LANGER*

Tento materiál byl vytvořen v rámci projektu OP VK č. CZ.1.07/1.1.24/01.0134  
Rozvoj technického a přírodovědného vzdělávání na SOŠ a SOU v Kopřivnici

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### O projektu Rozvoj 2014

#### Základní údaje o projektu:

Název projektu:	<b>Rozvoj přírodovědného a technického vzdělávání na SOŠ a SOU v Kopřivnici</b>
Název operačního programu:	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost
Prioritní osa:	7.1 Počáteční vzdělávání
Oblast podpory:	7.1.1 Zvyšování kvality ve vzdělávání
Předkladatel:	Vyšší odborná škola, Střední odborná škola a Střední odborné učiliště, Kopřivnice, příspěvková organizace
Partner projektu:	Porgest, a.s.
Rozpočet projektu:	9 288 965,12 Kč
Doba realizace:	14.02.2012-30.09.2014 (32 měsíců)

Cílem projektu zkráceně nazvaného Rozvoj 2014 je zvýšení kvality výuky přírodovědných i technických předmětů a odborného výcviku na VOŠ, SOŠ a SOU Kopřivnice prostřednictvím inovací obsahu příslušných vzdělávacích modulů, tvorby nových výukových i metodických materiálů a pořízení moderního vybavení pro výuku odpovídajících předmětů.

Projekt je řešen v těsné spolupráci s podniky - zaměstnavateli v regionu, abychom dosáhli co nejužšího propojení výuky s praxí. Využíváme zkušenosti partnera projektu – firmy Porgest, a. s. i dalších podniků, které projevíly zájem s námi spolupracovat.

Modernizace výuky je zaměřena na tři oblasti:

- svařování,
- strojírenství,
- přírodní vědy (fyzika, chemie, biologie).

V období realizace projektu bylo vytvořeno celkem 10 vzdělávacích modulů zahrnujících metodické texty pro učitele, výukové texty pro žáky, prezentace i videosekvence. Bylo obnoveno vybavení svářečské dílny a strojní laboratoře, doplněno vybavení chemické laboratoře a vybudována nová učebna přírodovědných předmětů. Další informace a výstupy projektu jsou k dispozici na stránkách projektu [www.voskop.cz/rozvoj](http://www.voskop.cz/rozvoj).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## OBSAH

1	Vysvětlivky k ikonám .....	5
2	Úvod .....	6
3	Základy správného měření .....	12
4	Bezpečnostní ustanovení.....	22
5	Chyby měření.....	32
6	Měření úhlů .....	37
7	Měření úhломěrem Mitutoyo - klasickým a digitálním .....	57
8	Měření úhlovou vodováhou .....	73
9	Profilprojektor .....	88
10	Měření na optické dělicí hlavě .....	98
11	Měření na dílenském mikroskopu .....	110
12	Měření goniometrickými pravítky .....	117
13	Multifunkční měřicí stroj - SMS .....	128
14	Využití modulu v předmětech .....	133
15	Literatura .....	134
16	Seznam obrázků.....	135
17	Seznam vzorců.....	139
18	Seznam tabulek .....	140

## OBSAH

### Poděkování

Cílem projektu „Rozvoj 2014“ je zvýšení kvality výuky přírodovědných i technických předmětů a odborného výcviku na VOŠ, SOŠ a SOU Kopřivnice prostřednictvím inovací obsahu příslušných vzdělávacích modulů, tvorby nových výukových i metodických materiálů a pořízení moderního vybavení pro výuku odpovídajících předmětů. V první řadě se předpokládá vytvoření textů vhodných pro výuku, které nelze vytvořit bez reálných zkušeností a materiálního zabezpečení. Proto je v projektu nutná těsná spolupráce s podniky - zaměstnavateli v regionu, ve kterém naše škola leží.

V tomto modulu využíváme nejen zkušeností partnera projektu – firmy Porgest, a. s., ale také spolupracujeme s firmou Technické laboratoře Opava, a.s., jakož i dalšími podniky, které projevily o spolupráci s námi zájem. Všem těmto firmám a organizacím patří velký dík za umožnění stáží a získávání zkušeností. Pracovníkům - jednotlivcům je vhodné vyslovit upřímné poděkování za vynaložené úsilí a trpělivost při konzultacích a pracovních stážích, které jistě nabourávaly jejich pracovní rutinu.



## Vysvětlivky k ikonám

### 1 Vysvětlivky k ikonám



#### CÍLE

Na začátku každého tématu jsou uvedeny cíle. Formulují konkrétní vědomosti, to, co se od vás očekává a co si vyzkoušíte, co budete znát a umět v hodinách zabývajících se kontrolou a měřením.



#### PRŮVODCE STUDIEM

Prostřednictvím průvodce studiem k Vám může lektor promlouvat. Upozorňuje Vás na důležitá místa v textu, na informace důležité ke studiu.



#### KONTROLNÍ OTÁZKY

U těchto kontrolních otázek si zkontrolujete, jak jste pochopili a osvojili si důležité informace z předvedeného učiva. Zda dokážete správně a bezpečně aplikovat učivo při řešení praktických a teoretických problémů. Otázky můžete konzultovat se svým vyučujícím na konci probraného tématu.

## Úvod

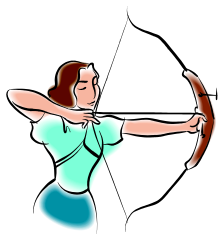
### 2 Úvod



#### CÍLE

Po prostudování této kapitoly byste měli být schopni:

- formulovat historii úhlového měření,
- popsat historický úhloměr,
- pochopit základní úhlové dělení,
- definovat rovinný a prostorový úhel,
- přiřadit odborné názvosloví úhlů.



#### PRŮVODCE STUDIEM

Poznání a vědění je motorem lidského pokroku. Je to také základní prvek v životě každého jednotlivce. Zajištění svého postavení ve společnosti začíná vždy vzděláváním a poznáváním. Každý člověk vzdělávaný v současné době, čerpá ze zkušeností a poznání našich předků, i když si v mnohém představujeme, že jsme vrchol vzdělanosti. Technika stále pracuje s dalšími a dalšími poznatky, které aplikuje kreativním přístupem stejně, jako to dělali naši předkové. V každém případě je však poznání principu, na kterém pracuje moderní technika, základem, na kterém je možné stavět dále. Pokud nepochopíme tento princip, většinou se můžeme stát dobrými uživateli, ale nikdy nebudeme schopni rozvoje. S touto kapitolou spolupracují prezentace „Definice úhlu“ a „Historie a přehled“.

## Úvod

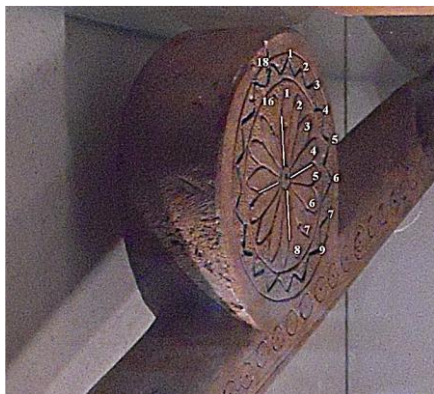
### Nejstarší úhloměr pochází z Egypta?

Záhadný dřevěný předmět z turínských sbírek považovali egyptologové dlouho za jednoduché váhy. Jde o rovné břevno, z jehož středu vybíhá kruhovitý terč. Břevno i terč jsou zdobeny řezbou, která je po obou stranách stejná. Amelia Carolina Sparavigna, asistentka na Polytechnické univerzitě v Turíně, je ale přesvědčena, že řezby nesloužily jako ozdoba, nýbrž jako stupnice. Podle této italské fyzičky se jedná o úhloměr. Růžice na kruhovém terči je tvořena šestnácti „listy“ a připomíná tak trochu růžici kompasu. Kolem této růžice je ještě jeden prstenec s 36 hroty. Podle doc. Sparavigni umožňoval úhloměr měření úhlů ve dvou stupnicích. Jedna udávala úhel ve zlomcích kruhu až do jedné šestnáctiny. Prstenec s 36 hroty umožňoval měření v desetinách kruhu, tzv. dekanech.



Obrázek 1 – Prázdná hlava

*Dekan také zobrazuje postavení slunečního kotouče každých deset dní, starověcí Řekové jim říkali dekanoi (pl. z dekanos) nebo "desetin". Tato předvídatelná postavení slunečního kotouče podle decanů byla nakonec používána Egypťany k označení části z jejich ročního slunečního kalendáře. Nakonec tento systém vedl k systému 12 denních hodin a 12 nočních hodin, které se liší délkou v závislosti na ročním období. Později byl systém 24 rovnodennostních hodin provozu civilizačně akceptován. Decany byly používány během renesance v astrologii a magii, ale moderní astrologové je téměř úplně ignorují.*



Obrázek 3 – Úhloměrná stupnice



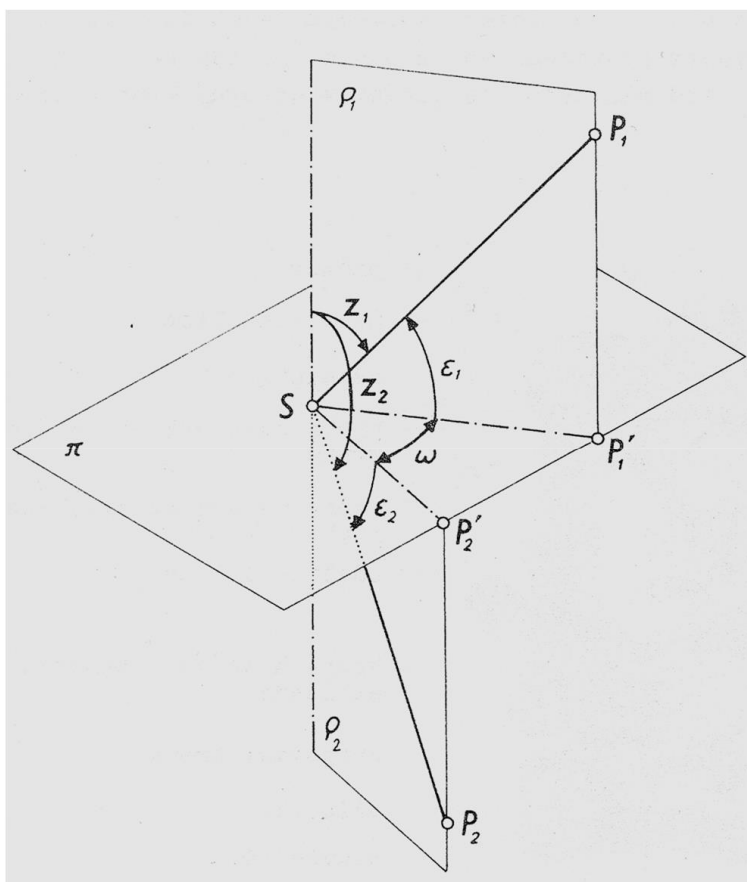
Obrázek 2 – Úhloměr staré egyptské říše

## Úvod

### Vodorovný směr, úhel.

Vodorovný směr je směr průsečnice svislé roviny proložené bodem S a P a vodorovné roviny proložené bodem S.

Vodorovný úhel je úhel sevřený průsečnicemi svislých rovin  $P_1$ ,  $P_2$  a vodorovné roviny  $\pi$ .



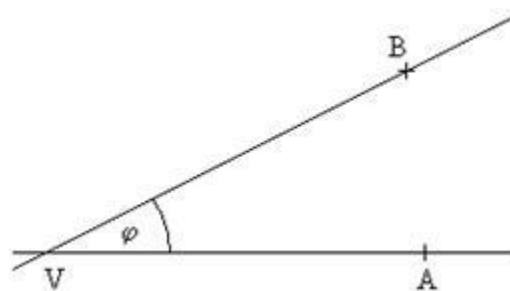
Obrázek 4 – Rovinný a prostorový úhel

1. rovinný úhel;
2. prostorový úhel.

Jednodušší je rovinný úhel  $\varphi$  (viz obr. 5), který je dán vrcholem úhlu V a dvěma rameny úhlu VA a VB. Kromě označení  $\varphi$  také můžeme použít označení  $\sphericalangle AVB$  resp.  $\sphericalangle BVA$ . Velikost tohoto úhlu pak zapisujeme  $\varphi = |\sphericalangle AVB| = |\sphericalangle BVA|$ .

## Úvod

Pomocí písmen je nutné úhel vyjádřit třemi písmeny, z nichž uprostřed musí být písmeno označující vrchol daného úhlu a jako první a třetí písmeno jsou písmena bodů ležících na různých ramenech úhlu.



Obrázek 5 – Rovinný úhel

Velikost rovinného úhlu se běžně vyjadřuje v tzv. stupňové míře, tj. ve stupních, minutách a vteřinách.

Zápis  $\varphi = 15^{\circ}32'47''$  tedy čteme takto: úhel  $\varphi$  má velikost 15 stupňů, 32 minut a 47 vteřin. Pozor! V souvislosti s velikostí úhlů se skutečně používá termín „**vteřina**“ a ne „*sekunda*“! Termín „sekunda“ je určen pro jednotku času a je v souvislosti s časem nepřipustné mluvit o „vteřinách“.

Jednotky, které jsou pro fyzikální výpočty přijatelnější, jsou radiány, tj. oblouková míra. Přepočet stupňů na radiány není obtížný, uvědomíme-li si, že plný úhel má ve stupňové míře velikost  $360^{\circ}$  a v obloukové míře to je  $2\pi \text{ rad}$ . Proto lze jednotky úhlů převádět dle vztahu zobrazeného v rovnici 1.

$$\begin{array}{ccc} \uparrow & 360^{\circ} \dots\dots\dots 2\pi & \uparrow \\ \alpha_{\text{stupně}} & \dots\dots\dots \varphi_{\text{radiány}} & \end{array}$$

Rovnice 1

Na základě tohoto vztahu lze odvodit dvě obecné rovnice. Pro velikost úhlu ve stupňové míře platí

$$\alpha_{\text{stupně}} = \varphi_{\text{radiány}} \frac{360^{\circ}}{2\pi} = \varphi_{\text{radiány}} \frac{180^{\circ}}{\pi} \quad \text{Rovnice 2}$$

a pro velikost úhlu v obloukové míře pak platí vztah

$$\varphi_{\text{radiány}} = \alpha_{\text{stupně}} \frac{2\pi}{360^{\circ}} = \alpha_{\text{stupně}} \frac{\pi}{180^{\circ}} \quad \text{Rovnice 3}$$

## Úvod

Prostorový úhel  $\Omega$  je definován jako úhel při vrcholu  $V$  kužele (viz obr. 11). Průnik tohoto kužele a koule, která má střed v bodě  $V$  a má poloměr  $r$ , je kulový vrchlík. Daný kužel vytíná na dané kulové ploše plochu o obsahu  $S$ . Prostorový úhel  $\Omega$  je definován vztahem

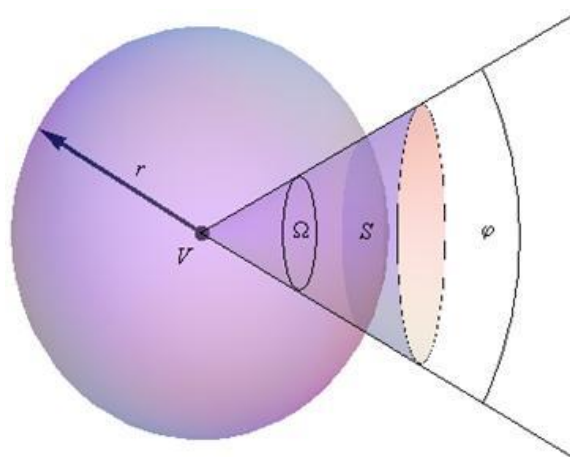
$$\Omega = \frac{S}{r^2} \quad \text{Rovnice 4}$$

a jeho jednotkou je steradián:

$$[\Omega] = \text{sr}$$

Jeden steradián odpovídá takovému úhlu u vrcholu kužele, který má s koulí o poloměru 1 m jako průnik plochu o obsahu  $1 \text{ m}^2$ . Plný prostorový úhel má velikost  $4\pi \text{ sr}$ .

Tento úhel totiž odpovídá takovému kuželu, jehož průnik s danou kulovou plochou by byla celá uvažovaná kulová plocha, tj.



Obrázek 6 – Prostorový úhel

$$\Omega = \frac{S}{r^2} = \frac{4\pi r^2}{r^2} \text{ sr} = 4\pi \text{ sr} \quad \text{Rovnice 5}$$

Pro rotační kužel, který je zobrazen i na obr. 6 lze odvodit vztah mezi velikostí prostorového úhlu  $\Omega$  a rovinného úhlu  $\varphi$ , který svírají povrchové přímky rotačního kužele vzniklé jako průsečík kuželové plochy daného kužele a roviny procházející osou uvažovaného kužele.

$$\text{Platí tedy} \quad \Omega = 2\pi (1 - \cos \varphi)$$

Rovnice 6



Obrázek 7 – Plná hlava



## Úvod



### KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Popište historický úhloměr.
2. Vyjmenujte pravděpodobná použití historického úhloměru.
3. Svými slovy vysvětlete pojem rovinný úhel.
4. Svými slovy vysvětlete pojem prostorový úhel.
5. Vysvětlete pojem úhlový stupeň.
6. Vysvětlete pojem radián.
7. Vysvětlete pojem steradián.

## Základy správného měření

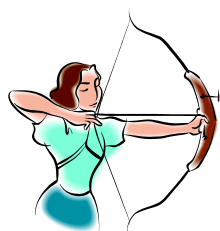
### 3 Základy správného měření



#### CÍLE

Po prostudování této kapitoly byste měli být schopni:

- formulovat základy správného měření,
- definovat zákonné měřicí jednotky,
- používat základní pojmy,
- vybrat správné měřidlo pro měření,
- orientovat se v technické praxi,
- měřidla použít správným způsobem,
- zajistit správnou údržbu měřidel.



#### PRŮVODCE STUDIEM

Základy správného měření předpokládají, že uživatelé budou používat odbornou terminologii. V podstatě se jedná o pochopení základních pojmů, které laická veřejnost velmi často používá zavádějícím způsobem nebo zcela nesprávně. Po prostudování zjistíte, jak se orientovat v technické dílenské praxi, jaká jsou základní pravidla pro výběr měřicích prostředků, jakým způsobem zacházet s měřidly nebo jak s měřidly v žádném případě zacházet nelze. S touto kapitolou spolupracují prezentace „Historie a přehled“.



## Základy správného měření

### Zákonné měřicí jednotky

Odvíjejí se od názvosloví a symboliky, které jsou normalizovány ČSN 010115 (Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii zpracovaný organizacemi ISO, IEC, OIKL, BIPM a vydaný sekretariátem ISO v Ženevě<sup>1</sup>). Jsou dány ČSN ISO 1000 (jednotky SI a doporučení pro užívání jejich násobků a pro užívání některých dalších jednotek, 1997).

Subjekty a orgány státní správy jsou povinny používat základní měřicí jednotky, jejich označování, násobky a díly stanovené vyhláškou. Právním základem je zákon č. 505/1990 Sb. O metrologii ve znění zákona č. 119/2000 Sb. Účelem zákona je úprava práv a povinností fyzických osob, které jsou podnikateli, právnických osob a orgánů státní správy, a to v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření.

### Vybrané základní pojmy

**Mezinárodní soustava jednotek SI** – koherentní systém jednotek přijatý a doporučený CGPM (Generální konference vah a měr).

**Veličina** – vlastnost jevu, tělesa nebo látky, kterou lze kvalitativně rozlišit a kvantitativně určit.

**Jednotka** – blíže určená veličina definovaná a přijatá konvencí, se kterou jsou porovnávány jiné veličiny stejného druhu za účelem vyjádření jejich hodnot ve vztahu k této veličině.

**Měřicí metoda** – logický sled po sobě následujících genericky poslopně popsaných činností, které jsou používány při měření.

**Měřicí postup** – specifický soubor popsaných činností, které jsou používány při blíže určených měřeních podle dané metody.

**Výsledek měření** – hodnota získaná měřením přisouzená měřené veličině.

**Chyba** – výsledek měření minus pravá hodnota měřené veličiny.

**Korekce** – algebraicky připočtená hodnota nekorigovaného výsledku měření ke kompenzaci systematické chyby.

**Etalon** – ztělesněná míra, referenční materiál určený k definování, realizování, uchovávání nebo reprodukování jednotky nebo jedné či více hodnot veličiny k použití pro referenční účely.

**Návaznost** – vlastnost výsledku měření nebo hodnoty etalonu, kterou může být určen vztah k uvedeným referencím, zpravidla národním nebo mezinárodním etalonům přes nepřerušovaný řetězec porovnávání, jejichž nejistoty jsou uvedeny.

**Kalibrace** – soubor úkonů, kterými se stanoví za specifických podmínek vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřicím přístrojem nebo měřicím systémem nebo hodnotami reprezentovanými ztělesněnou mírou nebo referenčním materiálem a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony.

<sup>1</sup> Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie. Ženeva 1966.

## Základy správného měření

**Justování** – činnost spočívající v uvedení měřicího přístroje do funkčního stavu vhodného pro jeho používání.

**Seřizování** – justování provedené pouze s použitím prostředků, které jsou k dispozici uživateli.

### Měřidla

Měřidla slouží k určení hodnoty měřené veličiny. Jejich základní skladebné prvky jsou nejčastěji:

**Snímač** – část měřicího přístroje nebo měřicího řetězce, na kterou bezprostředně působí měřená veličina.

**Ukazatel** – pevná nebo pohyblivá část indikačního přístroje, jejíž poloha vzhledem ke stupnici umožňuje určení indikované hodnoty.

**Stupnice** – uspořádaný soubor značek společně s jakýmkoliv přidruženým očíslováním, který tvoří část zobrazovacího zařízení měřicího přístroje.

**Rozsah stupnice** – soubor hodnot stupnice mezi krajními značkami stupnice.

**Analogový měřicí přístroj** – měřicí přístroj, jehož výstupní signál nebo údaj je spojitou funkcí hodnoty měřené veličiny nebo výstupního signálu. Název se vztahuje na způsob prezentace výstupních signálů nebo údajů, nikoli na funkční princip přístroje.

**Digitální (číslicový) měřicí přístroj** – měřicí přístroj, který poskytuje digitalizovaný výstup hodnot nebo zobrazení.

### Výběr měřicích prostředků

Při volbě měřicích prostředků je nutno přihlížet nejen k nepřesnosti měřidel a kontrolní techniky, ale nezbytným kritériem při výběru je splnění i dalších podmínek, a to například:

- musí být jednoznačně definována požadovaná hodnota,
- měřicí zařízení musí dostatečně rychle sledovat měřenou hodnotu, tj. rychlost poskytnuté informace musí umožnit realizovat změnu příslušného parametru.

Jedním z hlavních ukazatelů pro volbu měřicích přístrojů je vztah výrobní tolerance výrobku k přesnosti výrobního zařízení. Mohou nastat tyto případy:

- je-li chyba výrobního zařízení podstatně menší než výrobní tolerance, je možno provádět kontrolu běžnými měřidly v pevně stanovených časových intervalech,
- je-li chyba výrobního zařízení přibližně stejná jako požadovaná výrobní tolerance, nutno měřit přímo při obrábění a výsledky měření využívat k řízení výrobního procesu (sledovací měřidla),
- je-li chyba výrobního zařízení větší než požadované výrobní tolerance, musí se provádět výběrová montáž, tj. předpoklad třídění obrobků do skupin dle rozměrů na třídících automatech.

## Základy správného měření

Při volbě přesnosti měřidla se obvykle vychází ze zásady, že přesnost měření má být 5x až 10x větší než kontrolovaná výrobní tolerance. Nelze-li tuto podmínku splnit, je třeba upravit mezní rozměry obrobku pro kontrolu (tzv. redukované tolerance). Při kontrole a měření se mají používat jen ověřená měřidla a měřidla s platnou kalibrací.

### Jednotky úhlových měření

Jednotkou SI je radián (*rad*), odvozenými jednotkami jsou stupeň ( $^{\circ}$ ), gon (nebo *grad*, *g*).

Mezi jednotky odvozené patří též dvě doplňkové jednotky: radián (*rad*) jako jednotka rovinného úhlu a steradián (*sr*) jako jednotka prostorového úhlu. Tyto jednotky nelze vyjádřit pomocí jednotek základních - považujeme je tedy za bezrozměrné.

Jako úhlová jednotka platí takový rovinný úhel, pro nějž poměr délek "kruhový oblouk k poloměru kruhu" je roven číselné hodnotě 1. Tato jednotka se nazývá radián (značka: *rad*). Ve strojírenství je ke kontrole a měření úhlů zavedena úhlová jednotka *stupeň* s dělením na minuty a vteřiny. Kruh dělíme na  $360^{\circ}$ .

Při měření se využívají v technické praxi hlavně stupně nebo grady.

	Plný úhel	Pravý úhel	Části úhlu
Radián	$2\pi$	$\pi/2$	
Stupeň	$360^{\circ}$	$90^{\circ}$	$1' = 1^{\circ}/60$ ; $1'' = 1^{\circ}/3600$
Grad	$400^g$	$100^g$	$1^c = 1^g/100$ ; $1^{cc} = 1^g/10\,000$

Tabulka 1 – Převodní vztahy

## Základy správného měření

### Úhly se měří a kontrolují:

- měří se pohyblivými měřidly na měření úhlů
  - univerzální úhloměry
  - úhlové libely
  - universální dělicí přístroje
  - otočné stoly
  - profilprojektory s otočnou matnicí
  - souřadnicové měřicí stroje
  - multifunkční měřicí stroje
- kontrolují se pevnými šablonami na měření úhlů
  - ocelové, vlasové a příložné úhelníky
  - úhlové základní měrky
  - pokosníky
  - poloměrové šablony
  - šablony na zaoblení
- vypočítávají se pomocí pevných měřidel
  - sinusové pravítko
  - tangentové pravítko

### Technická praxe

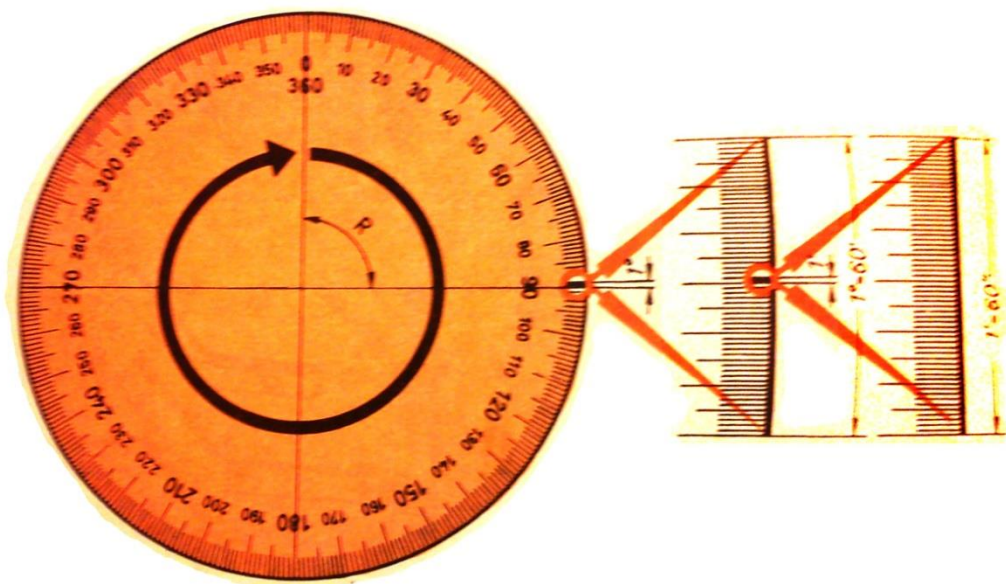
V technické praxi je konstrukce obrobku určena tvarem a vzájemnou polohou ploch jeho povrchu. Často se vyskytující tvary ploch jsou např. obdélník (plochá ocel), čtverec (čtvercová ocel), nebo kruh (kruhovatá ocel). Plochy povrchu obrobku mohou být rovinné (ploché) nebo oblé (vyklenuté). Vyklenuté plochy na soustružených obrocích jsou např. válcové nebo vypoukle zakřivené.

Na průsečnici dvou sousedních, např. rovinných ploch obrobku vzniká hrana obrobku: zde se stýkají plochy v úhlu, tj. „svírají spolu úhel“. K označení vzájemné polohy ploch nebo hran na obrocích se používá úhlových měř.

Měrnou jednotkou pro úhel dostaneme rozdělením kruhu na 360 dílů. Měrná jednotka, tj. hodnota úhlu  $1^\circ$ , tvoří přitom středový úhel mezi dvěma sousedními dělicími poloměry kruhu. Další dílčí měrné jednotky jsou 1 úhlová minuta (značeno  $'$ ), 1 úhlová sekunda (značeno  $''$ ).

$$\text{Tedy } 1^\circ = 60' = 3600''$$

## Základy správného měření



Obrázek 8 – Dílčová úhloměrná stupnice

Nejčastěji se na obrobcích vyskytuje tzv. „pravý“ úhel, který podle obvyklé měrné jednotky měří  $90^\circ$  (stupňů). V tomto případě hovoříme o stavu, kdy jsou plochy na sebe kolmé, probíhají kolmo (v pravém úhlu). U většiny strojních operací se požaduje, aby obrobené plochy byly na sebe kolmé (svíraly spolu pravý úhel). Velmi častou rýsovací činností je orýsování součástí pravoúhlého tvaru, např. na tabuli plechu. Přitom vždy požadujeme, aby protilehlé tvary plechové součásti probíhaly ve správné vzdálenosti rovnoběžně, tj. ve stejném směru. Zároveň však musí být sousední hrany na sebe kolmé.

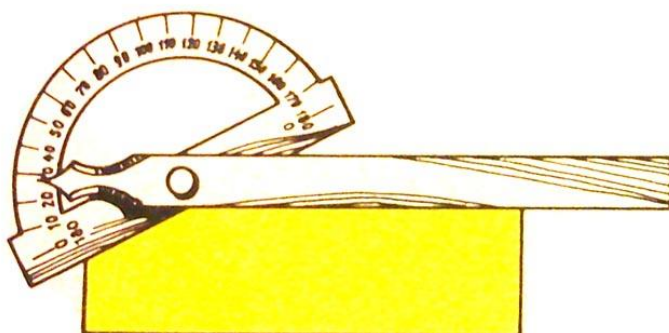
K měření úhlů se používá pevných úhloměrů, tzv. úhlových měrek, jako je příložný úhelník, nebo přestavitelných úhelníků, jako je např. pokosný úhelník – pokosník.

### Postup při měření úhlů

Velikost rozdílu směru mezi dvěma sousedními rovnými povrchy součásti nebo mezi dvěma rovnými hranami součásti, tj. jeho úhlová míra, se měří tak, že se porovnává s měrnou jednotkou pro úhel, kterou je  $1^\circ$  (jeden stupeň).

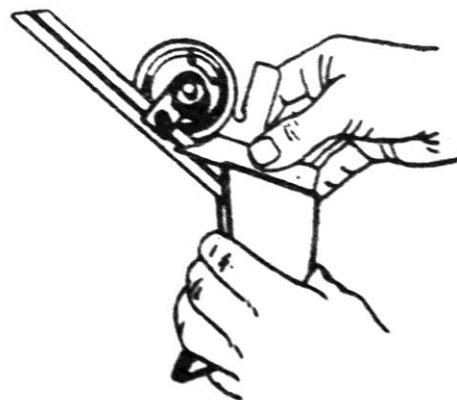
K tomu se přesně opracované plochy otočných ramen úhloměru přiloží na příslušné plochy nebo hrany součásti.

## Základy správného měření



Obrázek 9 – Přikládání dílenského úhломěru

Na úhломěru se měřená velikost následně odečte na dílcové stupnici – úhlové stupnici – rozdělené na 180 dílců (stupňů).



Obrázek 10 – Přikládání univerzálního úhломěru

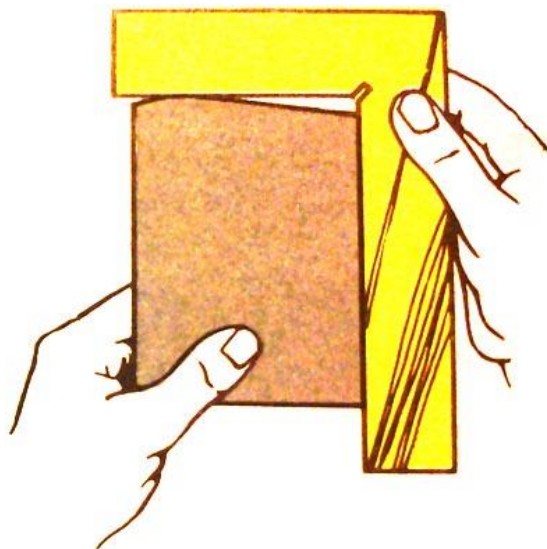
Měření úhlů se velmi zjednoduší, použijeme-li místo stavitelných úhломěrů pevných úhlových měrek.

To je často možné, protože určité úhly, např.  $45^\circ$  nebo  $90^\circ$ , se na součástkách mnohokrát vyskytují opakovaně, takže se zhotovení přesných měrek vyplatí. Úhlové měrky se pak k měřeným plochám jednoduše přiloží. Přitom se součást a měrka obrátí proti světlu tak, aby se dobře vidělo, zda se úhly obou shodují. Shodují-li se úhly, nesmí mezi styčnými plochami součásti a měrky procházet žádné světlo (způsob na průsvit světelné šterbiny); v opačném případě se musí součást opravit.

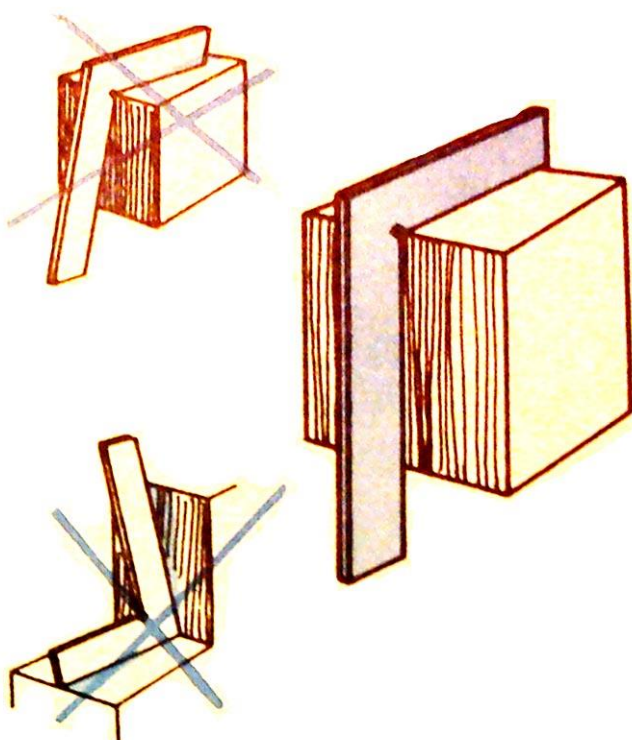


## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Základy správného měření



Obrázek 11 – Přikládání úhelníku



Obrázek 12 – Chyby při přikládání úhelníků

## Základy správného měření

### Zacházení s měřidly

Přesná měřidla jsou velmi citlivá, a proto je nutno s nimi zvlášť pozorně a pečlivě zacházet. Při měření je třeba dbát, aby opotřebení měřicích ploch bylo co nejmenší.

Měřidla musíme chránit před nárazem, pádem, poškrábáním, korozí a znečištěním. Proto neodkládáme nikdy měřidla na stroj nebo pracovní stůl mezi ostatní nářadí, avšak na zvláštní dřevěnou podložku nebo alespoň na kus hadříku.

Po použití je nutné měřidla náležitě očistit, a pokud se dále již nebudou delší dobu používat, je nutné je nakonzervovat. Lidský pot je natolik agresivní, že v místě styku s pokožkou vzniknou po čase korozní skvrny. Měřidla ukládaná ve zvláštních kazetách se musí vždy po použití opět do těchto kazet nakonzervovaná uložit.

**Není povoleno vzpříčená nebo jinak uvázlá měřidla vyrážet kladivem nebo jiným násilným způsobem.**

Nejvhodnější postup v uvedených případech je vyjmutí mírným tlakem pod ručním lisem s pomocí dřevěného špalíku, nebo zahřátí měřeného předmětu.

Měřidla musí být uložena tak, aby byla chráněna před vlivy prostředí a před mechanickým poškozením. Nesmí se ukládat na sebe broušenými plochami, protože se mohou mechanicky poškodit a i na konzervovaných plochách tak mohou vznikat korozní skvrny.

### Udržování měřidel

Měřidla používaná jak při výrobě, tak při kontrole výrobků musí být validní. Protože se mohou poškodit a časem se opotřebovávají, musí se kontrolovat. Kontrola je předepsána vnitřním předpisem firmy a je zaznamenána do provozního listu měřidla společně s vylepenou známkou doby doporučeného používání. Po uplynutí této doby nebo náhodným poškozením je nutné měřidlo opět zkontrolovat. Kontrolu měřidel provádí certifikovaná firma, laboratoř nebo speciální pracoviště.

Lze uvést, že kontrolu lze provádět:

- *stále* (měřidla se kontrolují při každém navrácení z provozu-dílny. Tento způsob je sice spolehlivý, ale velice nákladný. Vhodný je pouze pro sériovou výrobu přesných výrobků),
- *periodicky* (veškerá měřidla se po určité době zkontrolují a o výsledku se sepiše protokol. Tato kontrola je poměrně levná a spolehlivá),
- *namátkově* (měřidla se kontrolují namátkově, přímo ve výrobě, a to hlavně přesná měřidla. Tato kontrola je vlastně doplňkem periodické kontroly).

Měřidla, na nichž se při kontrole zjistily nepřesnosti nebo jiné závady, se musí ihned vyřadit z provozu a je-li to možné, opravit.

**Nesmí se používat měřidla, na kterých byly zjištěny vady nebo opotřebení.**



## Základy správného měření



Obrázek 13 - Špatně ošetřovaný úhloměr



### KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Vyjmenujte některé z vybraných pojmů a vysvětlete je.
2. Uvedte zásady výběru měřicích prostředků.
3. Vyjmenujte, čím se úhly měří, kontrolují a vypočítávají.
4. Vyjmenujte úhlové jednotky používané v technické praxi.
5. Svými slovy vysvětlete jak správně postupovat při měření.
6. Vysvětlete, jakým způsobem se s měřidly zacházet nesmí.
7. Uvedte, jaká měřidla se nesmí používat.

## Bezpečnostní ustanovení

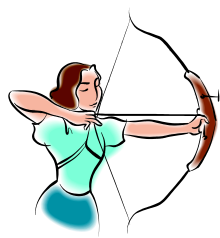
### 4 Bezpečnostní ustanovení



#### CÍLE

Po prostudování této kapitoly byste měli být schopni:

- formulovat „provozní řád“ v technickém měření,
- popsat pokyny a ustanovení nutná při technickém měření,
- zdůvodnit nejčastější příčiny pracovních úrazů či nepřesnosti měření,
- vyjmenovat povinnosti pracovníka při měření,
- vysvětlit hygienu a péči o zdraví,
- vysvětlit pojem „certifikace“.



#### PRŮVODCE STUDIEM

Péče o bezpečnost a ochranu zdraví při práci je ukotvena v ústavě ČR. Je to jedna ze základních zásad práva na zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a je popsána v zákoníku práce. Každý žák (pracovník) musí dodržovat dané pokyny pro vykonávanou práci. Nedodržování bezpečnostních předpisů, lehkomyšlnost a lajdáctví vede k velmi těžkým úrazům a tím i k nevratnému poškození vlastního zdraví, ale i zdraví kolegů (spolužáků). Další důležitou úlohou při práci je dodržování pravidel a zásad při práci s měřidly a přístroji k měření určenými.

## Bezpečnostní ustanovení

Podle § 58 odst. 8 zákona č. 561/2004 Sb., o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání (školský zákon) platí, že vláda stanoví nařízením obory vzdělání, v nichž lze dosáhnout středního vzdělání, středního vzdělání s výučním listem a středního vzdělání s maturitní zkouškou, jejich návaznost na učební a studijní obory podle předchozích právních předpisů a počet žáků ve skupině na jednoho učitele odborného výcviku.

Podle vyhlášky č. 13/2005 Sb., o středním vzdělávání a vzdělávání v konzervatoři platí, že nejnížší počet žáků ve škole s plným počtem ročníků je 60. Ve školách s oborem vzdělání, v němž je jako součást přijímacího řízení stanovena rámcovým vzdělávacím programem talentová zkouška, může být nejnížší počet žáků ve škole 30. Na tyto školy se nevztahuje ustanovení § 2 odst. 3

Při stanovení počtu a velikosti skupin je ředitel školy povinen zohlednit:

- požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví žáků,
- didaktickou a metodickou náročnost předmětu,
- specifika žáků se speciálními vzdělávacími potřebami a žáků nadaných,
- charakter osvojovaných vědomostí a dovedností,
- požadavky na prostorové a materiální zabezpečení výuky stanovené rámcovým vzdělávacím programem,
- efektivitu vzdělávacího procesu z hlediska stanovených cílů vzdělávání i z hlediska ekonomického.

Nejvyšší počet žáků ve skupině na jednoho učitele odborného výcviku je stanoven zvláštním právním předpisem vyhláškou č. 689/2004 Sb., o soustavě oborů vzdělání v základním, středním a vyšším odborném vzdělávání, ve znění pozdějších předpisů. Výuka se organizuje tak, aby vznikl co nejmenší počet skupin při dodržení výše uvedených zásad, přičemž je možné využívat i spojování výuky pro žáky více tříd, případně ročníků.

## Bezpečnostní ustanovení

### Všeobecná bezpečnostní pravidla

- 1) Za obecné dodržování předpisů BOZ, požárních, hygienických předpisů, správné uchovávání přístrojového vybavení v laboratoři odpovídá správce laboratoře, v případě výuky studentů (laboratorní cvičení) pak bezpečnost práce během výuky zajišťuje pověřený učitel (vedoucí laboratorní práce). Ostatní pracovníci a jiné osoby jsou povinni dodržovat jeho pokyny.
- 2) Povinností všech pracovníků je hlásit bez prodlení správci laboratoře veškeré závady na zařízení a zejména veškerá drobná poranění či nevolnosti a všechny jiné mimořádné události vzniklé během práce v laboratoři. Správce laboratoře je povinen zaznamenávat tyto nehody či úrazy do evidovaného sešitu (na sekretariátu), v případě nehody vyplnit zvláštní formulář a hlásit nehodu vedoucímu školy nebo jeho zástupci.
- 3) V laboratořích platí zákaz jídla, pití a kouření.
- 4) Při práci v laboratoři musí pracovníci používat vhodné pracovní pomůcky v závislosti na charakteru prováděných prací.
- 5) Pokud student případně jiný pracovník porušuje bezpečnostní předpisy, je správce laboratoře v případě, že nepomůže domluva, povinen hlásit tuto skutečnost vedoucímu školy.
- 6) Při odchodu z laboratoře musí být tato v takovém stavu, aby nemohlo dojít k jejímu poškození v době nepřítomnosti pracovníků. To znamená, že každý pracovník je před odchodem povinen ukončit či přerušit své pokusy tak, aby zůstaly v bezpečném stavu a dále je povinen vypnout všechny přístroje, jejichž provozní podmínky to dovolují, odpojit od energií, které používal. Poslední odcházející pracovník je povinen zkontrolovat vypnutí všech elektrických přístrojů a spotřebičů, jejichž provozní podmínky to dovolují, provést kontrolu uzavření všech přívodů energií a vody, případně uzavřít okna a místnost zavřít.
- 7) Studenti mohou pracovat v laboratořích v rámci laboratorních cvičení, kdy za dodržování bezpečnostních zásad odpovídá pověřený učitel (vedoucí laboratorní práce).
- 8) Studenti smí provádět pouze laboratorní experimenty nařízené či schválené pověřeným učitelem (vedoucím laboratorní práce či školitelem), jiné laboratorní pokusy jsou nepřípustné.
- 9) Pověřený učitel (vedoucí laboratorní práce) může při opakovaném nedodržování bezpečnostních pokynů a pravidel vykázat studenta z laboratoře. Tuto skutečnost pak ohlásí vedoucímu školy.

Bezpečnostní pravidla tak na konkrétní škole schvaluje ŘŠ, nejčastěji formulovaná v „Provozním řádu laboratoří“. Jedna z možností je uvedena v následujících řádcích textu.

## Bezpečnostní ustanovení

Vyšší odborná škola, Střední odborná škola a Střední odborné učiliště, Kopřivnice, příspěvková organizace	
<b>Řády</b>	<b>Provozní řád VOŠ a SOŠ</b>
Oblast: Provozní	Zaměření: Učebny strojních laboratoří
Účinnost od: 1. 9. 2013	Skartační znak: A 10
Vyhotovil: Ing. Vlastimil Hořák	Schválil: Mgr. Jan Pavelka

### Provozní řád učeben strojních laboratoří

1. Žáci a studenti jsou povinni dostavit se do laboratoře včas.
2. Všichni žáci i studenti si do laboratoře berou tyto pomůcky: sešit na teorii, pracovní sešit, psací a kreslicí pomůcky, tiskopisy pro vypracování zpráv, kreslicí, pauzovací a milimetrový papír, výpočetní pomůcky. Ostatní věci si ponechají na místě k tomu určeném.
3. Každá pracovní skupina musí mít nejméně jednu učebnici a jedny strojnické tabulky. Na teoretické hodiny nosí učebnici všichni žáci a studenti.
4. Všichni členové pracovní skupiny jsou povinni setrvávat na pracovišti, které je jim přiděleno.
5. Všichni žáci a studenti jsou povinni dodržovat bezpečnostní předpisy pro práci ve strojní laboratoři. Zodpovídá vždy vedoucí skupiny.
6. Před započítím práce si vedoucí skupiny zkontroluje, zda přidělené měřicí zařízení je úplné a v pořádku. Zjištěné nedostatky nahlásí vyučujícímu.
7. Měřicí přístroje a zařízení je třeba před započítím práce odkonzervovat, po skončení měření vytřít do sucha a opět nakonzervovat.
8. Každou závadu nebo poškození přístroje či zařízení je třeba ihned ohlásit vyučujícímu. Zaviněná poškození nebo zničení přístrojů jednotlivců nebo skupina v plné výši uhradí.
9. Není dovoleno používání a manipulace s jinými přístroji a zařízením, než které byly pracovní skupině přiděleny.
10. V laboratoři se při hodinách měření pracuje bez přestávky, při hodinách teorie se dělají přestávky podle potřeby.
11. Během přestávky se v laboratoři nikdo nezdržuje. Týká se také jiných zde vyučovaných předmětů než těch, pro které je laboratoř primárně určená.

## Bezpečnostní ustanovení

12. Mimo přestávku z laboratoře nikdo neodchází s výjimkou skupin, které provádějí měření jinde než v laboratoři.
13. Do laboratoře je zakázáno přinášet a konzumovat jakékoliv potraviny.
14. Každá skupina je povinna před odchodem z laboratoře uvést pracoviště do původního stavu a předat je vyučujícímu.
15. Veškeré naměřené hodnoty musejí mít zapsány v sešitech všichni členové pracovní skupiny.
16. Za zadaných měření je třeba vypracovat zprávu o měření na předepsaných tiskopisech a v předepsané úpravě. Z ostatních měření se zpráva o měření zpracovává do pracovního sešitu. Zprávu je třeba předložit vyučujícímu při následující návštěvě laboratoře.
17. V případě absence jsou žáci a studenti povinni převzít naměřené hodnoty od ostatních členů skupiny a zprávu rovněž odevzdat. Má-li absenci celá pracovní skupina, provede zadané měření v náhradním termínu.
18. Přejde-li celá skupina na předem zadané měření nepřipravena, provede měření v náhradním termínu, který určí vyučující.
19. Žáci a studenti, kteří opakovaně nebo hrubě poruší laboratorní řád nebo bezpečnostní předpisy, budou z laboratoře vykázáni vyučujícím nebo správcem laboratoře. Celé měření si nahradí v novém termínu.
20. Žáci a studenti, kteří mají do strojní laboratoře přiděleny jiné vyučovací hodiny než hodiny technických měření, jsou povinni dodržovat všechna obecná ustanovení řádu.
21. Všem žákům a studentům je přísně zakázáno manipulovat s nainstalovanou výpočetní technikou.

## Bezpečnostní ustanovení

### Bezpečnostní ustanovení pro strojní laboratoře

#### 1. Bezpečnost při obsluze mechanických rotujících zařízení:

- při práci je třeba používat upnutý oděv,
- není dovoleno mít na ruku náramky, prsteny, na krku řetízky apod.,
- dlouhé vlasy je třeba zakrýt vhodnou pokrývkou hlavy.

#### 2. Bezpečnost při práci s chemikáliemi:

- je třeba používat vhodný oděv, chránící co největší část těla - doporučuje se pracovní plášť,
- při práci je třeba používat ochranné gumové rukavice, na obličej ochranný plexi-štít,
- při zasažení pokožky chemikálií neprodleně poskytnout první pomoc důkladným omýváním vodou a úraz ihned ohlásit vyučujícímu.

#### 3. Bezpečnost při obsluze elektrických zařízení:

- zapojení je třeba provést podle schématu bez připojení k síti - toto provést až po překontrolování vyučujícím,
- zapínání a vypínání proudu provádí zásadně jediný člen pracovní skupiny, zpravidla vedoucí - není-li tento z nějakého důvodu schopen uvedenou činnost vykonávat, je povinen ohlásit to vyučujícímu,
- při obsluze elektrického zařízení je třeba mít dlouhé upnuté rukávy, na ruku není dovoleno mít kovové náramky a prsteny, na krku kovové řetízky,
- je třeba znát umístění hlavního vypínače,
- na pracoviště nemají přístup členové jiných pracovních skupin,
- v případě úrazu elektrickým proudem je třeba postiženého neprodleně vyprostit z dosahu proudu, ihned poskytnout první pomoc umělým dýcháním, případně i nepřímou srdeční masáží a ihned přivolat vyučujícího.

#### 4. Požární bezpečnost:

Pro případ požáru je k dispozici sněhový hasicí přístroj, jímž lze hasit všechny hořlaviny, které se v laboratoři nacházejí - přístroj je umístěn v chodbě laboratoře.

V Kopřivnici 30. 8. 2013

Mgr. Jan Pavelka

ředitel školy



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Bezpečnostní ustanovení

#### Certifikace

Měřidla používaná ve strojírenství pro měření v laboratořích, provozech nebo dílnách, jsou vyráběny podle schváleného typu. Toto schvalování provádí Český metrologický institut (ČMI). Na základě zkoušek a dalších zjišťovaných parametrů ČMI vydá certifikát, že měřidlo jako typ schvaluje a přidělí mu značku schválení typu, kterou musí výrobce umístit na měřidlo.

Platnost certifikátu se pozastavuje, jestliže změnou konstrukce měřidla, použitého materiálu nebo technologie výroby, byly ovlivněny vlastnosti rozhodné pro jeho schválení. ČMI může platnost certifikátu o schválení typu měřidla pozastavit i sám, jestliže vyráběná měřidla neodpovídají schválenému typu.

Mnoho výrobců měřidel proto do své struktury zapracovalo některý ze systémů řízení jakosti výroby, aby usnadnilo certifikaci svých výrobků. Pro tyto systémy jsou také zavedeny certifikace, které se však ověřují jiným způsobem a s vhodností měřidel k jejich používání nemají mnoho společného.

Měřidla, která mají původ ve státech Evropské unie, se považují za měřidla, jejichž typ byl schválen podle tohoto zákona, pokud jsou označena značkami platnými v EU a jsou stanoveny vyhláškou ministerstva.



Obrázek 14 – Certifikát výrobce měřidel z EU

CERTIFICATE OF INSPECTION / 検査成績書				発行No./Issue No. 4104399504	
Product name/品名	Digimatic Caliper/デジマチックキリヤ	(1) Inspection result/検査結果	Measuring length/測定長	Permissible values/許容値	error/誤差
Model No./符号	CD-15CPX		φ4	0.01	-0.02
Code No./コードNo.	500-181-20		0	-0.03	---
Serial No./製造No.	12284240		Unit : mm	±0.02	0.00
Measuring range/測定範囲	0-150mm		100	---	-0.01
Minimum indication/最小表示量	0.01mm		150	0.01	-0.01
Standard Temperature/標準温度	20°C		200	---	-0.01
QC Manager	T.Suzuki		φ0.16	0.0005	---
			0	-0.0015	---
Inspection standard : Mitutoyo standard			Unit : inch	---	---
Based on : JIS B7507/1993 DIN 862/1988			2	---	---
Traceable to : NIM/JAIST by JCSS No.0030, NIST via 621/276375-08,			Unit : inch	±0.0010	---
PTB via 4937 PTB 06			6	---	---
			8	---	---
Mitutoyo Corporation		(2) Judgment/判定 : Passed/合格		---	---
				---	---

Obrázek 15 – Certifikát výrobce měřidel mimo EU



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Bezpečnostní ustanovení

Přístrojové vybavení musí trvale splňovat všechny parametry požadované při akreditaci. Norma ČSN EN 45001 předepisuje povinnost pravidelné údržby a současně podrobnou evidenci všech měřidel s uvedením základních dat, oprav, kalibrací, ověření atd. Veškerá činnost v oblasti přístrojového vybavení musí být v souladu se zněním zákona č.119/2000Sb. – o metrologii a příslušných dalších ustanovení.

Ověřování a kalibrace měřidel je zjišťování a potvrzování, že dané měřidlo má požadované metrologické vlastnosti (postup ověřování stanovených měřidel stanoví ministerstvo vyhláškou). O ověření stanoveného měřidla vydá ČMI nebo autorizované metrologické středisko ověřovací list nebo opatří měřidlo úřední značkou (náležitosti ověřovacího listu a grafickou podobu úřední značky stanoví ministerstvo vyhláškou).

Obecně řečeno – za kalibraci a ověřování se považuje kontrola měřidla, zda měřidlo při používání zobrazuje skutečné hodnoty, které přesně vypovídají o měřeném vzorku.



**M & B Calibr**  
IVANČICE  
Akreditovaná kalibrační laboratoř

M & B Calibr, spol. s r.o.  
66491 Ivančice, Němčice  
mbcalibr@mbcalibr.cz  
Kalibrační laboratoř č. 2301 akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.

Ke Karlovu 62/10  
tel. fax: 546 451 998  
www.mbcalibr.cz

ilac-MRA  
K 2301

**KALIBRAČNÍ LIST č. 14064/14**  
Datum vystavení 15.04.2014

**Zákazník:** Unikov, spol. s r.o.  
Černomořská 6/645, 101 00 Praha 10

Dále uvedené výsledky se týkají měřidla : Úhloměr  
Typ: s lupou  
Výrobce: MITUTOYO  
Výrobní / identifikační č.: 141304 // -  
Rozsah / dělení stupnice: 0-360° // 5'

Podmínky kalibrace :  
Kalibrační postup: KP D12.  
Použitý etalon : Soutadnicový měřicí stroj CRYSTA PLUS M574, ME D15, KL č. 18630/12.  
Teplota vzduchu v laboratoři: (20,0 ± 0,5) °C  
Relativní vlhkost: 50 % RH ± 10 % RH

Výsledky měření :

Jmenovitý rozměr	45°	90°	135°	90°
Naměřená hodnota	44°57'	89°59'	135°02'	89°59'

Nejistota měření:  
 $U = 1,8'$

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozhraní odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA4/02

Měřidlo bylo opatřeno štítkem s datem provedení kalibrace.

Datum kalibrace: 15.04.2014

Měření provedl : Zdeněk Mucha ml.

Kalibrační list nesmí být rozmnožován bez písemného souhlasu laboratoře, která jej vystavila, jinak než celý. Výsledky se týkají pouze uvedeného měřidla a vztahují se k místu provedených měření.

Strana 1 / celkový počet stran 1

Obrázek 16 – Příklad kalibračního listu vydávaného v České republice

Při kalibracích musí být respektována návaznost na státní (mezinárodní) etalony příslušné veličiny. Referenční materiály, které jsou v metrologické laboratoři, musí být používány výhradně ke kalibracím (ověřování) a nikoli pro jiné účely. Během kalibrace pracovního měřidla se jeho metrologické vlastnosti porovnávají zpravidla s etalonem. Není-li etalon k dispozici, lze užít certifikovaný nebo ostatní referenční materiál za předpokladu dodržení zásad stanovených schématem návaznosti měřidel.



## Bezpečnostní ustanovení



### KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Vyjmenujte nejčastější příčiny nekvalitního měření.
2. Vyjmenujte zásady provozního řádu.
3. Popište pokyny a ustanovení nutná při technickém měření.
4. Vyjmenujte ochranné pracovní prostředky při měření a práci s měřidly.
5. Svými slovy vysvětlete povinnosti pracovníka při měření.
6. Analyzujte nejčastější příčiny nekvalitní práce a chyb při měření.
7. Vysvětlete význam dodržování zásad správného měření při práci.
8. Vysvětlete pojem „certifikace“.

## Chyby měření

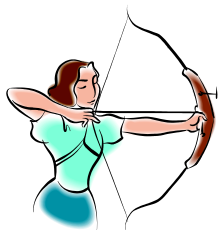
### 5 Chyby měření



#### CÍLE

Po prostudování této kapitoly byste měli být schopni:

- rozlišit základní typy chyb v měření,
- zjistit přesnost měřicího přístroje,
- zdůvodnit nejčastější příčiny chyb,
- identifikovat nejčastější chyby.



#### PRŮVODCE STUDIEM

Péče o správnost - validitu měření je základním znakem všech procesů měření. Je to jedna ze základních zásad správných postupů při měření a posuzování výsledku měření. Každý pracovník (žák) musí dodržovat dané pokyny pro vykonávanou činnost. Nedodržování správných postupů, lehkomyšlnost a lajdáctví vede k systematickým i náhodným chybám, které jsou schopny znehodnotit celý výsledek měřicího procesu. Dodržování pravidel a zásad při práci s měřidly a přístroji k měření určenými je tedy nedílnou součástí pracovní rutiny při měření.



## Chyby měření

### Chyby v měření

Nedokonalostí lidského smyslu, zejména zraku, vznikají při měření osobní chyby. Různí pracovníci například při optickém měření nastavují různě nitkové kříže nebo dvojčáry. U zkušených kontrolorů se tyto chyby projevují jako **chyby systematické**. S těmito chybami se nemusí počítat, pokud celé měření provádí jediný kontrolor. Stejná chyba vzniká i při odhadu zlomků dílů na stupnici. I při dokonalém měření je však třeba vzít v úvahu Nejistotu měření, kterou je však třeba umět vypočítat a uvádí se například v kalibračních listech měřidel.

Rozlišovací mez oka, tj. nejmenší úhlová vzdálenost dvou bodů, které oko ještě rozliší, je jedna úhlová minuta. Při vzdálenosti 250 mm tomu odpovídá lineární vzdálenost 0,07 mm. Při menší vzdálenosti sousední body splývají. Při běžné velikosti dílků stupnice 0,8 až 6 mm je možno odhadnout desetiny dílků. Optimální velikost dílků stupnice je 0,8 až 2,5 mm. Při větší vzdálenosti je odhad desetin méně přesný. Odhad polohy indikátoru je nejpřesnější, jestliže indikátor leží přibližně v polovici dílku. Při odhadu polohy bližší k jedné z rysek stupnice se zpravidla dopouštíme chyby způsobené tloušťkou rysek stupnice. Tento způsob odečítání výsledků měření je vlastní interpolace, realizovaná pozorovatelem.

Jedna z největších osobních chyb je způsobena *Parallaxou*. Ta vzniká tehdy, když jsou rovina měření u kontrolované součástky a rovina stupnice vzdáleny o určitou hodnotu *alfa* a také tehdy, když indikátor nepozorujeme kolmo na rovinu stupnice, ale pod určitým úhlem *fi*. Chyba je dána výrazem  $D = a \cdot \tan \varphi$ .

Čím větší tloušťku má indikátor anebo čím výše je umístěn ukazatel nad stupnicí, tím větší je tato chyba. Možnost vzniku paralaktické chyby při odečítání polohy ručičky lze odstranit použitím zrcadla pod stupnicí přístroje. Na stupnici se pak díváme kolmo jen tehdy, nevidíme-li zrcadlový obraz ručičky.



Obrázek 18 – Vyskoklený pracovník

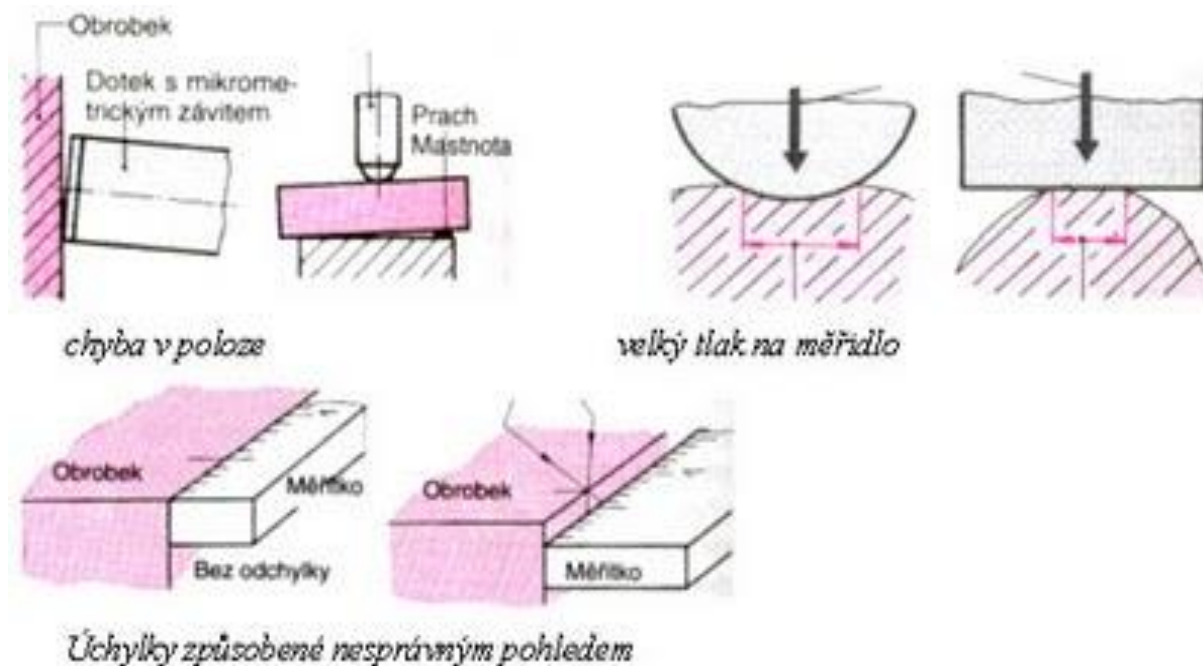
## Chyby měření

### Nejčastější chyby

Výskyt chyb při odečítání hodnot na stupnici je závislý na tvaru stupnice. Malý počet chyb je při měření na pohyblivé stupnici, protože pozorovatel se soustřeďuje stále na jedno místo. Nejmenší výskyt chyb vzniká při odečítání výsledků na číslcových nebo digitálních měřidlech.

Při měření musíme skutečný rozměr zjistit co nejpřesněji, přesto při měření mohou nastat chyby, které mohou mít následující příčiny:

- **Nerovnosti** na měřeném předmětu (obrobku), např. přilnutými třískami, prachem, výronky.
- **Nepřesnosti** měřidla, např. opotřebením, vůlí, otěrem, chybou v rozteči stupnic, úchylkou stoupání šroubů s mikrometrickým závitem.
- **Chyba v poloze** vzniká pootočením měřidla při měření.
- **Úchylky**, které vznikají nadměrným tlakem na měřidlo nebo nevhodnou polohou obrobků při provádění měření, takže dojde k deformaci obrobku nebo měřidla.
- **Chyby způsobené osobami** provádějícími měření v důsledku nedostatečné praxe v měření, nedostatečné ostrosti vidění nebo chyby při odečítání způsobené odchylkou.
- **Vliv tepla** na obrobek nebo měřidlo, např. teplo při obrábění, teplo ruky, teplo při vytápění.



Obrázek 19 – Příklady nejběžnějších chyb při měření

## Chyby měření

### Teplota při měření

Obrobky se při zahřátí roztahují. Součást z oceli o délce 100 mm se roztáhne při teplotním rozdílu 10 °C (10 K) přibližně o 0,01 mm. Dojde se tedy k různým naměřeným hodnotám, když se obrobky měří při různých teplotách, například krátce po obrábění řeznými nástroji nebo až po určité době, když se obrobek zchladil.

Norma uvádí, že měření se musí být provedeno při teplotě 20 °C (293 K).

### Přesnost měřicího přístroje

Přesnost měřidla je jeho schopnost dávat údaje velmi blízké správné hodnotě měřené veličiny. Z hlediska chyb je přesnost měřidla souhrnem vlastností měřidla.

*Absolutní chyba údaje měřicího přístroje* je dána vztahem, kde  $y$  je hodnota naměřená za určitých vztahných podmínek. Absolutní chyba údaje měřicího přístroje je tedy rozdíl mezi naměřenou hodnotou určité veličiny a skutečnou hodnotou veličiny. Je definována matematickým vztahem:

$$\varepsilon = y - x_o$$

Rovnice 7

Kdy  $\varepsilon$  je absolutní chyba,  $y$  je naměřená hodnota a  $x_o$  je skutečná hodnota.

*Poměrná (relativní) chyba údaje měřicího přístroje* je dána poměrem absolutní chyby ke skutečné hodnotě měřené veličiny. Vyjadřuje se obvykle v procentech jako procesní chyba údaje. Je definována matematickým vztahem:

$$\delta = \frac{\varepsilon}{x_o} * 100 \text{ [\%]}$$

Rovnice 8

### Třída přesnosti

Podle největší dovolené poměrné chyby měřicího přístroje se měřicí přístroje zařazují v souladu s ČSN 35 6201 do sedmi tříd přesnosti:

0.1 – 0.2 – 0.5 – 1 – 1.5 – 2.5 – 5

Zařazování měřidel do tříd přesnosti je tedy nutné vždy při stanovování jejich přesnosti před samotným měřením, protože vypočtená třída přesnosti nemusí být vždy dostatečná pro stanovenou kvalitu měření.

## Chyby měření



### KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Vyjmenujte základní typy chyb v měření.
2. Analyzujte, zda jste schopni rozlišit systematické a náhodné chyby.
3. Vyjmenujte teplotní podmínky měření a zdůvodněte je!
4. Svými slovy vysvětlíte pojem „paralaxa“.
5. Analyzujte nejčastější příčiny nekvalitní práce a chyb při měření!
6. Vysvětlíte, jak lze zařadit měřidlo do třídy přesnosti.
7. Vysvětlíte vlastními slovy rozdíl mezi absolutní a relativní chybou.



## Měření úhlů

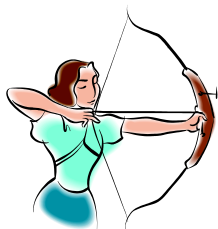
### 6 Měření úhlů



#### CÍLE

Po prostudování této kapitoly byste měli být schopni:

- identifikovat a správně označit úhlová měřidla,
- popsat postup přikládání měřidla při správném měření,
- odečítat hodnoty na úhloměrné stupnici,
- vyjmenovat jednotlivé části úhloměrných měřidel,
- zvolit správnou metodu měření různých úhlů.



#### PRŮVODCE STUDIEM

Měření úhlů lze provádět několika způsoby. Pevná měřidla pro měření jsou velmi často používaná měřidla s různou přesností měření. Užití pevných měřidel, stejně jako použití stavitelných měřidel je svázáno se správným přikládáním k měřenému vzorku. Podobně i odečítání absolutních hodnot na stavitelných měřidlech je třeba provádět odpovídajícím způsobem. Neznalost správných postupů vede k nesprávným výsledkům, které ovlivňují nejenom výsledek laboratorních měření, ale i výsledky a použití konkrétních výrobků. S touto kapitolou spolupracuje prezentace „Nejběžnější měřidla“.

## Měření úhlů

### Měření úhlů a jejich kontrola

Úhly lze měřit přímou, anebo nepřímou metodou. To znamená, že odměříme některé rozměry a z nich pak stanovíme výpočtem velikost v úhlových jednotkách. Měřit lze trigonometrickým nebo goniometrickým způsobem.

Kontrola znamená zjišťování a porovnávání daného úhlu s jeho hodnotou předepsanou technickou dokumentací.

Při použití goniometrických metod porovnáváme měřený úhel s úhlovou stupnicí měřicího přístroje.

Při použití trigonometrické metody měříme délkové rozměry, ze kterých pomocí trigonometrických funkcí vypočítáme kontrolovaný úhel.

### Měření pevnými měřidly

Pevná měřidla jsou šablony o daném úhlu, které přiložíme k měřené součásti a vizuálně porovnáváme.

Šikmé držení úhelníku vede k chybným výsledkům měření.



Obrázek 20 – Příklady správného a špatného držení úhelníku

Kontroly úhelníků lze provádět průsvitem několika způsoby:

- vizuálně pomocí příměrných válců,
- pomocí výkyvných pravítek,
- speciálními přístroji.

Vždy jde o kontrolu velikosti odchylky měřicího ramene úhelníku od jeho jmenovité (přípustné) hodnoty. Všechny kontrolní měřidla (úhlové měrky, koncové měrky, příměrné válce) jsou přesně broušeny a lapovány.

Používají se pro kontrolu kolmosti ploch, nastavení pravých úhlů, orýsování atp. Podle přesnosti se vyrábějí jako:

- |                        |                   |                        |
|------------------------|-------------------|------------------------|
| - nožový               | dovolená odchylka | $\pm d = (2 + 0,1L)$   |
| - normál               | d.o.              | $\pm d = (5 + 0,2L)$   |
| - dílenský úhelník I.  | d.o.              | $\pm d = (10 + 0,05L)$ |
| - dílenský úhelník II. | d.o.              | $\pm d = (20 + 0,1L)$  |

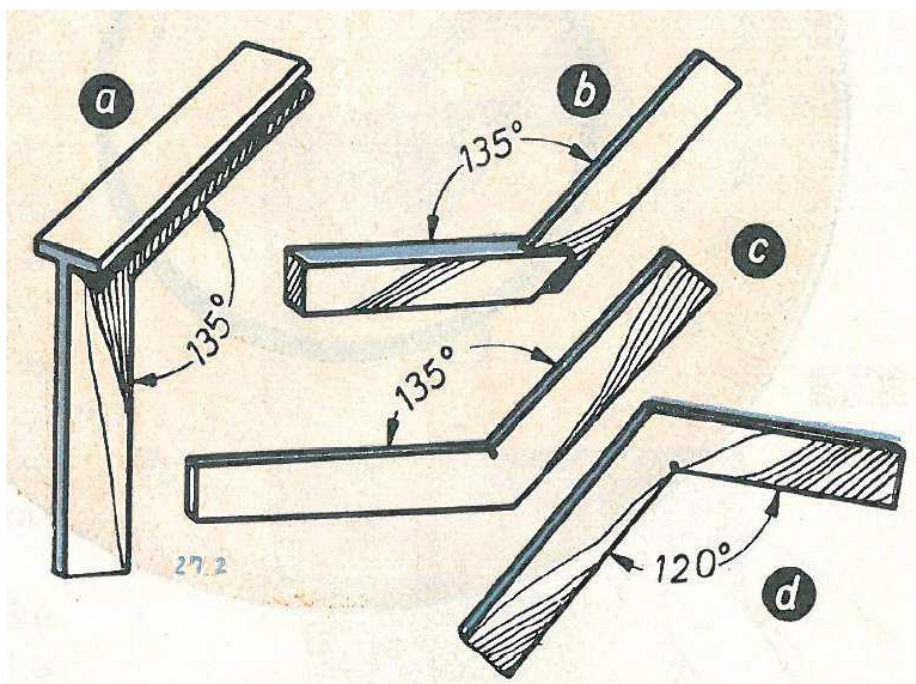
Kdy L je délka delšího ramene úhelníku.

**Pozor: Šikmé držení úhelníku vede k chybným výsledkům měření!**

## Měření úhlů

### Úhelníky

Jsou úhlová měřidla zhmotňující zpravidla úhel  $90^\circ$ , ale vyrábí se s různou velikostí neměnného úhlu. Nožovými úhelníky zjišťujeme pravoúhlost a rovinnost ploch sledováním průsvitu mezi kontrolovaným úhlem a měřidlem. Čím je průsvit rovnoměrnější, tím přesnější je pravoúhlost. Princip měření je u úhelníků stejná bez ohledu na velikost jejich úhlu.



Obrázek 21 – Různé typy úhelníků

### Úhlové měrky

Jsou základem měření úhlů. Konstrukčně jsou to ploché 2 – 16 mm vysoké hranoly z oceli, karbidu wolframu nebo keramiky s jedním nebo několika definovanými úhly. Úhlové měrky se dají nasunout jako rovnoběžné základní měrky. Měřicí plochy jsou rovné a jsou jemně lapovány, takže se při přiložení spojí dvě základní měrky přilnavostí k sobě. Sady úhlových základních měrek jsou vyrobeny podle týchž zásad jako základní měrky délkové, takže libovolný úhel lze sestavit za dvou měrek s odstupňováním po 1 úhlové minutě.

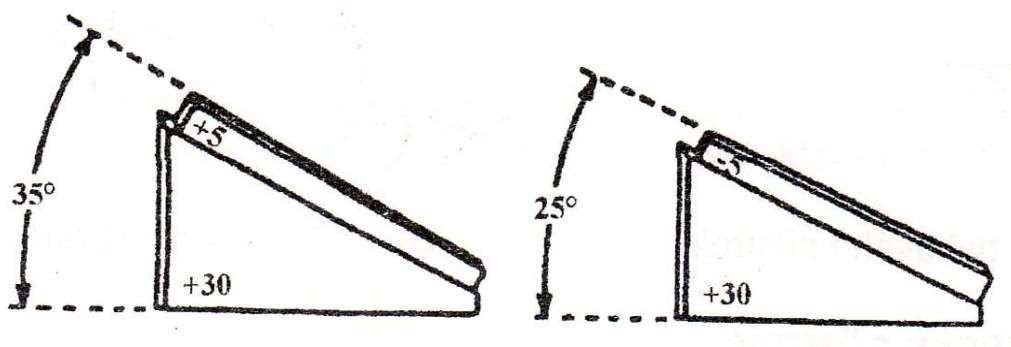
Základní měrky z oceli nemají zůstat delší dobu v přiloženém stavu, protože se tím spojí za studena. Oddělení se musí provádět opatrným odsouváním. Jako ochrana proti opotřebení jsou měřicí plochy u ocelových základních měrek pochromovány natvrdo nebo osazeny tvrdokovem.

Používají se ke kontrole kalibrů, nářadí a obrobků, k nastavování strojů a zařízení, k orýsování a pro dílčí práce.

## Měření úhlů

Velká sada sestává ze:

6 základních měrek s hodnotou 1, 3, 5, 15, 30, 45 úhlových stupňů,  
5 základních měrek s hodnotou 1, 3, 5, 20, 30 úhlových minut,  
5 základních měrek s hodnotou 1, 3, 5, 20, 30 úhlových vteřin,  
měřicí rozsah 0° až 90° postupně po 1".



Obrázek 22 – Skládání úhlových měrek

Sady základních úhlových měrek se vyrábějí o rozsahu 7, 36 nebo 94 kusů.



Obrázek 24- Sada úhlových měrek



Obrázek 23 – Sada úhlových měrek a klínů



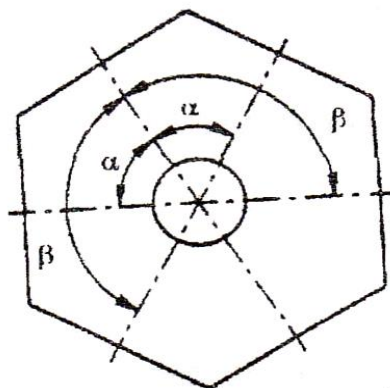
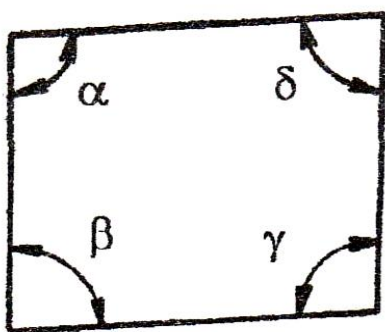
## Měření úhlů

### Optické polygony

Jsou mnohaboké hranoly s definovanými úhly. Funkční plochy polygonu jsou hladce opracovány. Je možno uvažovat úhly mezi bočními stěnami nebo mezi normálami k těmto rovinám. Polygony představují určitý druh přesného dělení kruhu. Přívlasek optický zdůrazňuje fakt, že funkční plochy polygonu působí jako zrcadla a používají se na měření úhlů optickými přístroji. K přesnému stanovení skutečných úhlů stačí měřit jen malé úhlové rozdíly, např. interferencí, autokolimátorem atp.

Vyráběny jsou z oceli, skla, křemene. Podle tvaru se dělí na:

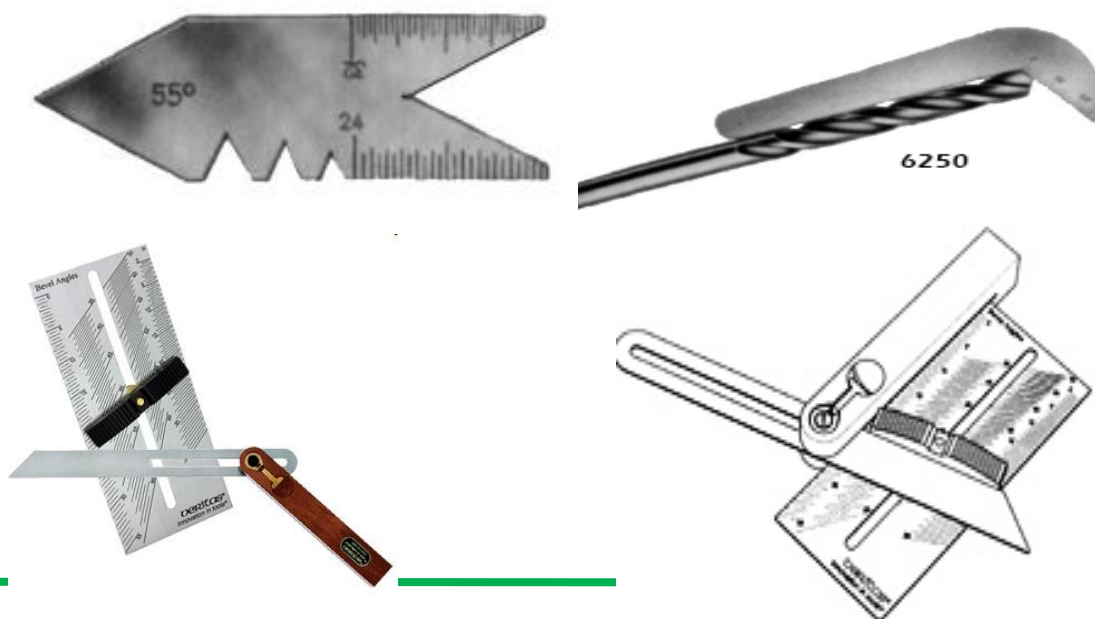
- symetrické,
- nesymetrické.



Obrázek 25 – Optické polygony

### Úhlové šablony

Jsou určeny pro speciální měření a kontrolu (např. závitů, rybin, úkosů, geometrie nástrojů). Patří zde průsvitné šablony, závitové měrky, okuláry mikroskopů s vynesnými úhly atd.



## Měření úhlů

Obrázek 26 – Nejběžnější typy úhlových šablon

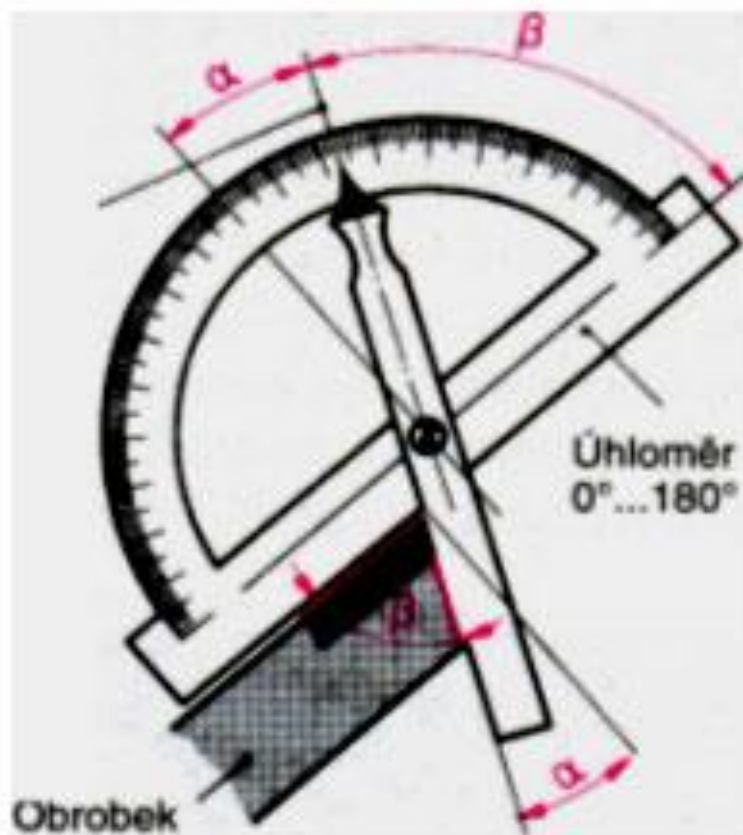
### Měření nastavitelnými měřidly

Nastavitelná měřidla jsou úhломěry, jimiž měříme velikost úhlů. Každý úhloměr se skládá z pevné a pohyblivé měřicí části. Hlavní kruhová stupnice je rozdělena na 2 nebo 4 kvadranty (o  $90^\circ$ ) a odečítáme na ní celé stupně o hodnotě, kterou určuje nulová čárka pomocné noniové stupnice.

### Úhlooměry

Jsou jednoduché, velmi rozšířené měřicí prostředky pro nastavování a orýsování úhlů. Jejich konstrukční provedení je několikerého typu:

- Mechanické úhlooměry mají limbus kovový, odečítání hodnot se děje na noniově dílcové stupnici.
- Optické úhlooměry mají skleněnou stupnici v tělese úhlooměru a odečítání se děje malým mikroskopem (lupou) s hodnotou nejmenšího dílku  $5'$ .
- Elektronické úhlooměry (úhloměrné převodníky) které elektromechanicky, magneticky atp. převádí údaj o poloze kódovaného kruhu na analogový nebo digitální údaj v jednotkách rovinného úhlu.



Obrázek 27 – Příklad jednoduchého úhlooměru



## Měření úhlů

### Základní části úhломěru

#### Jednoduchý úhломěr

Je složen z pevného pravítka se základní stupnicí (limbus) a otočného ramene. Měření je jednoduché a celý úhломěr je robustní. Na **jednoduchém úhломěru** (*měřícím ve stupních*) je měřicí rameno ve tvaru šipky nastavitelné na stupňové dělení od  $0^\circ$  do  $180^\circ$  (*obloukový úhломěr*). Základní stupnice ale nedovoluje měření přesnější než 1 stupeň, což postačuje pro základní dílenské práce.

Přesnější měřidla jsou proto složitější, i když jsou konstruovány na stejném principu.



Obrázek 28 – Detail limbu a měřicího ramena jednoduchého úhломěru

Na obrázku 28 je zobrazovaná absolutní hodnota úhlu na stupnici limbu v hodnotě 25 a půl stupně, přitom přesnost pod hodnotou jednoho stupně je přisuzována odhadem pracovníka.

## Měření úhlů

### Příklad měření úhlových hodnot:

Pro jednoduchý příklad úhlových měření byl zvolen vzorek (obr. 29) stejný pro několik úhlových měřidel. Měřený úhel je graficky zvýrazněn.

Jako první měřidlo bylo použito základní dílenské měřidlo – dílenský úhloměr. V uváděném příkladu je vybrán úmyslně takový úhloměr, který by se v dílenské praxi už používat neměl, protože jeho údržba byla evidentně zcela zanedbána. Jestli bylo měřidlo někdy kontrolováno, není zřejmé, ale nelze ani předpokládat, že měřidlo v tomto stavu by mohlo úspěšně kontrolou projít.

Aplikovaný postup měření přímou absolutní metodou je zachycen na obr. 30.



Obrázek 29 - Vzorek



Obrázek 30 - Měření vzorku dílenským úhloměrem

## Měření úhlů

Po správném přiložení pevného i pohyblivého ramene byla ramena aretována, aby bylo možno odečíst naměřenou úhlovou hodnotu. Při odečítání, zachyceném na obr. 31, je možno odečíst hodnotu ostrého úhlu o velikosti 21 úhlového stupně a ještě něco navíc. Přesnější odečet použité měřidlo neumožňuje.



Obrázek 31 - Čtení hodnoty na stupnici úhloměru

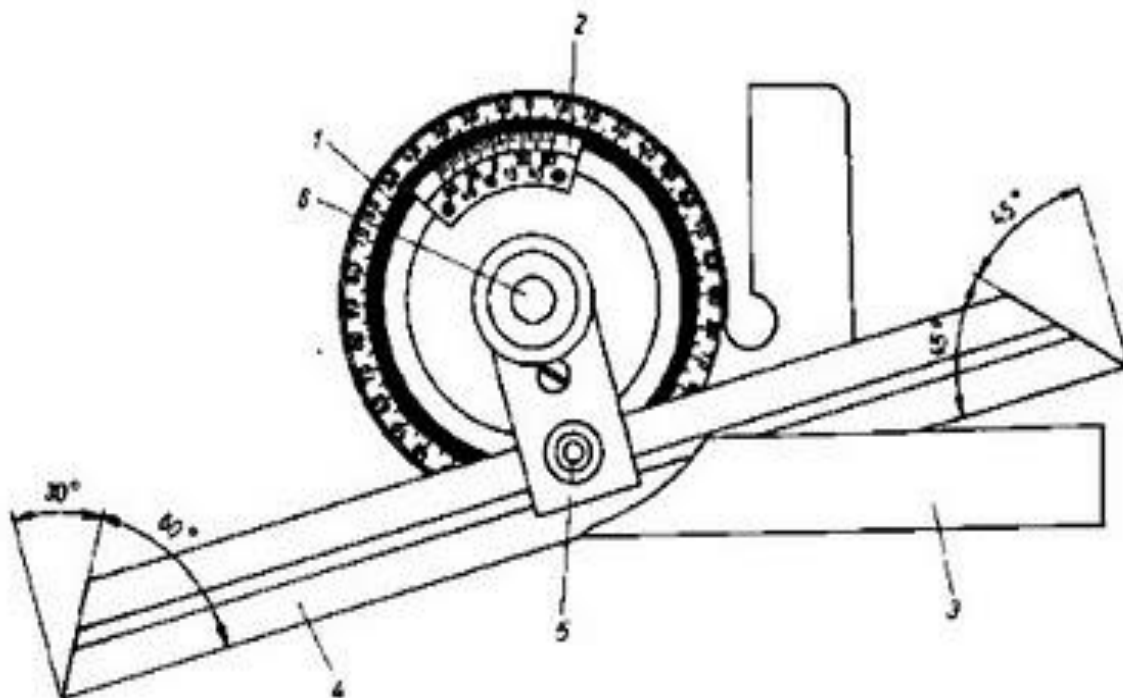
Pro přesnější měření je tedy nutno použít jiný typ úhloměru nebo jiný způsob měření úhlů.

## Měření úhlů

### Klasický univerzální úhloměr

Pojmenování jednotlivých dílů:

- 1- základní (úhlová) stupnice
- 2- nonius
- 3- pevné rameno (pevné pravítko)
- 4- pohyblivé rameno (otočné pravítko)
- 5- zajišťovací šroub
- 6- hlavní šroub



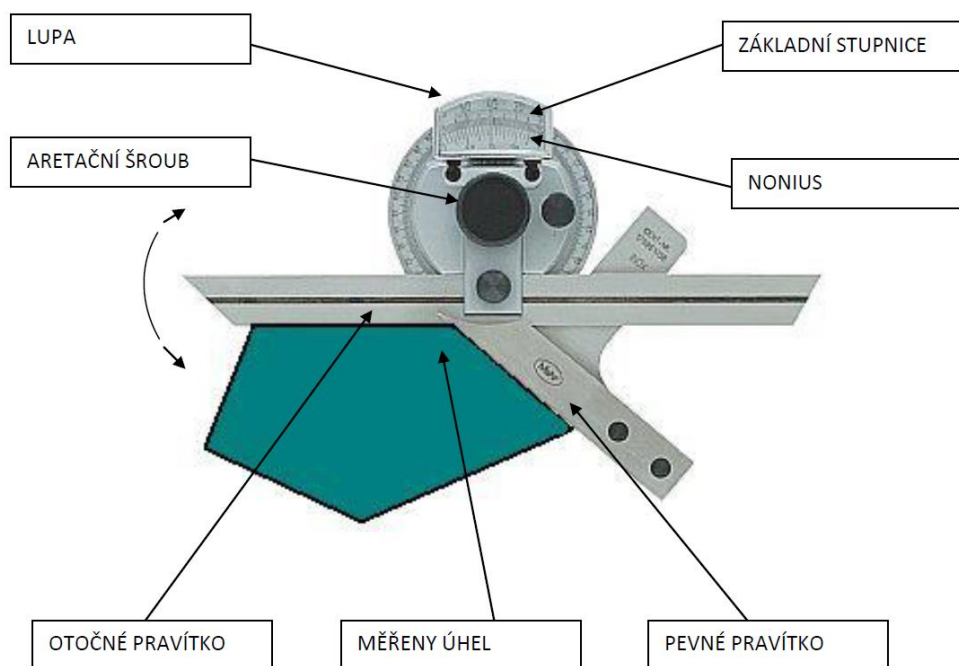
Obrázek 32 – Části univerzálního úhloměru

Úhloměr je složen z pevného pravítka se základní stupnicí ve stupních a otočného pravítka s noniem. Pomocí nonia lze odečítat hodnotu měřeného úhlu po pěti minutách. 1 dílek na noniu představuje 5'. Součást s měřeným úhlem se sevře mezi pevné a otočné pravítko a poloha pravítek se v této poloze zafixuje aretačním šroubem.



## Měření úhlů

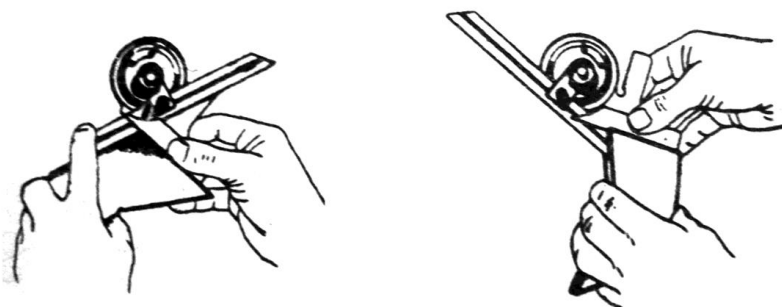
Pro snadnější čtení ze stupnic může být úhloměr opatřen lupou nebo jiným optickým zvětšením dílcové stupnice. V tomto případě je měřidlo označováno jako **optický úhloměr** nebo **úhloměr s lupou**.



Obrázek 33 – Popis optického úhloměru

### Způsob měření úhloměrem

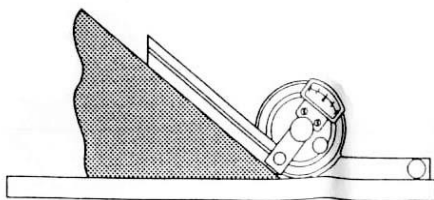
Měřenou součást přiložíme k oběma ramenům úhloměru tak, aby seděl přesně po celé délce měřených ploch. Nejprve se přesvědčíme na průsvitu, že obě ramena úhloměru lícují přesně s měřenou součástí, a pak odečteme na stupnici úhlovou hodnotu.



Obrázek 34 – Přikládání optického úhloměru

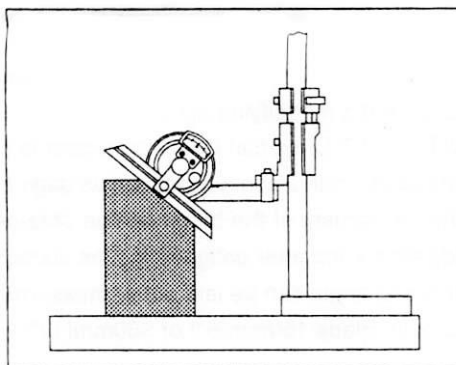
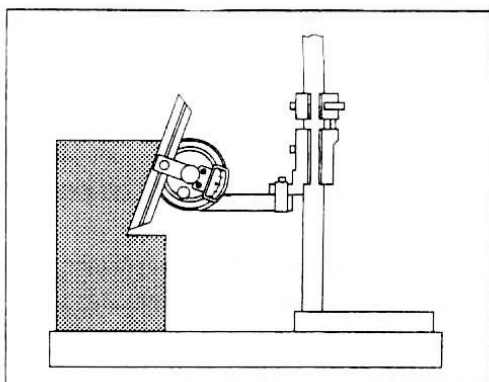
## Měření úhlů

Pozic, ve kterých lze úhломěrem měřit, je celá řada.



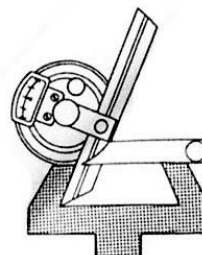
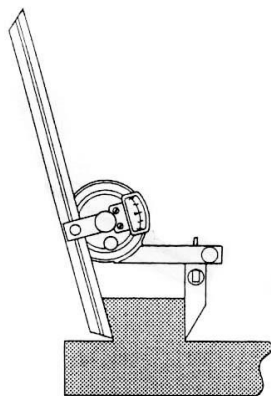
Obrázek 35 – Měření na příměrné desce nebo stole

Úhломěr lze uplatnit i jako stacionární měřidlo.



Obrázek 36 – Měření na příměrném stole úhломěrem upevněným na stojanu

Úhломěr lze také doplnit pomocným ramenem.



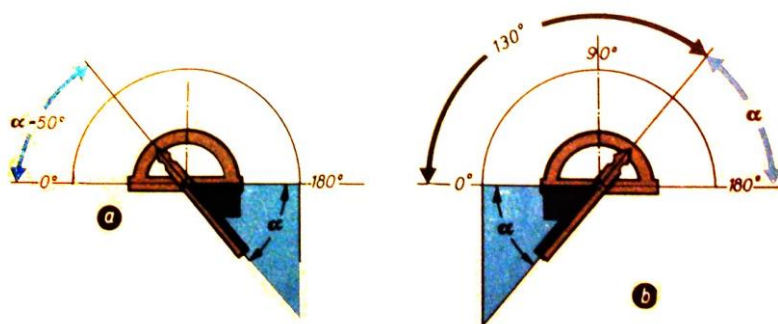
Obrázek 37 – Měření úhlů na vnějších a vnitřních plochách



## Měření úhlů

### Odečítání úhlových hodnot

V první řadě je třeba si uvědomit, ve kterém kvadrantu úhel měříme. Na obrázku je patrný rozdíl měření, kdy v obou případech je velikost měřeného úhlu  $50^\circ$ .



Obrázek 38 – Doplnkové úhly

Pravidlo pro odečítání:

Na hlavní stupnici se odečítají celé stupně vždy podle nastavení od  $0^\circ$  nebo  $90^\circ$  až k nulové rysce úhlového nonia. Potom se na noniu pokračuje ve stejném směru a hledá se ryska, hlavní stupnice, která se kryje s ryskou dílky úhlového nonia.

Odpovídající ryska ukazuje, kolikrát  $1^\circ/12 = 5'$  se má připočítat k celému počtu stupňů před nulovou ryskou.

Při měření **ostrých úhlů** do  $90^\circ$  je hodnota měřeného úhlu stejná jako výsledek měření. Viz obrázek 34 a.

Při měření **tupých úhlů** je hodnota měřeného úhlu: přímý úhel bez naměřené hodnoty úhlu, tj. výsledný úhel =  $180^\circ - \text{naměřený úhel}$ . Viz obrázek 34 b.

Při odečítání úhlových hodnot se řídíme stejnými pravidly jako při odečítání délkových hodnot na posuvném měřidle.

Hledáme velikost celých stupňů na nulové rysce pomocné stupnice a hlavní stupnice, množství úhlových minut na splnuté rysce vedlejší stupnice s některou ryskou hlavní stupnice.

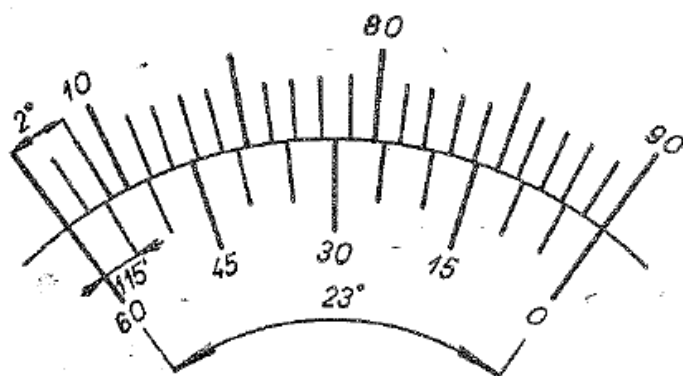
## Měření úhlů

Princip dělení a odčítání na pomocné stupnici je stejný jako na pomocné stupnici délkových měřidel. Přesnost, nebo také hodnota nejmenšího dílku pomocné stupnice, se odvíjí od velikosti jejího dělení. Přesnost měření je tedy závislá na dělení vedlejší stupnice.

Nejčastěji se pomocná stupnice úhlového nonia skládá z oblouku  $23^\circ$  (na hlavní stupnici), který je dělen na 12 stejných dílků pomocné stupnice. Každý dílek pomocné stupnice tedy znázorňuje  $1/12$  z jednoho úhlového stupně, jinak ze 60 minut. Jednoduchým výpočtem tak dojdeme k hodnotě dílku pomocné stupnice -  $5'$  - pěti úhlovým minutám.

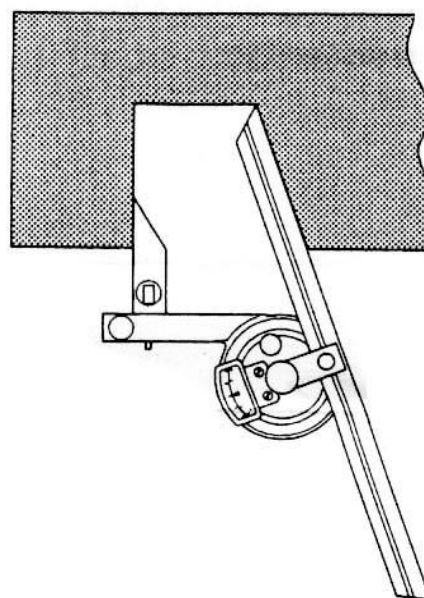
$$(60 / 12 = 5)$$

Dělení hlavní stupnice po jednotlivých stupních je označeno vždy po  $90^\circ$ - kvadrantu. Toto dělení hlavní stupnice je velmi dobré mít na paměti při měření jiných než ostrých úhlů nebo také při měření složitých tvarů, kde se pro usnadnění měření používají příměrné podložky nebo stavitelné nástavce.



Obrázek 39 – Dělení pomocné dílcové stupnice

Úhlová měřidla však mají jednu odlišnost. Pomocná úhlová stupnice je zobrazována symetricky na obě strany od nulové hodnoty. Tato maličkost dovoluje odečítat úhlové hodnoty vzestupně i sestupně (k  $90^\circ$  stupňům nebo od  $90^\circ$  stupňů) což se uplatňuje při odečítání hodnot tupých nebo sdružených úhlů.



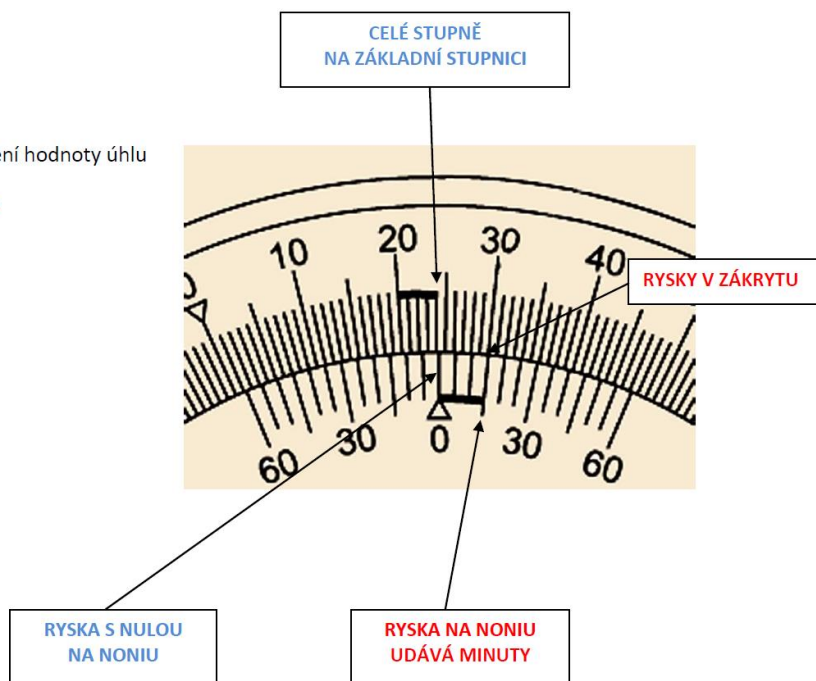
Obrázek 40 - Měření s nástavcem

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Měření úhlů

Příklad odečtení hodnoty úhlu

$24^{\circ}15'$

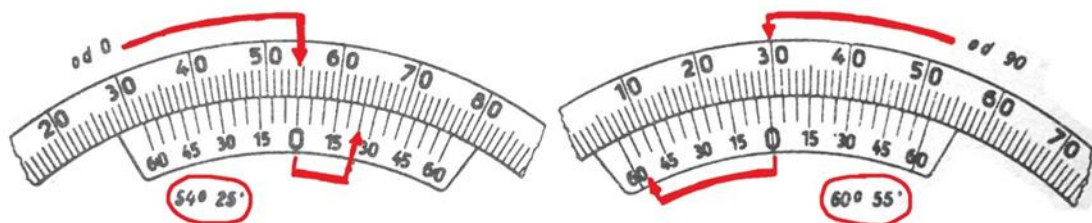


Obrázek 41 – Čtení na dílčové stupnici úhloměru

1. Ryska s nulou na noniu ukazuje celé stupně na základní stupnici.
2. Ryska na noniu, která je v zákrytu s ryskou na základní stupnici, udává minuty. (1 dílek na noniu představuje 5').

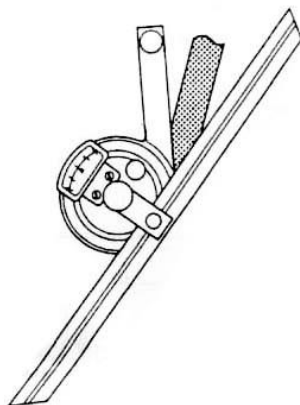
Příklad:

Přečtěte a zkontrolujte hodnoty úhlu na obrázcích.



Obrázek 42 – Příklad čtení hodnot z dílčové stupnice

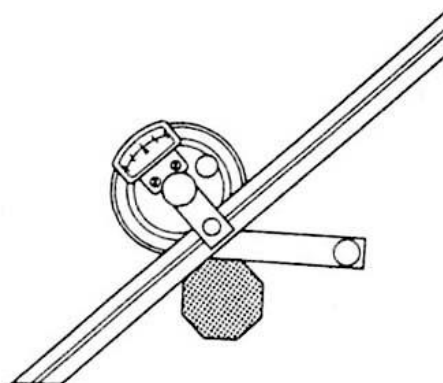
## Měření úhlů



Příklad vlevo s hodnotou úhlu 54 stupňů a 25 minut je klasickou ukázkou měření v prvním kvadrantu.

Obrázek 43 - Měření ostrého úhlu

Příklad vpravo hodnotou úhlu 60 stupňů a 55 minut je ukázkou měření ve druhém kvadrantu.

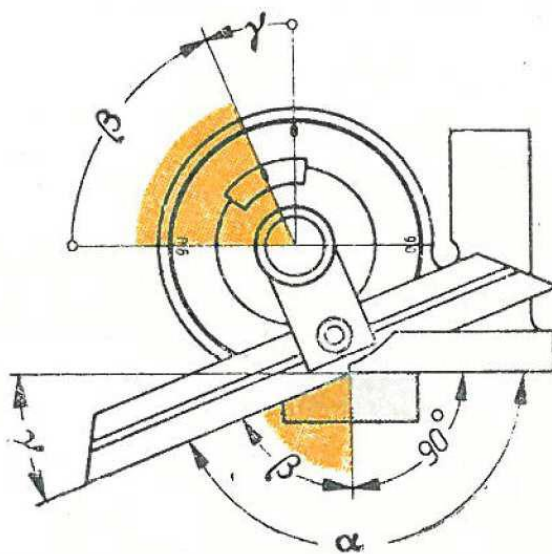


Obrázek 44 - Měření tupého úhlu

### Pozor na čtenou hodnotu:

Vždy podle způsobu přiložení měřicího ramene musí být čtená hodnota odečtena od  $180^\circ$  nebo rozdílová hodnota mezi čtenou hodnotou a  $90^\circ$  musí být odečtena popř. přičtena k  $90^\circ$  vždy podle toho, zda čtená hodnota leží nad nebo pod  $90^\circ$ .

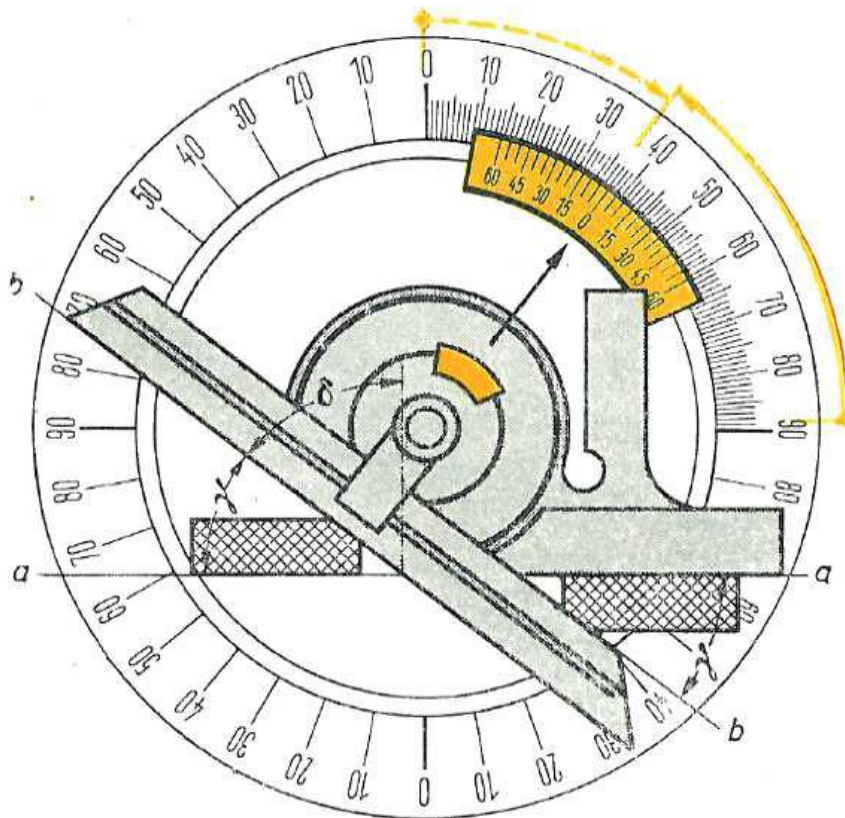
Příklad na obrázku ukazuje variantu, kdy měřená hodnota úhlu na hlavní stupnici v hodnotě  $\beta$  je přičítána k hodnotě plného kvadrantu –  $90^\circ$ , což představuje celkovou hodnotu tupého úhlu  $(90 + \beta)^\circ$ .



Obrázek 45 – Odčítání měřeného úhlu



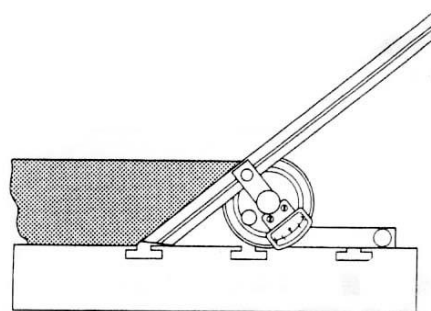
## Měření úhlů



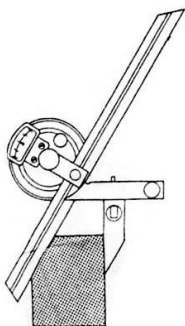
Obrázek 46 – Měření v rozdílných kvadrantech

Pro ilustraci si odvodte hodnoty úhlů  $\gamma$  při měření nalevo i napravo.

Na obrázku č. 43 vpravo je příklad měření ostého úhlu na měřicím stole. Zkuste určit v jakém směru budete na stupnici odečítat hodnotu úhlu a jak budete hledat údaje na pomocné stupnici.



Obrázek 47 - Měření ostrého úhlu



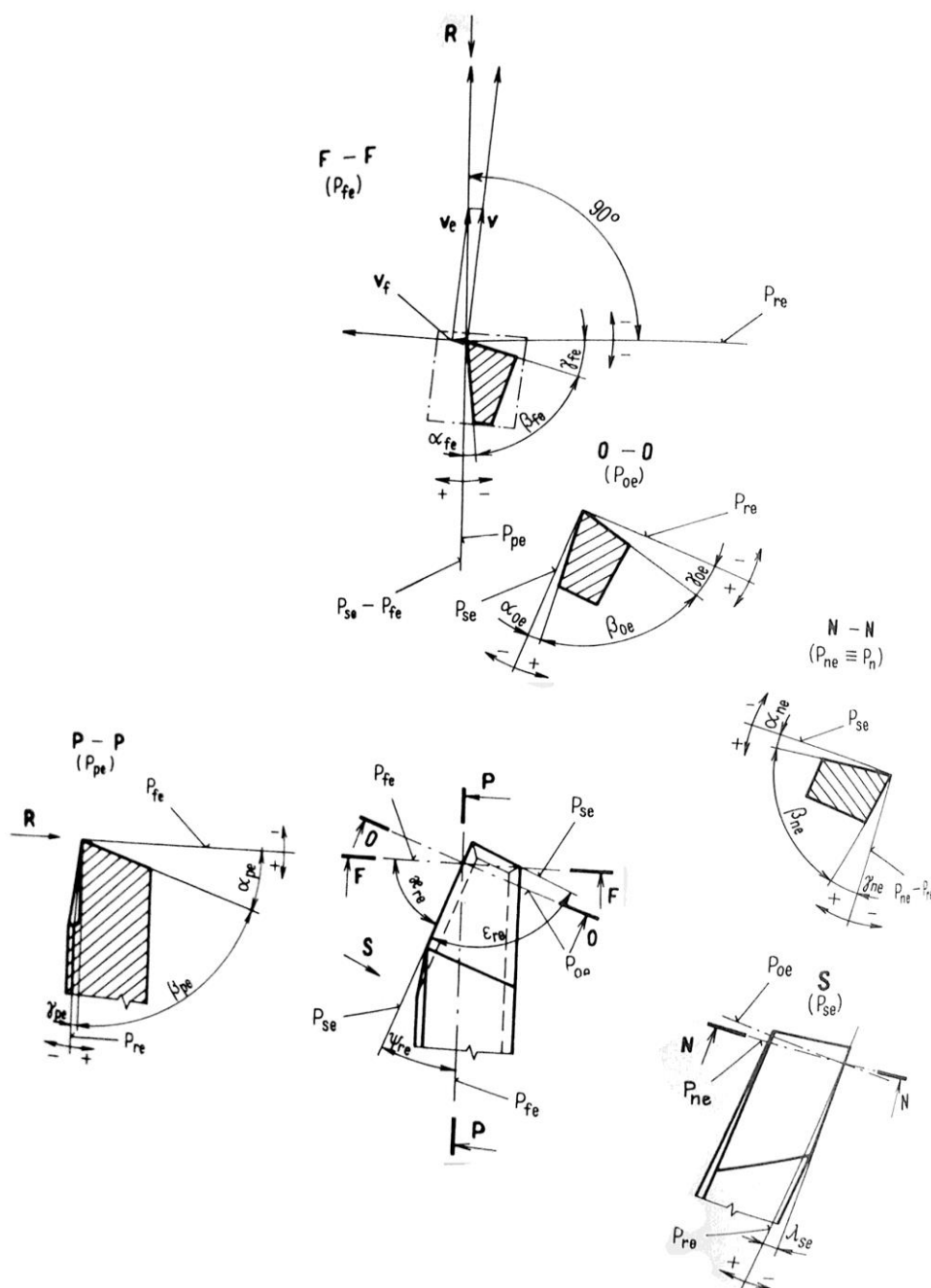
Na obrázku č. 44 vlevo je příklad měření se stavitelnou příložkou. Zkuste určit, v jakém směru budete na stupnici odečítat hodnotu úhlu a jak budete hledat údaje na pomocné stupnici.

Obrázek 48 - Měření se stavitelnou příložkou

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Měření úhlů

Nejčastěji se vyskytující měření ve strojírenství se týká zjišťování skutečné hodnoty úhlu břitu řezných nástrojů.



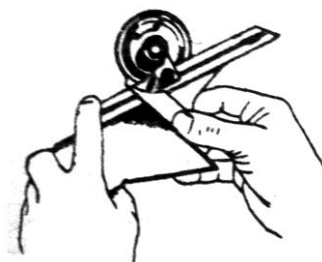
Obrázek 49 – Úhly geometrie řezného nástroje – soustružnického nože



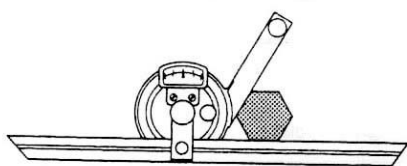
## Měření úhlů

### Příklad měření úhlových hodnot:

Při měření úhlovými měřidly přímou metodou používáme tento postup.

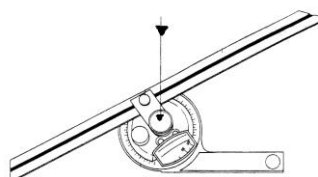


Obrázek 50 - Přiložení měřidla



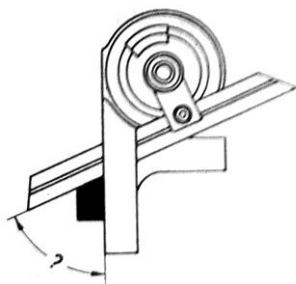
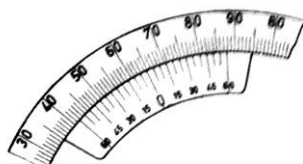
Obrázek 51 - Sevření ramen měřidla

- 1) Měřenou součást vložte mezi pevné rameno a vyměnitelné pravítko univerzálního úhlooměru tak, aby obě jeho části svíraly úhel na kontrolované součásti.



Obrázek 52 - Aretace měřidla

- 2) Polohu zajistěte aretačním šroubem.



Obrázek 53 - Odečítání hodnoty

- 3) Na hlavní stupnici odečtete naměřenou velikost úhlu ve stupních a na stupnici nonia odečtete počet minut.
- 4) Hodnotu úhlu zapište do tabulky.

Stejným způsobem změřte zbývající úhly součásti.

Po odměření všechny úhly sečtete a výsledná hodnota, pokud jste měřili správně, by měla být 360°.

## Měření úhlů



### KONTROLNÍ OTÁZKY

- 1/ Vysvětlete pojem nonius.
- 2/ Vysvětlete způsob odečítání hodnot na hlavní a vedlejší stupnici.
- 3/ Zdůvodněte úhlové dělení kvadrantu.
- 4/ Vysvětlete pojmy doplňkový a sdružený úhel.
- 5/ Svými slovy vysvětlete pravidla pro odečítání ostrých a tupých úhlů.
- 6/ Analyzujte nejčastější příčiny chyb při úhlovém měření!
- 7/ Uveďte příkladné měření ostrého úhlu.
- 8/ Uveďte příkladné měření úhlu úhloměrem s příložkou.

## Měření úhloměrem Mitutoyo - klasickým a

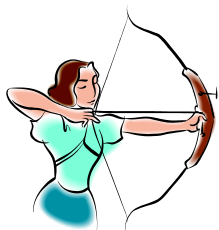
### 7 Měření úhloměrem Mitutoyo - klasickým a digitálním



#### CÍLE

Po prostudování této kapitoly byste měli být schopni:

- popsat jednotlivé části univerzálního a digitálního úhloměru,
- popsat princip optického zobrazování měřených hodnot optickým úhloměrem,
- správně odečítat naměřené hodnoty na optickém úhloměru,
- popsat princip zobrazování měřených hodnot digitálním úhloměrem,
- vysvětlit adjustaci digitálního úhloměru.



#### PRŮVODCE STUDIEM

Měření úhlů je práce náročná na přesnost a logičnost. V případě, kdy je požadována vysoká přesnost a preciznost výsledků měření, se práce provádí velmi přesnými měřidly. Jejich přesné výsledky závisí na preciznosti Vaší činnosti - na způsobu přikládání měřidla ke vzorku, na přípravě vzorku, na přípravě a údržbě měřidla. Každý pracovník má tak ve svých rukou validitu měřicího procesu. Předpokládá se, že správně vyškolený a zapracovaný pracovník dokáže odvést vysoce kvalitní práci, která bude základem práce následných činností. Proto je nutné už na samém počátku se vyvarovat chybných nebo zkresleným výsledkům měřicího procesu. S touto kapitolou spolupracuje prezentace „Nejběžnější měřidla“.

## Měření úhломěrem Mitutoyo - klasickým a

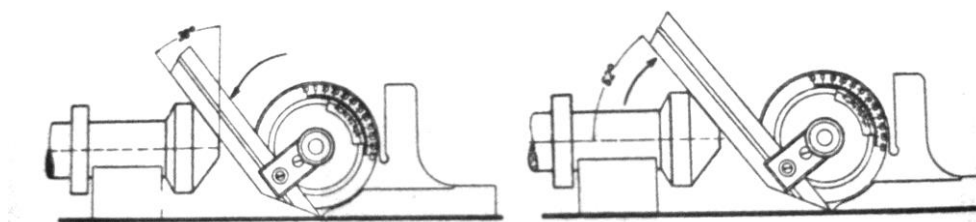
### Univerzální úhломěr

Univerzálním úhломěrem lze měřit buď na pevné rovné podložce (příměrné desce) nebo volně v rukou. Při měření na rovné podložce se musí měřená součást vyrovnat do správné polohy a upevnit, aby měření bylo zaručeně správné. Z přiložených obrázků je také vidět, že při jednom nastavení lze změřit oba úhly (doplňkové). Při měření postupujeme tak, že při uvolnění stupnic nastavíme úhломěr přesně na měřený předmět, potom zajistíme polohu stupnic hlavním pojišťovacím šroubem a odečteme na noniu měřený úhel.



Obrázek 54 – Univerzální úhломěr

Pomocí tohoto úhlooměru lze odměřit libovolný úhel s přesností 5 minut. Vyrábí se s délkou pravítka 150, 200 nebo 300 mm. Jeden konec pravítka má úhel 30° a druhý 45°.

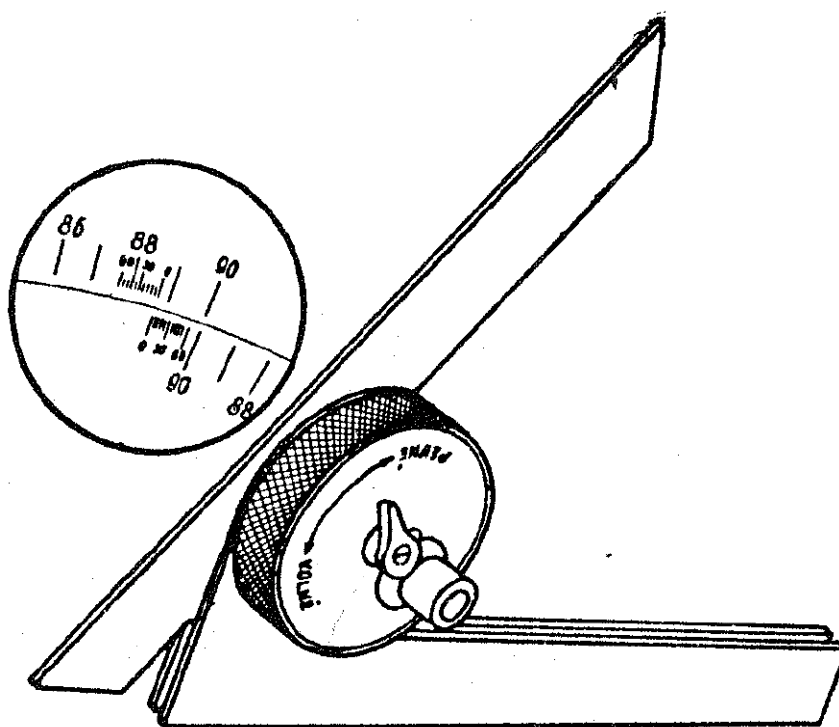


Obrázek 55 - Příklady měření univerzálním úhломěrem

## Měření úhloměrem Mitutoyo - klasickým a

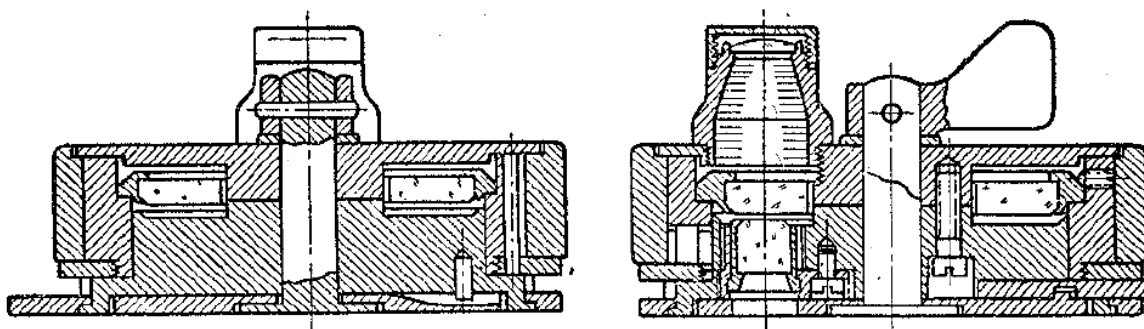
### Optický úhloměř

Měří s přesností 5 nebo 10 minut. Skládá se z dvou navzájem otáčivých ramen. V jednom ramenu je lupa, skleněné okénko a posuvně uložené pravítko. Druhé otáčivé rameno má otáčivý kroužek, v kterém je zalisovaný skleněný kroužek s úhlovou stupnicí. Stupně jsou rozdělené na 6 dílků (1 dílek = 10 minut). Délka pravítek je 150 nebo 300 mm.



Obrázek 56 – Optický úhloměř

Pro přesnější zobrazování úhloměrné stupnice je tedy nutné zvětšení, které zobrazí dílcovou stupnici tak velkou, aby z ní bylo možno odečítat hodnoty. Jeden ze způsobů zvětšení je na obrázku č. 49.



Obrázek 57 – Příklad řezu zvětšovacím okulárem optického úhloměru



## Měření úhломěrem Mitutoyo - klasickým a

Konstrukční řešení měřidla dovoluje více variant. Pro srovnání jsou na obrázcích komerčně dostupná měřidla dvou různých firem. Obě varianty jsou optické úhlooměry s lupou nad dílcovou stupnicí.



Obrázek 58 - Příklad optického úhlooměru firmy Kinex



Obrázek 59 – Příklad optického úhlooměru firmy Mitutoyo

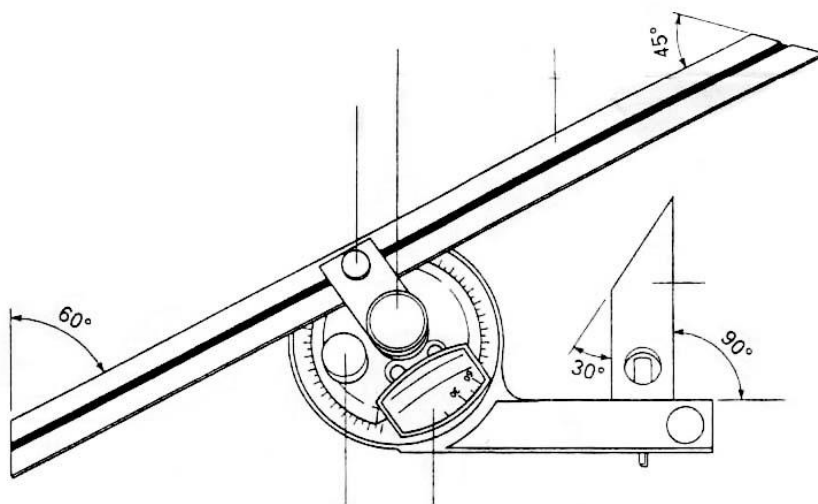


## Měření úhломěrem Mitutoyo - klasickým a

Pojmenování jednotlivých dílů:

- 1- základní (úhlová) stupnice,
- 2- nonius,
- 3- pevné rameno (pevné pravítko),
- 4- pohyblivé rameno (otočné pravítko),
- 5- zajišťovací šroub,
- 6- hlavní šroub.

Na obrázku č. 52 je schéma optického úhломěru s odkazovými čárami ale bez označení. Přiřadte ke každé odkazové čáře správné pojmenování dílu optického úhломěru. Pokud některá část úhломěru na schématu nemá odkazovou čáru, doplňte ji i se správným názvem dílu.



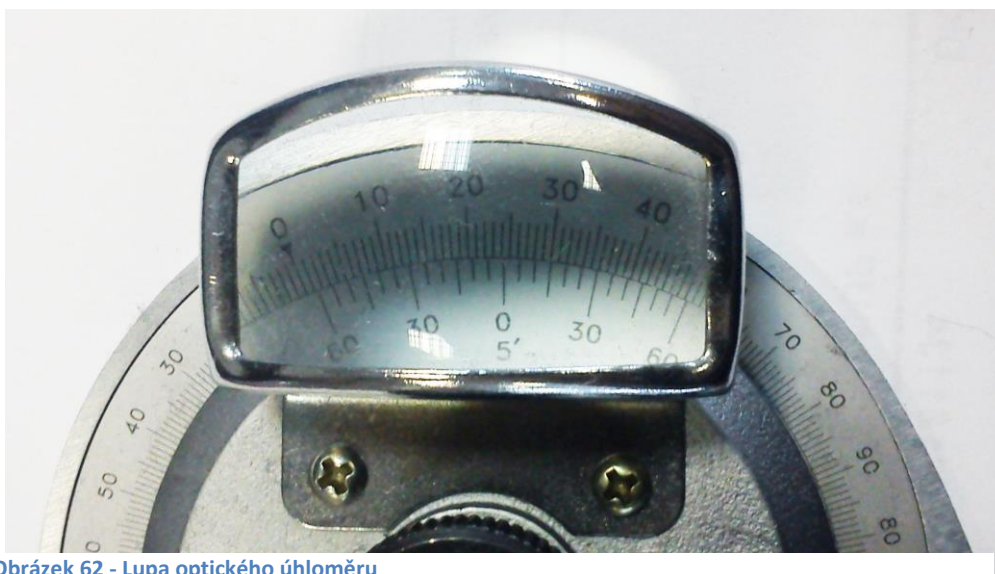
Obrázek 60 - Popis optického úhломěru

Pokud nebudete schopni příklad vyřešit, použijte jako nápovědu text tohoto materiálu na straně 35.

## Měření úhleměrem Mitutoyo - klasickým a



Obrázek 61 - Optický úhloměr Mitutoyo



Obrázek 62 - Lupa optického úhloměru

## Měření úhloměrem Mitutoyo - klasickým a

### Příklad měření úhlových hodnot:

Pro jednoduchý příklad úhlových měření byl zvolen vzorek (obr. 59) stejný pro několik úhlových měřidel, je také zobrazen na předchozích stránkách (obr. 29). Měřený úhel je graficky zvýrazněn.

Jako druhé měřidlo bylo použito laboratorní měřidlo – optický úhloměr.

Aplikovaný postup měření přímoúhelníkem absolutní metodou je zachycen na obr. 60.

Vzorek je vložen mezi pevné rameno a vyměnitelné pravítko univerzálního úhloměru tak, aby obě jeho části svíraly úhel na kontrolované součásti. Poloha je zajištěna aretačním šroubem.



Obrázek 63 - Vzorek



Obrázek 64 - Měření vzorku optickým úhloměrem

## Měření úhleměrem Mitutoyo - klasickým a

Při čtení hodnoty měřeného úhlu je však nutno postupovat ve dvou krocích:

- 1) na hlavní stupnici odečíst naměřenou velikost úhlu ve stupních,
- 2) na pomocné stupnici odečíst počet minut – viz obr. 61.

Hodnotu obou stupnic je třeba sečíst. V uvedeném případě dojdeme k výsledku  
**21 stupňů 0 minut.**



Obrázek 65 - Odečtení hodnoty na stupnici optického úhleměru



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Měření úhleměrem Mitutoyo - klasickým a

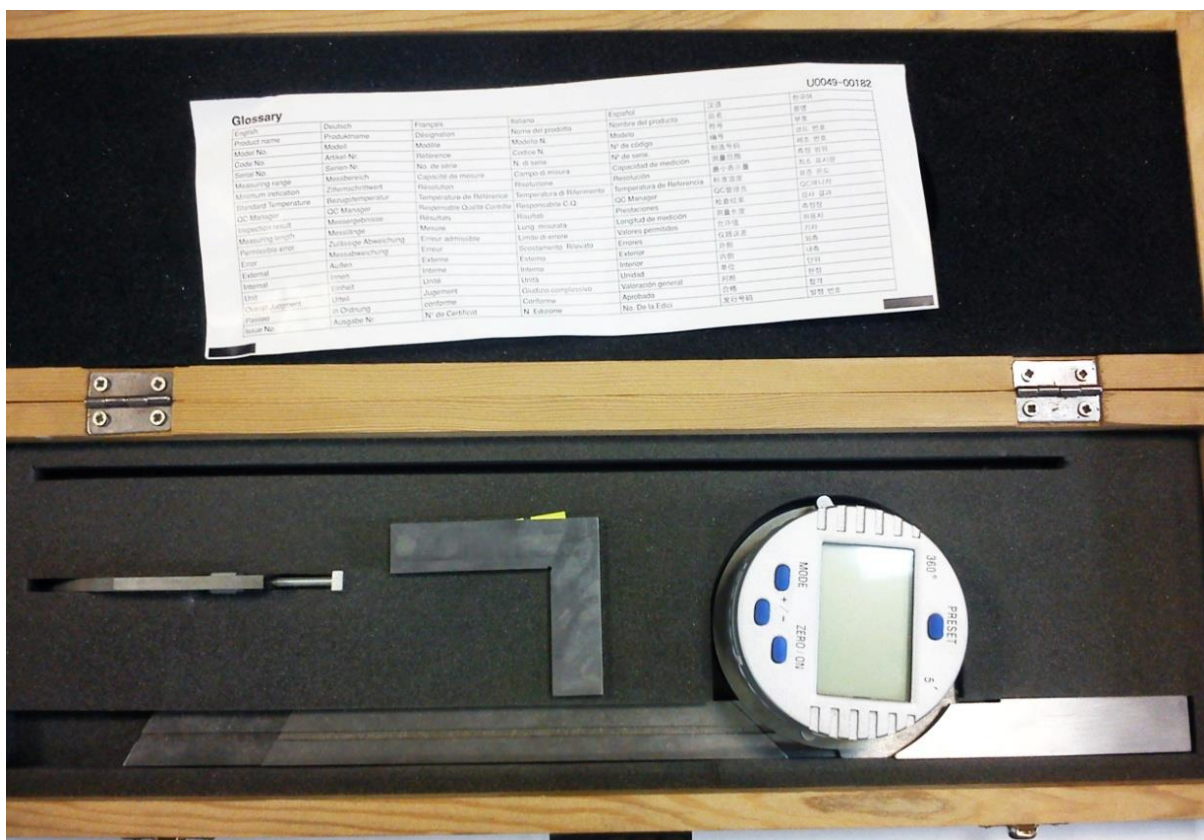
## Digitální úhleměr

Úhleměr je složen z pevného pravítka se snímacím zařízením a otočného pravítka. Digitální úhleměr je kapacitní měřidlo, které pracuje na principu změny kapacity měřicího kondenzátoru, proto je nutné vždy splnit základní požadavky na správnou činnost měřidla. Požadavky se obvykle zužují:

1. kvalita napájecího zdroje – baterie,
2. před začátkem měření je nutno měřidlo adjustovat – nastavit základní polohu měřidla.

Samotné měření je již jednoduchou záležitostí, kdy součást s měřeným úhlem se sevře mezi pevné a otočné pravítko a poloha pravítek se v této poloze zafixuje aretačním šroubem. Samotné odečítání se praktikuje identifikací hodnoty na obrazovce – display. V závislosti na programovém vybavení lze hodnoty odečítat v úhlových stupních a minutách, desetinných hodnotách úhlů a minut nebo palcových hodnotách pro anglofonní země.

Digitální měřidla obecně lze použít jako měřidla komparační. To platí i o měřidlech úhlových. V případě adjustace podle úhlového etalonu, lze digitální úhleměr použít jako úhlový komparátor, který změří hodnotu úhlové odchylky od etalonu.



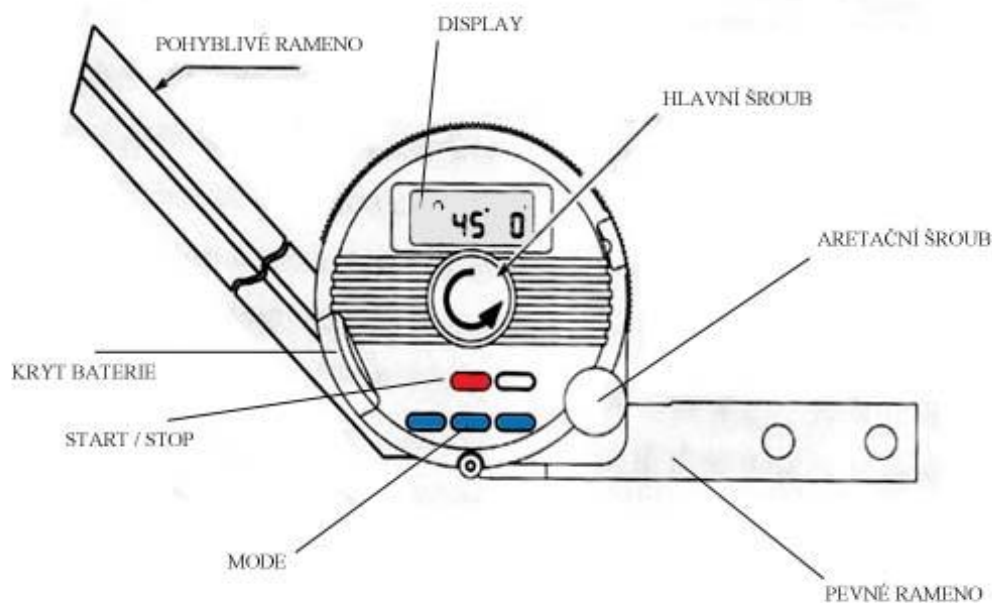
Obrázek 66 - Digitální úhleměr firmy Mitutoyo



## Měření úhleměrem Mitutoyo - klasickým a

Pojmenování jednotlivých dílů digitálního úhleměru:

- 1- pevné rameno (pevné pravítko),
- 2- pohyblivé rameno (otočné pravítko),
- 3- zajišťovací šroub,
- 4- hlavní šroub,
- 5- display,
- 6- kalibrační úhelník,
- 7- tlačítka funkcí – MODE:
  - a. start/stop,
  - b. 60-tinková stupnice,
  - c. 100-tinková stupnice,
  - d. jiné.



Obrázek 67 - Základní části digitálního úhleměru

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Měření úhloměrem Mitutoyo - klasickým a

<b>M &amp; B Calibr</b> <b>IVANČICE</b> Akreditovaná kalibrační laboratoř	M & B Calibr, spol.s r.o. 66491 Ivančice, Němčice mbcalibr@mbcalibr.cz Kalibrační laboratoř č. 2301 akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.	Ke Karlovu 62/10 tel.fax: 546 451 998 www.mbcalibr.cz  
---	---	---

**KALIBRAČNÍ LIST č. 15204/14**  
Datum vystavení 23.04.2014

**Zákazník:** Unikov, spol. s r.o.  
Černomořská 6/645, 101 00 Praha 10

Dále uvedené výsledky se týkají měřidla : Úhloměr  
 Typ: digitální  
 Výrobce: MITUTOYO  
 Výrobní // identifikační č.: 190023 // -  
 Rozsah // dělení stupnice: 0-360° // 1'

Podmínky kalibrace :  
 Kalibrační postup: KP D12.  
 Použitý etalon : Souřadnicový měřicí stroj CRYSTA PLUS M574, ME D15, KL č. 18630/12.  
 Teplota vzduchu v laboratoři: (20,0 ± 0,5) °C  
 Relativní vlhkost: 50 % RH ± 10 % RH

Výsledky měření :

Jmenovitý rozměr	45°	90°	135°	90°
Naměřená hodnota	44°57'	90°00'	135°01'	89°59'

Nejistota měření:  
 U = 1,8'

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření k=2, což pro normální rozhraní odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA4/02

Měřidlo bylo opatřeno štítkem s datem provedení kalibrace.

Datum kalibrace: 23.04.2014

Měření provedl : Zdeněk Mucha ml.

  
 Zdeněk Mucha st.  
 vedoucí laboratoře

Kalibrační list nesmí být rozmnožován bez písemného souhlasu laboratoře, která jej vystavila, jinak než celý. Výsledky se týkají pouze uvedeného měřidla a vztahují se k místu provedených měření.

Strana 1 / celkový počet stran 1

Obrázek 68 - Kalibrační list

## Měření úhleměrem Mitutoyo - klasickým a

Jak adjustovat? Platí univerzální postup, ale v některých případech se může podle pokynů výrobce lišit. V jednoduchosti lze adjustaci popsat následovně:

- 1) měřidlo zapnout,
- 2) přiložit měřicí plochy k etalonu,
- 3) zmáčknout tlačítko – Preset,
- 4) nyní lze měřit.

Adjustační úhel může být plný nebo pravý. Vždy záleží na adjustačním etalonu přikládaném výrobcem k měřidlu. Podle toho je vždy předdefinována základní hodnota úhlu měřidla. Může tak být v hodnotě - 0°, 90° nebo 180°.



Obrázek 69 - Snímací část

Jako příklad adjustace je možné použít obr. 66. Pokud by však k adjustaci nedošlo, mohla by nastat situace podobná jako na obrázku 67.



Obrázek 70 – Adjustace měřidla



## Měření úhleměrem Mitutoyo - klasickým a



Obrázek 71 - Bez adjustace měřidla



Obrázek 72 - Zobrazovací display měřidla

## Měření úhломěrem Mitutoyo - klasickým a

### Příklad měření úhlových hodnot

Pro jednoduchý příklad úhlových měření byl zvolen vzorek (obr. 68) stejný pro několik úhlových měřidel, je také zobrazen na předchozích stránkách (obr. 29, 59). Měřený úhel je graficky zvýrazněn.

Jako třetí měřidlo bylo použito laboratorní měřidlo – digitální úhломěr.

Aplikovaný postup měření přímou absolutní metodou je zachycen na obr. 70.

Před měřením je měřidlo adjustováno na rovinné broušené desce tak, aby úhel svírající pohyblivé a pevné rameno byl nulový.

Vzorek je následně vložen mezi pevné rameno a vyměnitelné pravítko digitálního úhloměru tak, aby obě jeho části svíraly úhel na kontrolované součásti. Poloha je zajištěna aretačním šroubem.



Obrázek 73 - Vzorek



Obrázek 74 - Adjustace digitálního úhloměru



## Měření úhleměrem Mitutoyo - klasickým a



Obrázek 75 - Měření vzorku digitálním úhleměrem



Obrázek 76 - Odečtení hodnot na digitálním úhleměru

Při čtení hodnoty měřeného úhlu je možno postupovat ve dvou variantách:

- 1) ve stupňových a minutových hodnotách (1 stupeň = 60 minut),
- 2) v desetinné stupnici úhlů (1 stupeň rozdělen na 100 dílků).

V uvedeném případě dojdeme k výsledku 20° 53' nebo 20,79°.

## Měření úhломěrem Mitutoyo - klasickým a



### KONTROLNÍ OTÁZKY

- 1/ Vyjmenujte hlavní části optického úhломěru.
- 2/ Uveďte, čím se liší univerzální úhломěr od optického úhломěru.
- 3/ Uveďte přesnost vybraného úhломěru.
- 4/ Vysvětlete důležitost kalibračního listu měřidla – úhломěru.
- 5/ Svými slovy vysvětlete základní postup při měření digitálním úhломěrem.
- 6/ Analyzujte nejčastější příčiny nekvalitní práce a chyb při měření úhloměry.
- 7/ Vysvětlete význam adjustace.

## Měření úhlovou vodováhou

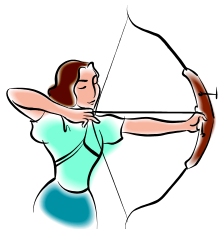
### 8 Měření úhlovou vodováhou



#### CÍLE

Po prostudování této kapitoly byste měli být schopni:

- formulovat principy měření libelou,
- popsat pokyny a ustanovení nutná při technickém měření libelou,
- zdůvodnit nejčastější příčiny nepřesnosti měření,
- vybrat kvalitní měřidlo podle požadavků na přesnost měření,
- orientovat se v nových typech úhlových měřidel.



#### PRŮVODCE STUDIEM

Libela je jedním z nejstarších měřidel. Jednoduchost tohoto měření ale neznamená, že nelze dosáhnout kvalitního měření jednoduchými přístroji. Konstrukční posun v technickém zpracování a používání optických, světelných a elektronických aplikací úhlových měřidel neznamená odklon od jejich principu.

Důležitost přesné polohy se objevuje i v takových profesích, kde donedávna nebyla vůbec vyžadována. Ve strojírenství se však důležitost zvyšuje úměrně k tomu, jak do řízení a konstrukční tvorby proniká virtuální realita. S touto kapitolou spolupracuje prezentace „Málo častá měřidla“ a videoklip „Měření rámovou libelou“.

## Měření úhlovou vodováhou

### Libely

Fungují na základě působení zemské gravitace a plní 2 základní funkce:

- ustavení roviny do vodorovné polohy,
- měření malých úhlů a odchylek od vodorovné polohy.

Lze je rozdělit a dva základní druhy libel:

- Kapalinové
  - Trubicové (kapalina ve válcové trubici)
  - Krabicové (kapalina ve válcové nádobě)
  - Rámové
  - Koincidenční
- Elektronické (kyvadlové)
  - Kyvadlová
  - Sklonoměr

**Kapalinová libela** – využívají vlastnosti bublin v uzavřených nádobách naplněných kapalinou – bublina se vždy snaží zaujmout nejvyšší polohu.

**Elektronická libela** – hlavní část tvoří speciálně uložené kyvadlo, jehož poloha vůči tělesu libely je závislá na poloze roviny, na které je libela uložena. Umožňuje odečítání v nepřístupných místech a v jiném místě než je měřicí místo.

**Koincidenční libela** – měření je v přesnější než u běžných libel. Soustava skleněných hranolů zobrazí 2 nezacloněné poloviny bubliny, které se pohybují proti sobě. Obraz se pozoruje lupou.

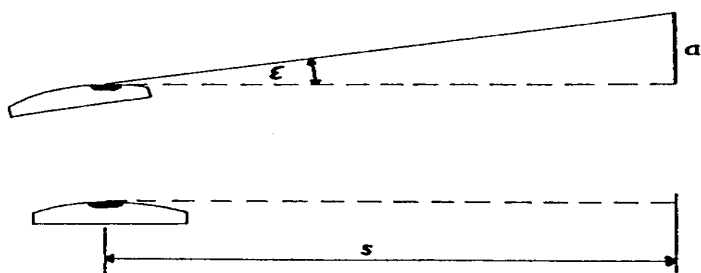
**Sklonoměr (inklinační libela)** – úhломěrný přístroj na měření sklonů ploch vůči základní vodorovné rovině. Má větší rozsah než libely.

**Citlivost** libely je dána úhlem – převýšením, o který se musí naklonit libela, aby se bublina posunula o 1 dílek stupnice, a vyjadřuje se:

- úhlem ve vteřinách (dvouvteřinová libela),
- převýšením v mm, které nastane na délce 1 metr, když se bublina posune o 1 dílek (např.  $0,01 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ ).

Jinak řečeno:

Citlivost vodováhy je dána jejím sklonem na 1 m délky při přemístění vzduchové bubliny o 1 dílek stupnice.



Obrázek 77 – Princip libely

## Měření úhlovou vodováhou

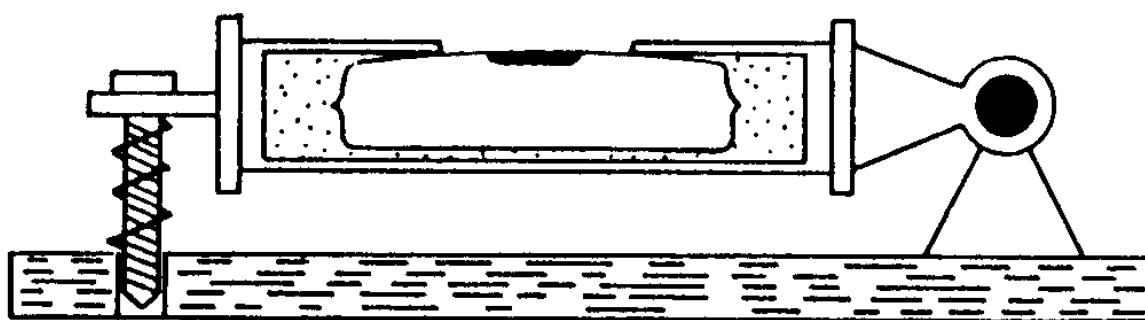
**Přesnost** libely určuje nejmenší úhel, který můžeme libelou určit (za předpokladu, že bezpečně jsme schopni odečíst 1/5 dílku stupnice – tj. 0,4 mm, lze říci, že přesnost je rovna 1/5 citlivosti).

**Pohyblivost** bubliny je úhel, o který je nutno naklonit libelu tak, aby se vychýlila z rovnovážné polohy o hodnotu postřehnutelnou okem bez zvětšovacího zařízení, tj. cca o 0,2 mm.

**Kapalinové libely** pracují na základě působení zemské gravitace a mohou plnit dvě základní funkce:

- ustavení roviny do vodorovné polohy,
- měření malých úhlů – sklonů a měření odchylek od vodorovné polohy.

Využívají vlastnosti bublin v uzavřených nádobách naplněných kapalinou (éter, etyléter), kdy bublina se vždy snaží zaujmout nejvyšší polohu.



Obrázek 78 – Kapalinová libela



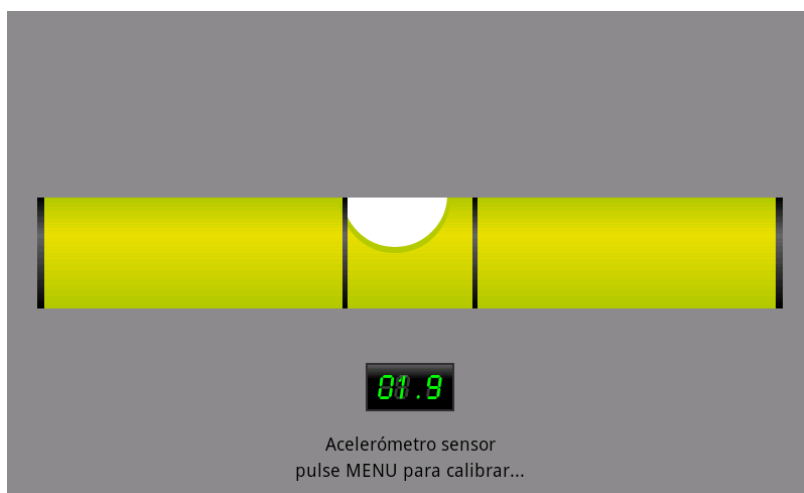
Obrázek 79 – Hadicová libela



## Měření úhlovou vodováhou

### Konstrukce trubicové libely

Podstatou je skleněná válcová trubice se zakřivenou horní stěnou o poloměru  $R$ , která je až na malou bublinu naplněna kapalinou. Vnější strana je opatřena stupnicí s normalizovanou velikostí dílků na 2 mm. Délka bubliny se volí tak, aby při teplotě 20 °C byla rovna 0,3 až 0,4 délky vodováhy – libely.



Obrázek 80 – Trubicová libela



Obrázek 82 – Aplikace trubicové libely ke stabilizaci fotoaparátu

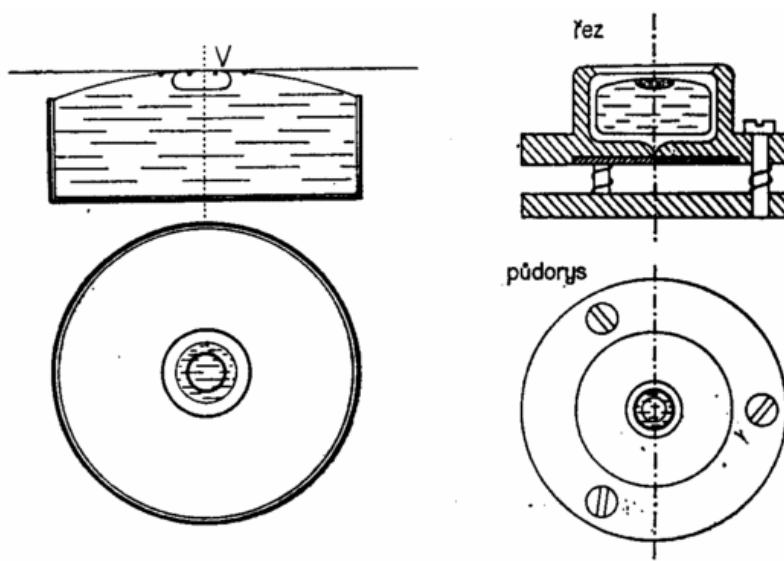


Obrázek 81 – Spřažené trubicové libely

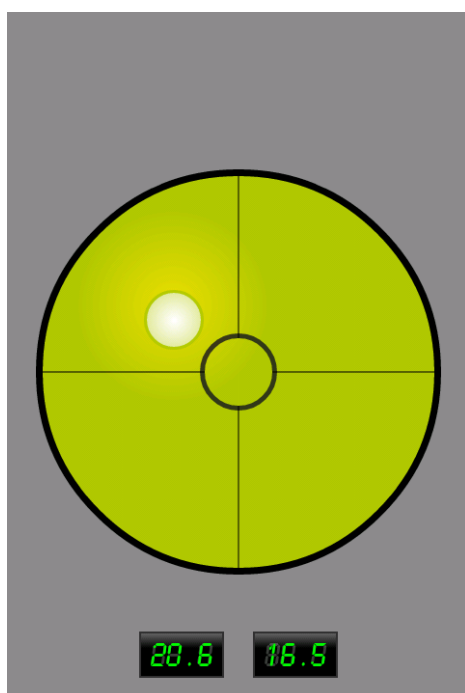
## Měření úhlovou vodováhou

### Konstrukce krabicové libely

Zatímco trubičková vodováha indikuje polohu jen v jednom směru, kruhová či krabičková vodováha má svrchní sklíčko mírně vypuklé, takže ukazuje odchylku od vodorovné roviny ve všech směrech. Vodorovnou polohu, případně malé odchylky, vyznačují soustředné kružnice na sklíčku.



Obrázek 83 - Řez krabicovou libelou



Obrázek 84 – Krabicová libela

## Měření úhlovou vodováhou

### Konstrukce rámové libely s mikroskopem

Jednoduchá konstrukce kombinuje práci spřažené příčné a podélné libely a otočného křížového rámu, kdy v rámu jsou upevněny dvě trubice s bublinou orientované natočením o 90 stupňů vůči sobě. V zorném poli odečítacího mikroskopu je zobrazen na skleněném kruhu rastr s dělením na 60 dílků jednoho stupně. Odečítání jemného dělení se provádí přes mikroskop se 40-ti násobným zvětšením. Podélná libela (ustavovací vodováha) s odečítáním po 30" (což odpovídá výchylce bublinky o 2 mm) umožňuje nastavení do vodorovné polohy.

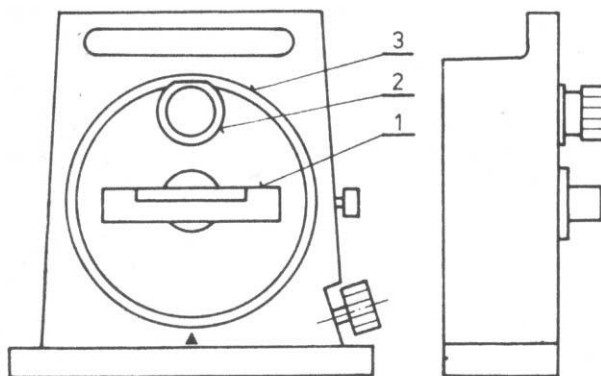
Při měření je důležitá rovinnost, rozměr a čistota dosedací měřené plochy. Dostatečné osvětlení umožní přesné ustavení a aretaci naměřeného úhlu, který lze dodatečně přechýst proti bodovému světelnému zdroji. Přesnost měření je u běžných libel na hranici jedné minuty (1').



Obrázek 85 – Rámová libela

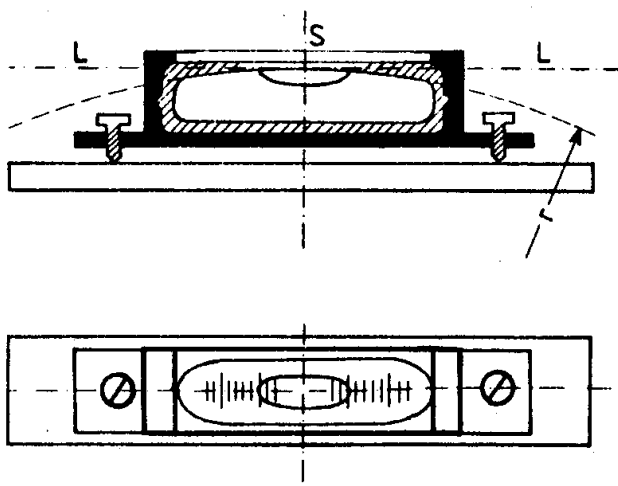
Popis rámové libely:

1. Trubicové spřažené libely
2. Okulár - mikroskop
3. Otočný rám libely

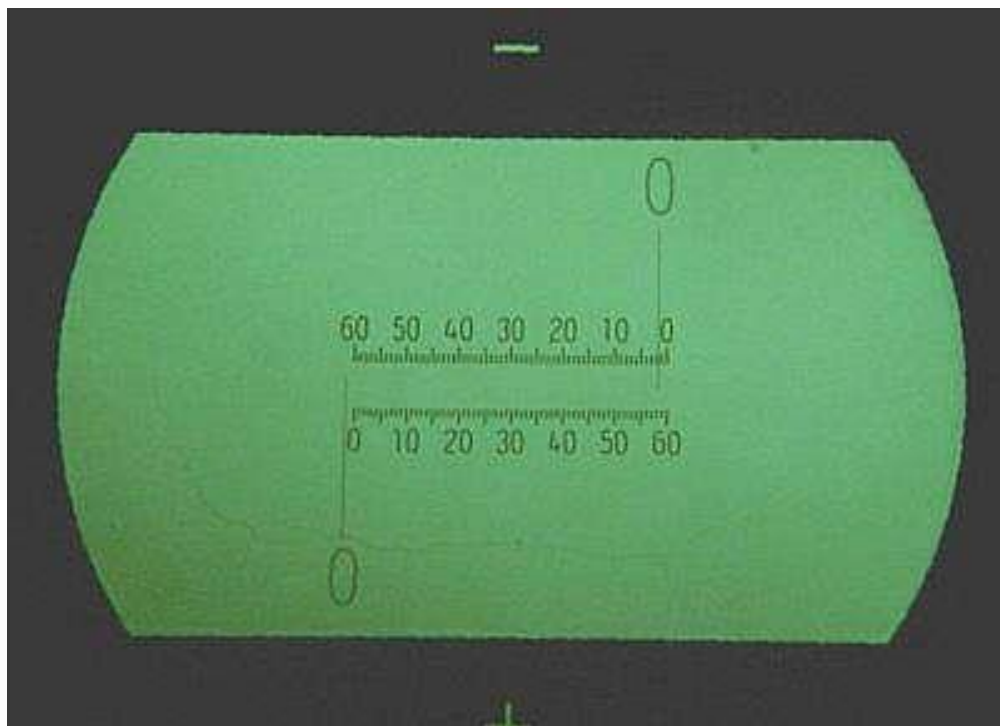


Obrázek 86 – Popis rámové libely

## Měření úhlovou vodováhou



Obrázek 87 – Konstrukce křížového rámu libely



Obrázek 88 – Pomocné stupnice zobrazované v okuláru rámové libely

Pomocná stupnice zobrazovaná v okuláru rámové libely má opět podobné dělení dílcovou stupnicí jako délková měřidla. Hodnota stupňů z hlavní stupnice čitelné i na otočném rámu se opakuje v okuláru a je zobrazována jako velká číslice s dlouhou čarou. Na obrázku č. 71 je touto hodnotou 0.

## Měření úhlovou vodováhou

Pomocná stupnice zobrazuje hodnoty v úhlových minutách a konkrétní hodnota je zobrazena v křížení dlouhé čáry hodnoty stupňů a pomocné stupnice úhlových minut – v tomto případě 2'.

### Konstrukce koincidenční libely

Jednoduchá konstrukce kombinuje v podstatě práci dvou spřažených libel, kdy v rámu jsou upevněny dvě trubice s bublinou orientované proti sobě. V zorném poli však je zobrazena pouze polovina každé z obou trubic. Soustava skleněných hranolů zobrazí obě nezacloněné poloviny trubic s bublinou, které se v zorném poli pohybují proti sobě. Měření je podstatně přesnější než u běžných libel, a tak se obraz hranic posouvajících se bublin pozoruje lupou. Při pohnutí bubliny se vzdálí nebo přiblíží obě vedle sebe zobrazené poloviny konce bublin u dvojnásobného zvětšení o dvojnásobnou vzdálenost. Zobrazené poloviny bublin se musí nastavit tak, aby se ztotožnily – splynuly vzhledem ke značce. Měření je vhodné opakovat ze dvou stran, aby se eliminovala vnitřní chyba libely.



Obrázek 89 – Okulár a stupnice koincidenční libely

Citlivost těchto libel je na hranici 2'' (tj.  $0,01 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ )

Použití těchto libel je omezeno jejich malým rozsahem a nejsou vhodná pro běžná měření. Jejich použití je vhodné spíše jako pracovní etalon.



Obrázek 91 – Skládání obrazu



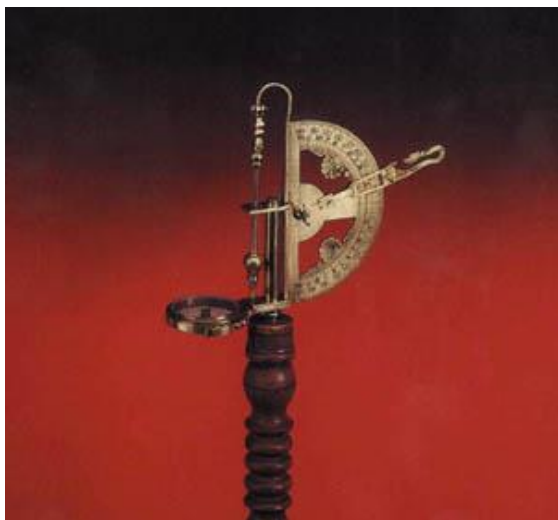
Obrázek 90 – Koincidenční libela



## Měření úhlovou vodováhou

### Konstrukce inklinací libely – sklonoměru

Jde o přístroj vybavený limbem nebo jeho částí a obvykle je doplněn libelou, která je uložena v otočném tělese společně s odečítacím mikroskopem a plní funkce nulového indikátoru. Sklonoměr je tedy úhломěrný přístroj s větším rozsahem než libely, určený k měření sklonů ploch vůči základní vodorovné rovině.



Obrázek 92 - Historický sklonoměr



Obrázek 93 – Historická inklinací libela



Obrázek 94 – Moderní sklonoměr

## Měření úhlovou vodováhou

### Konstrukce elektronické libely

Hlavní část tvoří speciálně uložené kyvadlo, jehož poloha vůči tělesu libely je závislá na poloze roviny, na které je libela uložena. Kyvadlo při změně polohy nezůstává v klidu a je nutno je vhodně tlumit (kapalinou, elektromagneticky apod.). Tato libela umožňuje odečítání v nepřístupných místech a v jiném místě než je měřicí místo. V současnosti jsou k dispozici i jednoduché aplikace libel volně šiřitelné a adaptovatelné pro jednoduchá a méně přesná měření s pomocí moderních dotykových telefonů.



Obrázek 95 – Mobilní aplikace elektronické libely

V současnosti s rozvojem elektroniky je možné se setkat i s kombinací různých úhlových měřidel. Příkladem může být trubcová libela se sklonoměrem na obrázku č. 79.



Obrázek 96 – Elektronická vodováha

## Měření úhlovou vodováhou



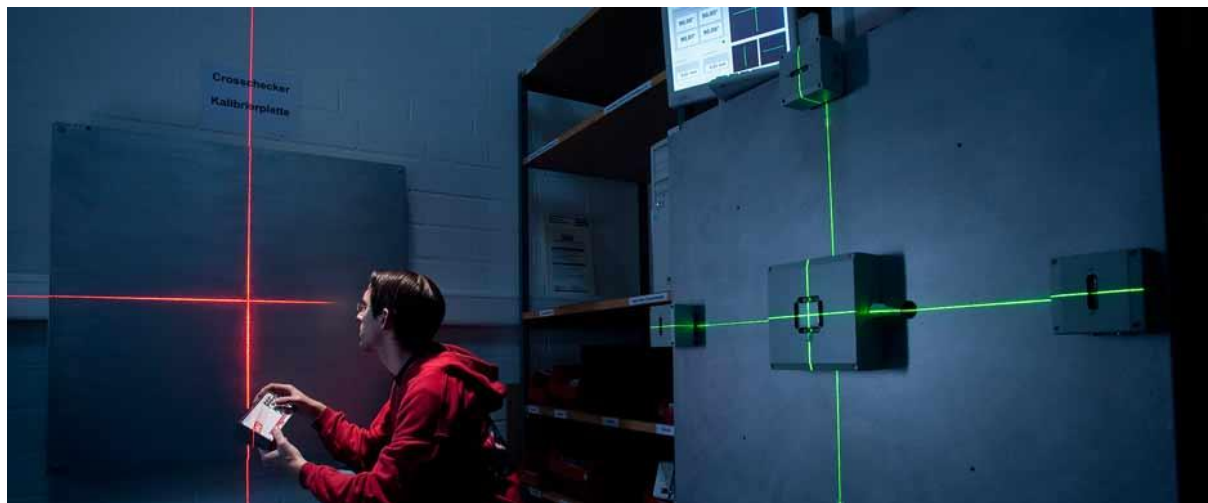
Obrázek 97 – Libela se záměrným laserovým paprskem

Další variantu lze najít na obrázku č. 80, kde je křížová trubicová libela tentokrát se zaměřovacím barevným laserovým paprskem. Ve stavebnictví se v poslední době i velmi často používají k zaměření horizontu nebo středění ploch či velkoplošných obrobků laserové záměrné kříže, které zobrazují a promítají zvolené roviny v prostoru. Stejný princip je uplatňován při převádění tvarů do virtuálního prostoru laserovými scannery nebo při měření na souřadnicových měřicích strojích



Obrázek 98 – Laserový záměrný kříž

## Měření úhlovou vodováhou



Obrázek 99 - Zobrazení laserového kříže

Zajímavé informace o měření země a zeměměřičství, kde se používají teodolity různého typu, lze najít na internetovém odkazu <http://www.zememeric.cz/8+9-00/historie.html> nebo

<http://geomatika.kma.zcu.cz/studium/gen1/html-old/ch04s03.html>.

Současná nabídka na trhu s měřicími přístroji umožňuje získat a provozovat nejrůznější typy úhloměrných měřidel a jejich kombinací. Na obrázku č. 100 – Vodováha s laserovým dálkoměrem je jedna z nabízených variant měřidla, pracujícího na principu trubicové libely. Je otázkou, které měřidlo je v tomto případě prioritní, zda libela nebo laserový dálkoměr.



Obrázek 100 - Vodováha s laserovým dálkoměrem



## Měření úhlovou vodováhou

### Příklad měření úhlových hodnot:

Na ukázce měření s rámovou libelou je demonstrováno měření rovinnosti lože obráběcího stroje.

Postup získávání hodnot je následující.

Rámovou libelou je změřena odchylka od vodorovné roviny křížového stolu svislé frézky:

- v ose X posuvu křížového stolu,
- v ose Y posuvu křížového stolu,
- v ose Z zdvihu křížového stolu,

a to vždy minimálně 3x.



Obrázek 101 - Usazení libely na křížovém stole

Naměřené hodnoty jsou aritmeticky zpracovány do výsledné hodnoty, která je graficky znázorněna. Samotné odečítání naměřených hodnot úhlů je popsáno v této kapitole.



Obrázek 103 - Měření osy Y



Obrázek 102 - Měření osy X

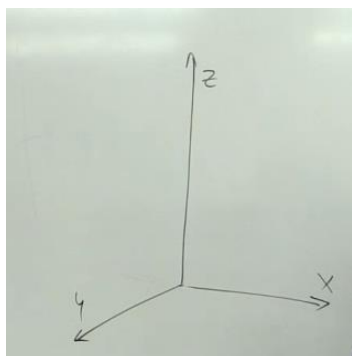


## Měření úhlovou vodováhou

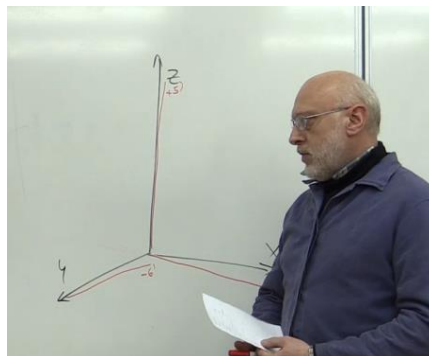


Obrázek 104 - Měření osy Z

Měření	1	2	3	průměr
osa X				
osa Y				
osa Z				



Obrázek 105 - Základní orientace  
měřeného stroje



Obrázek 106 - Příklad vyhodnocení  
naměřených hodnot

Celý postup měření je zaznamenán ve výukovém videu s názvem „Měření rámovou libelou“.

## Měření úhlovou vodováhou



### KONTROLNÍ OTÁZKY

- 1/ Vysvětlete princip činnosti jednoduché trubicové libely.
- 2/ Vysvětlete princip činnosti krabicové libely.
- 3/ Vysvětlete body provozního řádu a zdůvodněte jej.
- 4/ Uveďte nejpresnější libelu.
- 5/ Svými slovy vysvětlete způsob, jak měřit rovinu a odklon od roviny.
- 6/ Vysvětlete pojem sklonoměr.
- 7/ Vysvětlete princip činnosti elektronické libely.
- 8/ Uveďte použití libely se záměrným laserem.
- 9/ Uveďte použití laserového záměrného kříže.

## Profilprojektor

### 9 Profilprojektor



#### CÍLE

Po prostudování této kapitoly byste měli být schopni:

- formulovat použití profilprojektoru v technickém měření,
- popsat princip zobrazování vzorku při měření,
- zdůvodnit přesnost měření v závislosti na šabloně,
- vyjmenovat možnosti zvětšení a zdůvodnit je,
- vysvětlit princip zjišťování úhlových hodnot.



#### PRŮVODCE STUDIEM

Kapitola je zaměřena na měření velmi malých vzorků a jejich ploch. Práce s uvedenými přístroji vyžaduje zručnost a správné prostředí. Vzhledem k náročnosti odečítání hodnot při různých způsobech měření a následné vyhodnocování, se nelze divit, že moderní technologie zmiňované způsoby měření pomalu a jistě vytlačují.

S měřidly typu profilprojektoru nebo dílenského mikroskopu se pravděpodobně setkáte jen v laboratořích nebo firmách s dlouhou tradicí. Moderně vybavovaná pracoviště jsou již osazena souřadnicovými měřicími stroji nebo jejich aplikacemi.

## Profilprojektor

Profilprojektory slouží k měření a kontrole složitých tvarových součástí zvláště malých rozměrů.

Jsou založeny na optickém principu

Princip funkce projektoru:

- Objektiv projektoru vytváří na matnici reálný zvětšený obraz Y součásti y.
- Správného osvětlení je dosaženo kondenzorem, který přebírá paprsky ze zdroje
- Zvětšení projektoru B se pohybuje od 10 až ke 100 násobku, speciální aplikace až 1000 x a je nepřímo úměrné velikosti zorného pole.
- Chyba zvětšení nepřesahuje 1 % měřeného rozměru při diaprojekci a 1,5 % při epiprojekci.
- Kontrolovanou součást lze pozorovat v průchozím nebo odraženém světle.

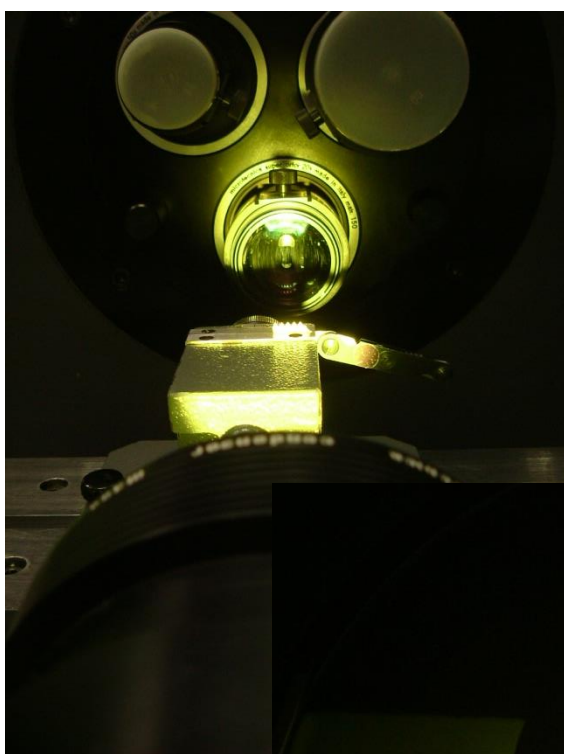


Obrázek 107 – Matnice profilprojektoru

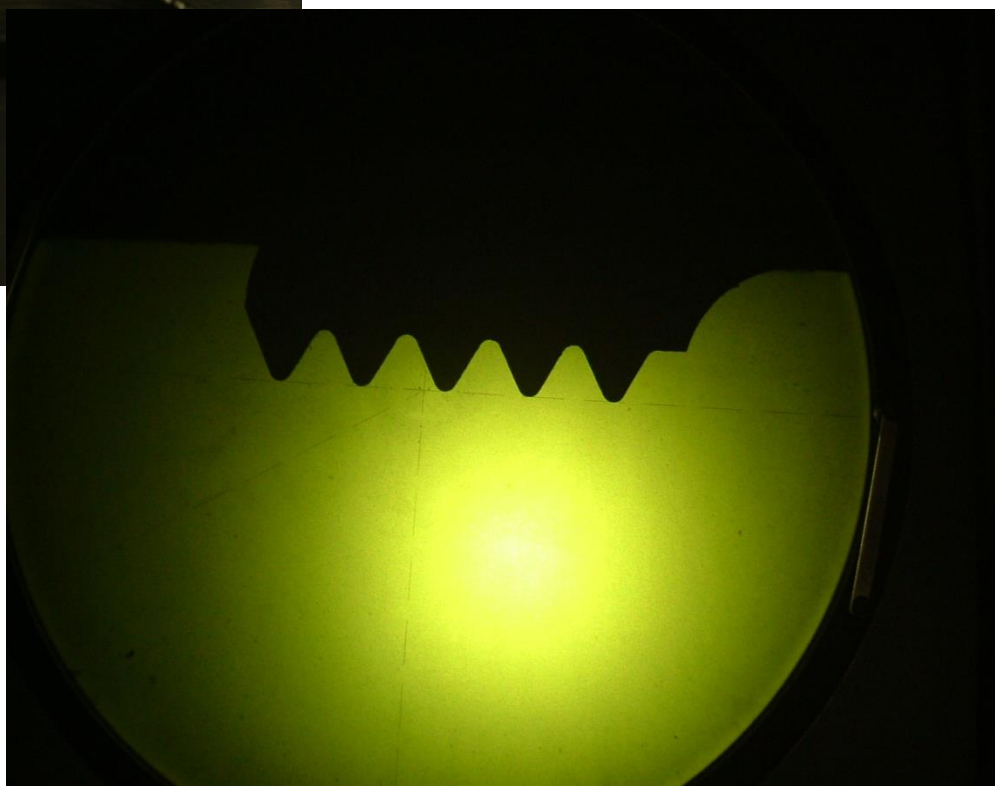
## Diaprojekce

## Profilprojektor

- Nejčastěji využívaná metoda.
- Paprsky vycházejí ze zdroje, procházejí kondenzorem a dopadají rovnoběžně na měřenou plochu – součást, která leží na skleněné desce.
- Paprsky po průchodu objektivem, odrazu od zrcadla a průchodu optickým systémem zobrazí obrys součásti na matnici jako stínový obraz.
- Metoda je vhodná pro ploché součásti.



Obrázek 108 – Osvit měřeného vzorku



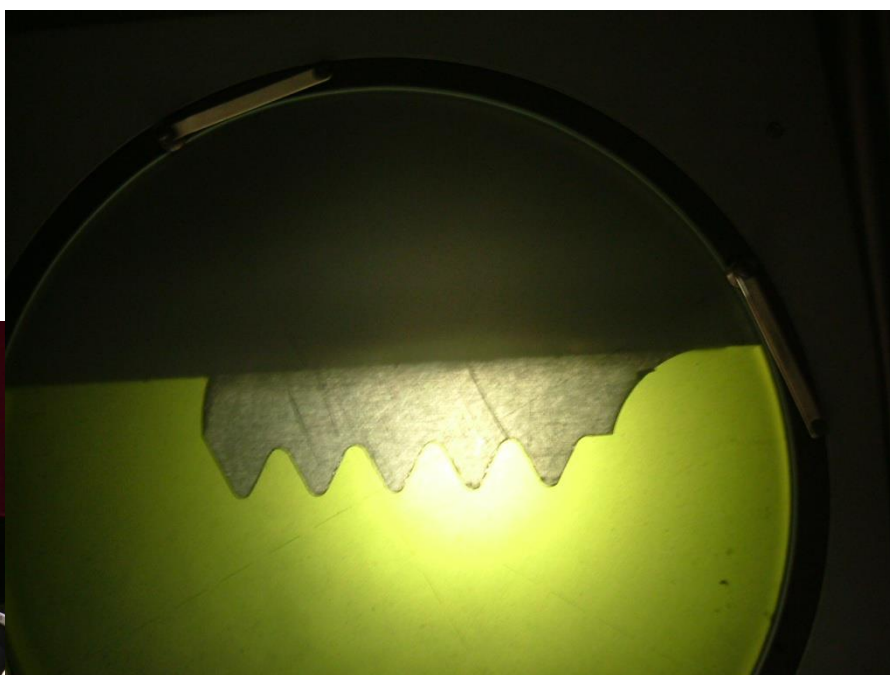
Obrázek 109 – Zobrazení vzorku na matnici

## Epiprojekce



## Profilprojektor

- Kontrolovanou plochu osvětluje silným zdrojem světla ze strany objektivu.
- Metoda je vhodná pro plochy kolmé k optické ose.
- Pozorovaná plocha musí dobře odrážet světlo.
- Paprsky ze zdroje procházejí kondenzorem a polopropustným zrcadlem na kontrolovanou součást.
- Od kontrolované plochy se odráží zpět na polopropustné zrcadlo a opět na další zrcadlo a jdou objektivem na matnici.
- Na matnici je vidět světlý obraz zvětšené součásti.



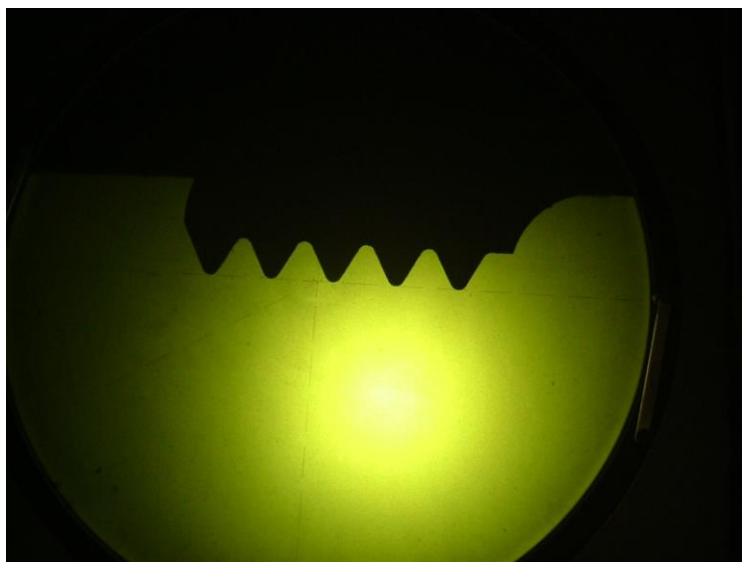
Obrázek 110 – Zobrazení vzorku na matnici



Obrázek 111 – Osvit měřeného vzorku

## Profilprojektor

Ke stávajícímu zobrazování promítnutého obrysu měřeného vzorku na matnici je připojeno natáčení nitkového kříže na matnici.



Obrázek 112 – Nitkový kříž matnice



Obrázek 113 – Natáčení nitkového kříže a zobrazování úhlu natočení

## Profilprojektor



Obrázek 114 – Detailní porovnávání obrazu s nitkovým křížem matnice

Přesnost těchto měření se pohybuje na hranici 0.001 mm.

Samotné úhlové měření je spojeno s natočením nitkového kříže na matnici, který musí kopírovat měřenou plochu – hranu. Velikost úhlu je elektronicky snímána při natočení matnice, která se pohybuje v kruhovém rámu, a jeho hodnota je opětovně zobrazena na displeji.

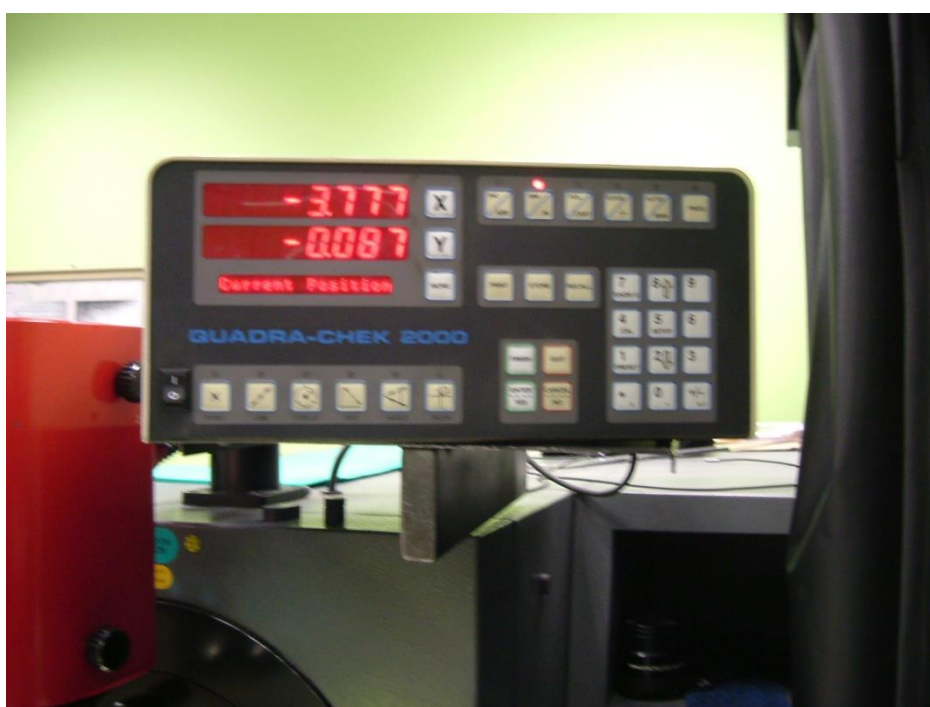


Obrázek 115 – Elektronické zobrazování natočení matnice



## Profilprojektor

Jeho klasické funkce jsou rozšířeny elektronickým snímáním poloh a tlačítkově volitelným, pevně nastaveným procesorovým zpracováním snímaných dat. Ke stávajícímu zobrazování promítnutého obrysu měřeného vzorku na matnici je připojeno natáčení nitkového kříže na matnici. Polohování vzorku je elektronicky snímáno a zobrazováno na displeji ve dvou osách (X,Y). Polohování je také možno vhodně měnit podle doplňků křížového stolu nebo úhlového svěráku. Posun v nastavovaných osách je možno ovládat elektricky (joystick) nebo ručně mikrometrickými šrouby. Snímání zobrazení je ovlivněno ostroťmi obrazu na matnici, takže je nutno přesně zaostřit průchod světelného paprsku okolo povrchu měřeného vzorku.



Obrázek 116 – Doplňkové digitální zobrazování snímaných hodnot

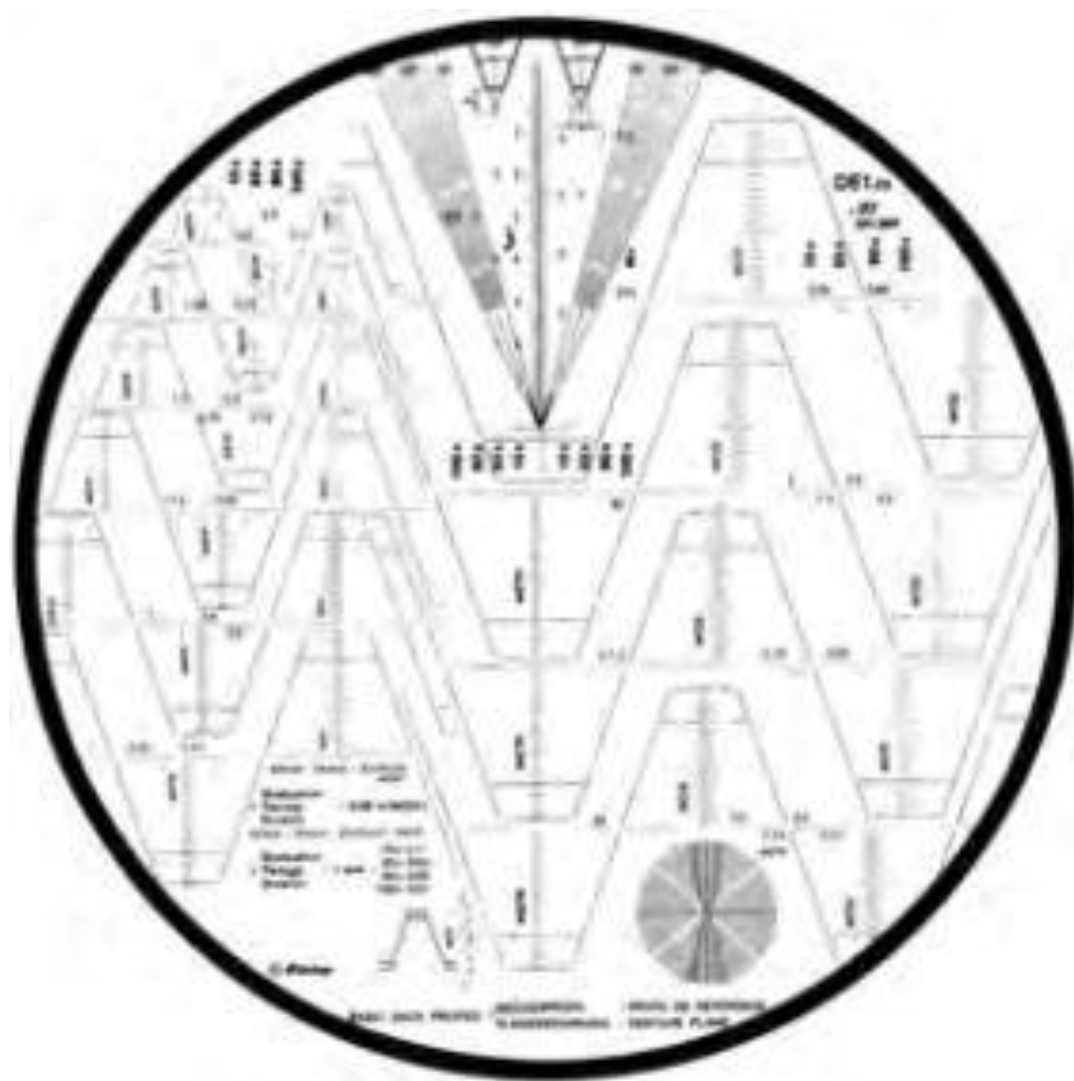
Profilprojektor je možno doplnit přídavným zařízením pro odklon světelného paprsku u tvarově složitých součástí. V tomto případě je na matnici vytvořen obraz nejen kontury obrysu měřeného vzorku, ale i osvětlené plochy, na které jsou viditelné stopy po porušení mikrostruktury povrchu (rýhy, stopy po nástroji atp.). Fixováním počátečního bodu a snímáním koncového bodu rýhy je možno zvolenou funkcí procesorem propočítat směrový úhel sledované rýhy.

Přesnost těchto měření je ovlivněna přesností definování nasnímaných bodů a je jejich matematickým výsledkem.

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Profilprojektor

Pomůcky pro měření na profilprojektoru vyráběné firmou Mitutoyo.

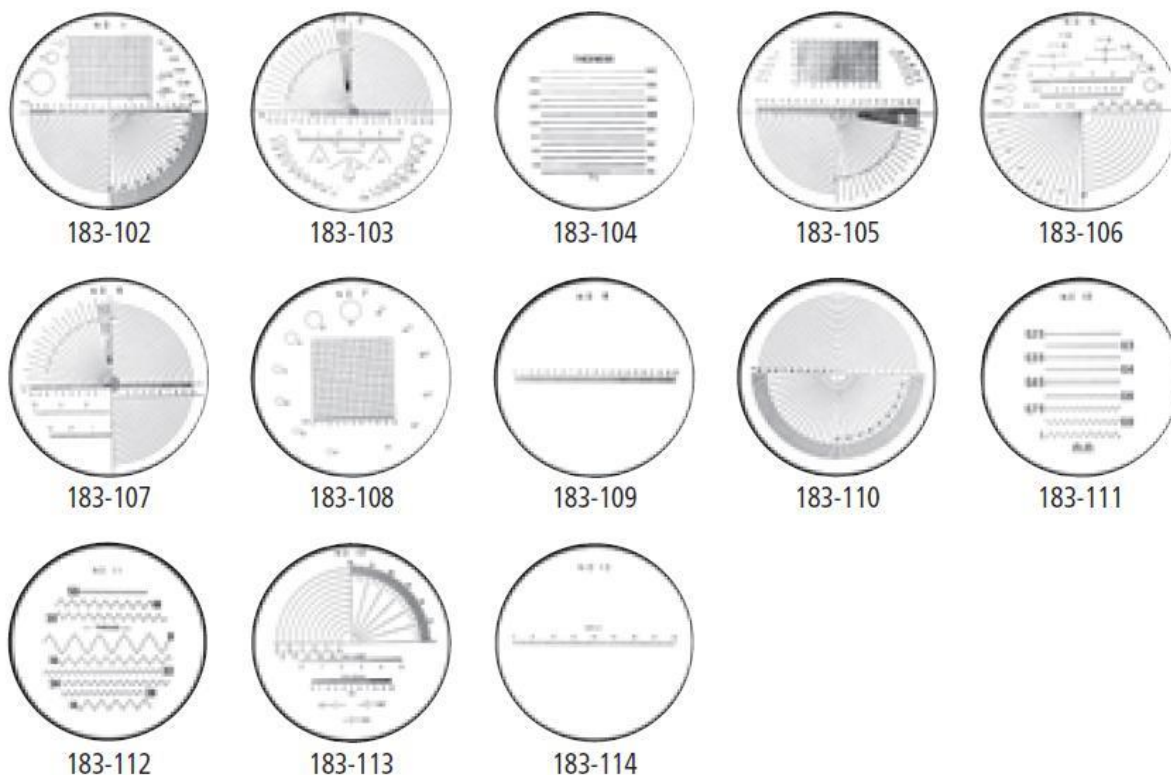


Obrázek 117 - Závitoměrná šablona profilprojektoru



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Profilprojektor



- č. 183-102 Polární síť, úhly, poloměry
- č. 183-103 Úhly, poloměry, délky, otvory
- č. 183-104 Tloušťky
- č. 183-105 Úhly, poloměry, otvory, délky, polární síť v mm
- č. 183-106 Úhly, poloměry, otvory, délky
- č. 183-107 Úhly, poloměry, délky
- č. 183-108 Polární síť, otvory

- č. 183-109 Délky v mm
- č. 183-110 Úhly, poloměry
- č. 183-111 Stoupání závitů (metrické)
- č. 183-112 Stoupání závitů chod/palec
- č. 183-113 Úhly, poloměry, délky
- č. 183-114 Délky v palcích
- č. 183-115 Stoupání závitů ISO  
0,25/0,3/0,35/0,4/0,45/0,5/0,7/0,8/1,0

Obrázek 118 - Další typy šablon

## Profilprojektor



### KONTROLNÍ OTÁZKY

- 1/ Svými slovy vysvětlíte, co to je profilprojektor.
- 2/ Vysvětlíte princip epiprojekce.
- 3/ Vysvětlíte princip diaprojekce.
- 4/ Vyjmenujete velikosti zvětšení při práci na profilprojektoru.
- 5/ Svými slovy vysvětlíte použití šablon.
- 6/ Vysvětlíte způsob měření úhlů na profilprojektoru.

## Měření na optické dělicí hlavě

### 10 Měření na optické dělicí hlavě



#### CÍLE

Po prostudování této kapitoly byste měli být schopni:

- formulovat použití dělicích přístrojů v technickém měření,
- popsat konstrukci vybraných optických dělicích přístrojů,
- zdůvodnit měřicí sestavu při měření,
- vyjmenovat základní chyby pracovníka při měření,
- vysvětlit používání optických dělicích přístrojů v praxi.



#### PRŮVODCE STUDIEM

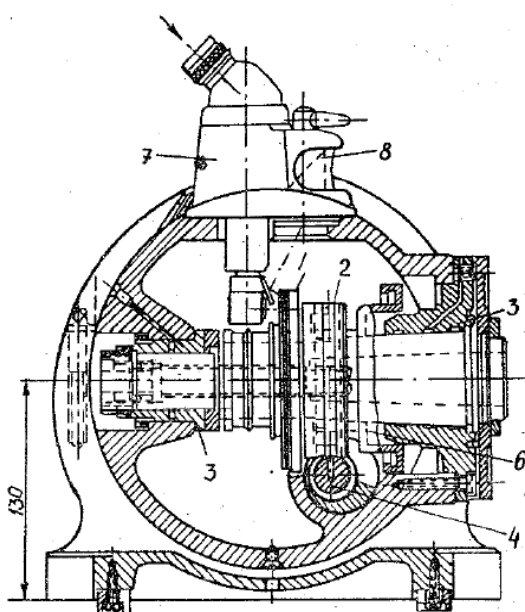
Snad každý viděl při práci zeměměřiče, jak postávají skloněni za drobným přístrojem a mávají rukama na kamaráda někde v poli stojícího s dlouhou tyčí. Také snad neexistuje rodina, která nevlastní automobil. Přitom obě činnosti jsou svázány s měřením úhlů.

Optická dělicí hlava a optický dělicí stůl s průmyslovými výrobky a teodolit s rozměřováním staveb na zemském povrchu. S touto kapitolou spolupracuje prezentace „Málo častá měřidla“ a videoklip „Měření na optické dělicí hlavě“.

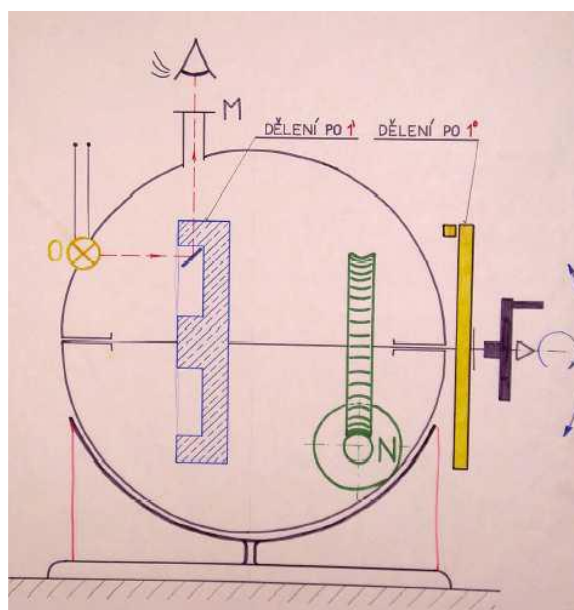
## Měření na optické dělicí hlavě

### Konstrukce optické dělicí hlavy

V otočné skříní je uloženo vřeteno, na kterém je šroubové kolo zapadající do šneku a skleněný **limbus**<sup>2</sup>. Před započítím každého měření je vždy nutné pečlivě vystředění měřené součásti, aby se neprojevovalo čelní ani obvodové házení. Vystředění má zásadní vliv na přesnost měření, proto je vhodné pracovat při vystředění s tisícinovým úchylkoměrem. Měřená úhlová hodnota je odvozena od skleněného kotouče s úhlovou stupnicí od 0 do 360° a poloha je odečítána pomocí mikroskopu, který je v horní části optické hlavy. Zde je v zorném poli skleněné měřítko s minutovou stupnicí, které je posuvné nastavovacím šroubem. Přesnost hodnoty lze odečítat na 1', odhadem na 30'' (laboratorní děličky však pracují i s přesností 1'').



Obrázek 119 - Řez optickou dělicí hlavou



Obrázek 120 - Schéma funkce optické dělicí hlavy

Na obrázku č. 95 je schéma, ze kterého je patrné jak se na optické dělicí hlavě zobrazují hodnoty úhlového natočení jádra dělicí hlavy. Žlutý kotouč nese na sobě dělení po úhlových stupních a přesnější dělení je zobrazováno průsvitem na skleněném kotouči. Paprsek vržený osvětlením je zrcátkem odražen ze spodu do skleněného kotouče se stupnicí a prosvětluje kotouč v místě měření. Okulár, na schématu označen M, je tvořen jednoduchou soustavou čoček a zvětšuje obraz procházející osvětlenou stupnicí skleněného kotouče.

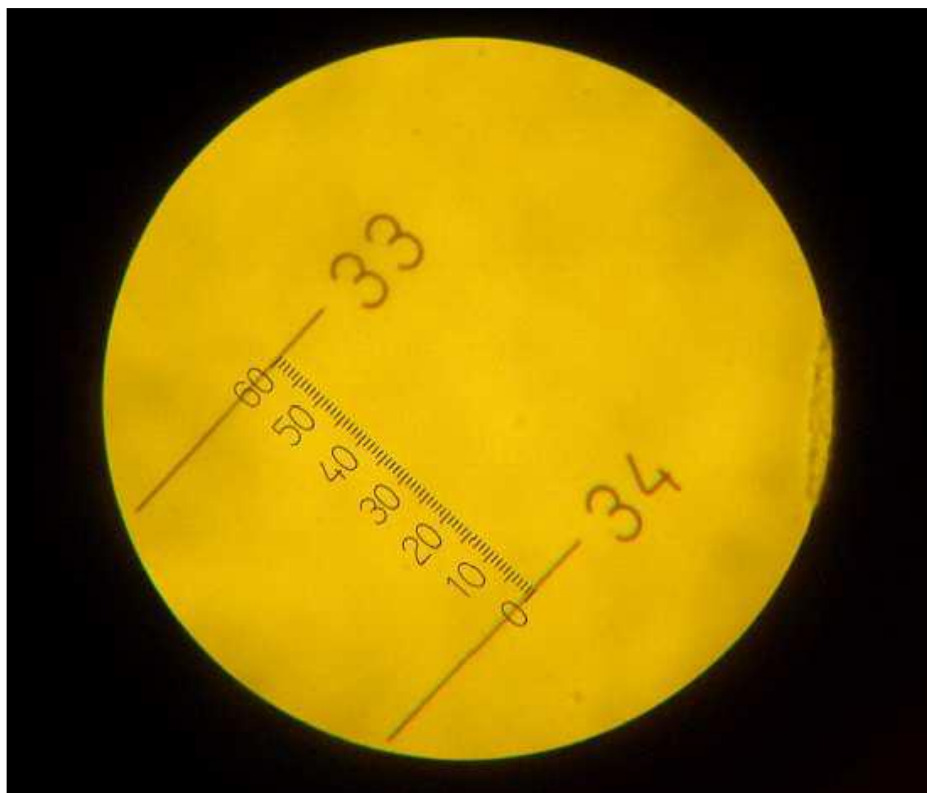
<sup>2</sup> Výraz *limbus* pochází z latiny a znamená okraj, lem nebo ohraničení; vodorovný kruh s úhlovým dělením k měření vodorovných úhlů; *Limbus* (geodeticky), dělený kruh horizontální, který je podstatnou součástí úhломěrných strojů, např. astrolabů, theodolitů apod., bývá dělen na 360° a jednotlivé stupně až na 10 minut. Ve Francii užívá se dělení obvodu *limbu* na 400° (*degrés*). Ve smyslu matematickém je *limbus* rovina, která při měření horizontálních úhlů je vodorovná. Ve smyslu fyzickém je *limbus* plná nebo prolomená kruhová deska. S *limbem* je spojena na strojích úhломěrných *alhidáda*, která má nonius k přesnějšímu určení měřených horizontálních úhlů. Osa otočná *alhidády* je spojena s *limbem* a tvoří tzv. fyzický střed *limbu*. Střed děleného kruhu *limbu* tvoří tzv. matematický střed *limbu*; oba se mají ztotožňovat.

## Měření na optické dělicí hlavě

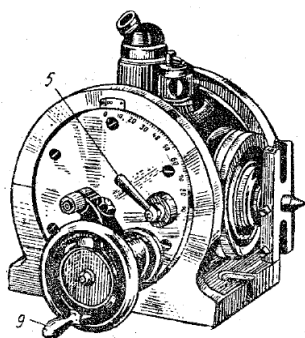
Obraz v okuláru je zobrazen na obrázku č. 97 a skrývá vedlejší dílcovou stupnici.



Obrázek 121 - Stupnice v okuláru dělicí hlavy



Obrázek 122 - Reálná stupnice v okuláru dělicí hlavy



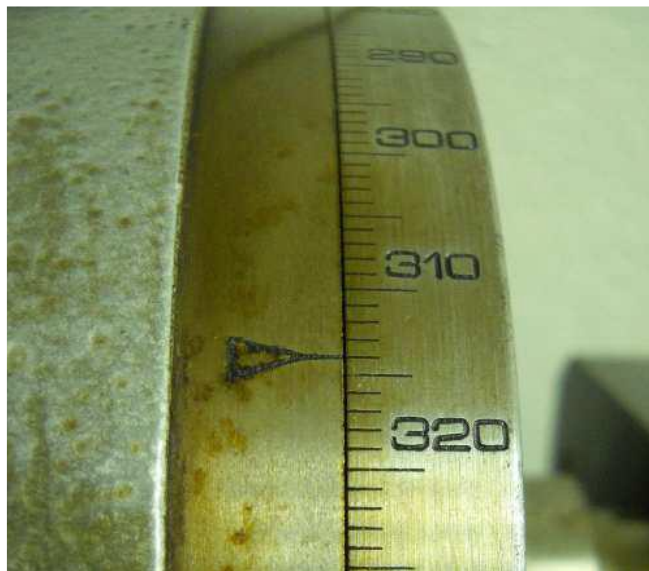
Pro přesné měření je vždy před odečítáním úhlové hodnoty aretovat polohu dělicí hlavy aretačním šroubem tak, aby nedocházelo k nechtěnému pootočení, a tím ke znehodnocení zjišťovaných hodnot.

Obrázek 123 - Aretační šroub



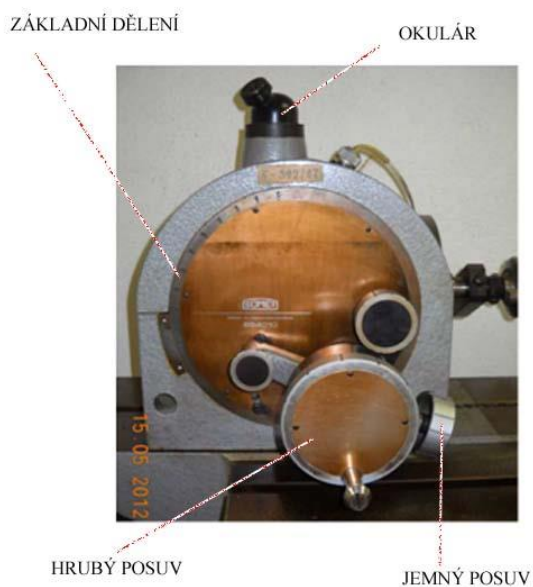
## Měření na optické dělicí hlavě

Základní dělení dílcové úhloměrné stupnice je viditelné po obvodu limbu dělicí hlavy zobrazené na obrázku č. 100. Hodnota dělení je po jednom úhlovém stupni.



Obrázek 124 - Hlavní stupnice dělicí hlavy

Pro přesné natočení podle požadovaných úhlových hodnot nebo pro přesné nastavení snímaných bodů je dělicí hlava vybavena převodem kol pro hrubý a jemný posuv.

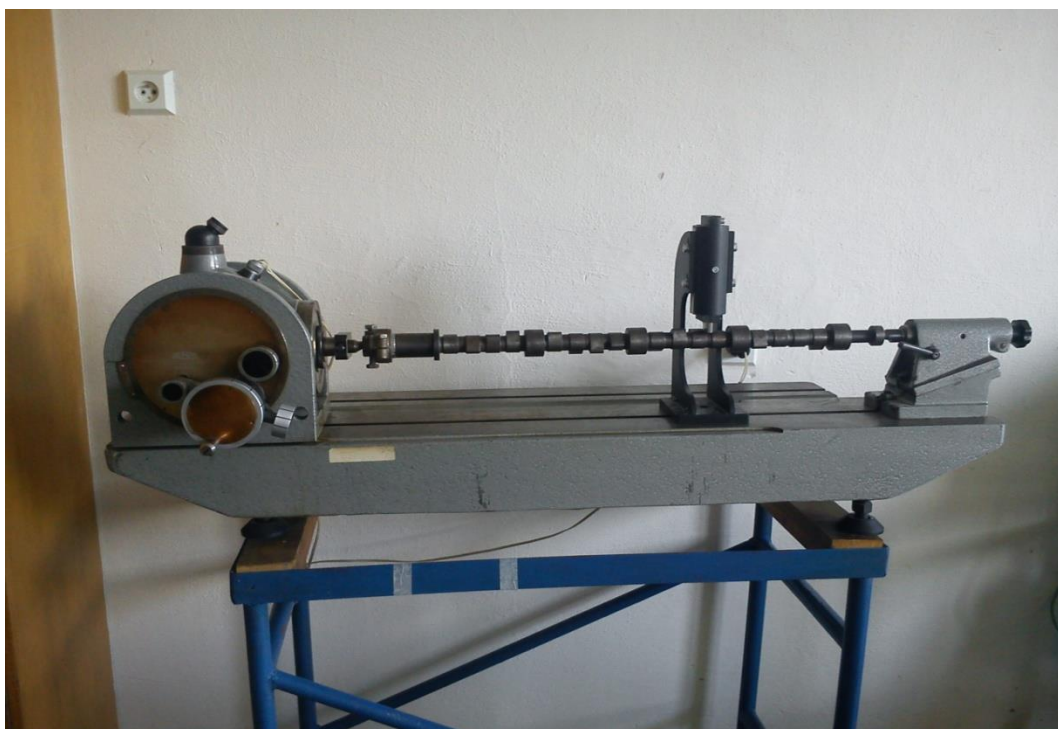


Obrázek 125 - Popis dělicí hlavy

## Měření na optické dělicí hlavě

### Sestava měření

Do čelistí pevně spojené s limbem se připevní měřený díl. Podle jeho délky se podepře pinolou. Použití pinoly i u kratších dílů je z hlediska přesnosti měření výhodnější, protože kvalita vycentrování součásti je v přímé návaznosti na přesnost měření.



Obrázek 126 - Měřicí sestava dělicí hlavy

Měřicí sestava se doplňuje nejčastěji úchylkoměrem, který sleduje nárůst nebo pokles hodnot při konkrétním úhlovém natočení.



## Měření na optické dělicí hlavě

Obrázek 127 - Snímání zdvihu vačky na dělicí hlavě

### Příklad měření úhlových hodnot:

Při měření profilu vačkové hřídele, vačky, lze postupovat následujícím způsobem:

po vložení vzorku do optické dělicí hlavy a kontroly souososti je možné prakticky přikročit ke zjišťování konkrétních hodnot. Hodnoty natočení – úhel natočení vzorku odečíst na okuláru optické dělicí hlavy a zdvih na indikátorovém úchylkoměru. Podle použitého měřidla lze očekávat přesnost výsledků měření. Všechna data je vhodné zaznamenat, dnes do tabulkového procesoru. Pro demonstraci je zvolen velmi používaný Microsoft Excell.

P.č.	úhel natočení	zdvih vačky
1	0,00	0,00
2	10,00	0,00
3	20,00	0,00
4	30,00	0,00
5	40,00	0,00
6	50,00	0,00
7	60,00	0,00
8	70,00	0,00
9	80,00	0,00
10	90,00	0,05
11	100,00	0,10
12	110,00	0,50
13	120,00	0,90
14	130,00	1,30
15	140,00	1,50
16	150,00	2,20
17	160,00	2,90
18	170,00	3,60
19	180,00	4,50

P.č.	úhel natočení	zdvih vačky
20	190,00	6,00
21	200,00	7,50
22	210,00	7,50
23	220,00	7,50
24	230,00	7,50
25	240,00	7,50
26	250,00	6,00
27	260,00	4,50
28	270,00	3,60
29	280,00	2,90
30	290,00	2,20
31	300,00	1,50
32	310,00	1,30
33	320,00	0,90
34	330,00	0,50
35	340,00	0,10
36	350,00	0,05
37	360,00	0,00

Tabulka 2 - Tabulka naměřených hodnot

Samozřejmě je možné dále zpracovávat získaná data do různé podoby. Jako ukázka je zde zvolen graf zdvihu vačky v závislosti na jejím úhlovém natočení. Tento graf je na obrázku č.117 a je grafickým zpracováním ukázkových dat z tabulky 2 – Tabulka naměřených hodnot.

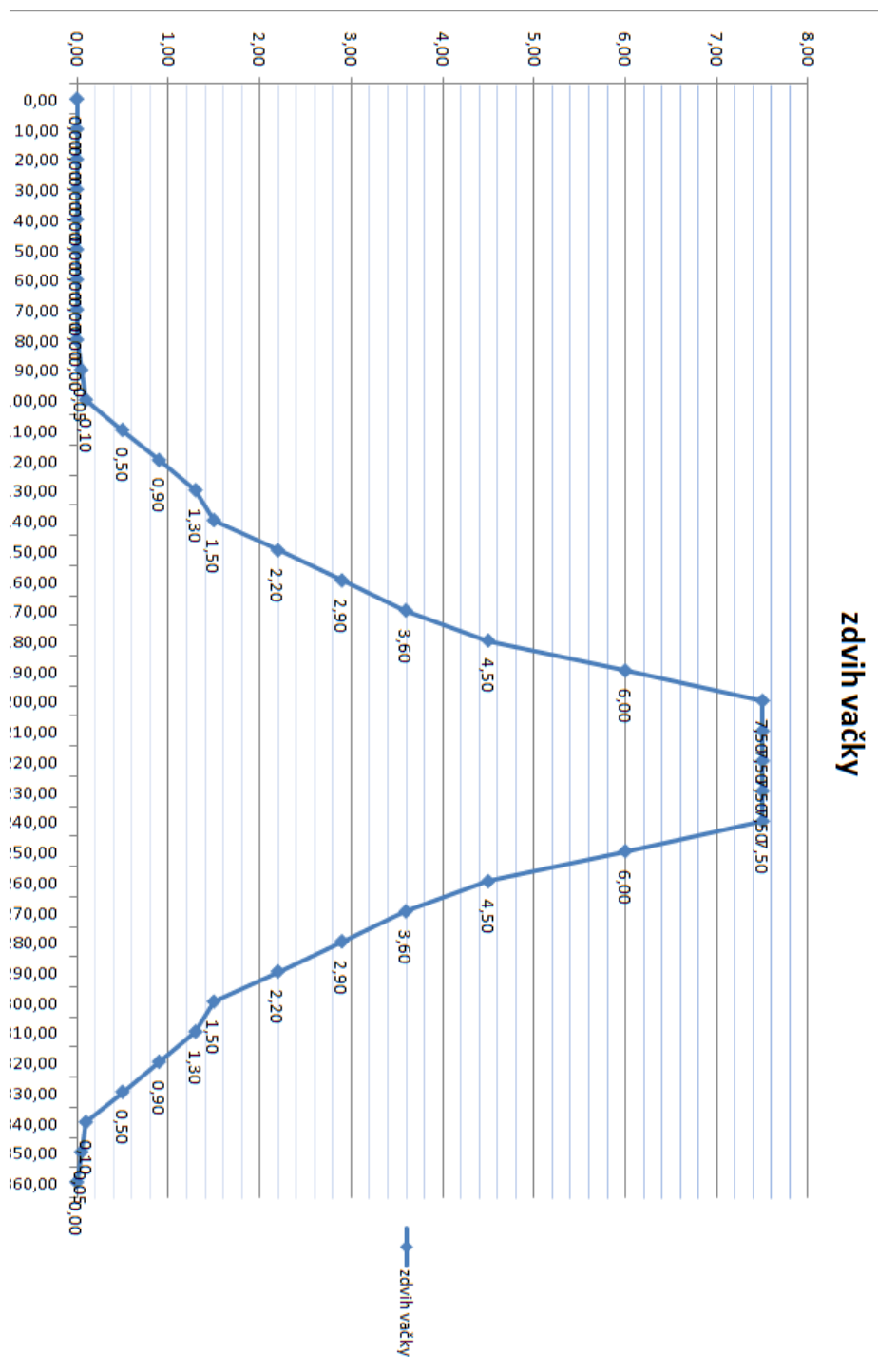
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Měření na optické dělicí hlavě

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Mě

PŘÍKLAD



Obrázek 128- Zdvih vačky v závislosti na jejím úhlovém natočení



## Měření na optické dělicí hlavě

### Konstrukce optického dělicího stolu

Na rozdíl od měření na dělicí hlavě, je dělicí stůl určen k měření úhlů u součástí se svislou osou otáčení. Stejně jako u dělicí hlavy je kvalita vycentrování součásti v přímé návaznosti na přesnost měření. Proto je stůl opatřen drážkami se středícím otvorem. Princip odvození úhlové míry je obdobný jako u dělicích hlav (skleněný kotouč se stupnicí a mikroskopem, inkrementální kruh snímáný fototranzistory). Na obvodu stolu je stupnice k hrubému nastavení úhlů po  $1^\circ$ . K jemnému nastavení slouží matnice, na které jsou zobrazeny stupně (ve dvojité rysce) minuty a sekundy ve světelném okénku.



Obrázek 129 - Stupnice dělicího stolu

Nejčastěji se používají dělicí stoly pro kontrolu dělení a na měřicích mikroskopech u součástek se svislou osou otáčení.

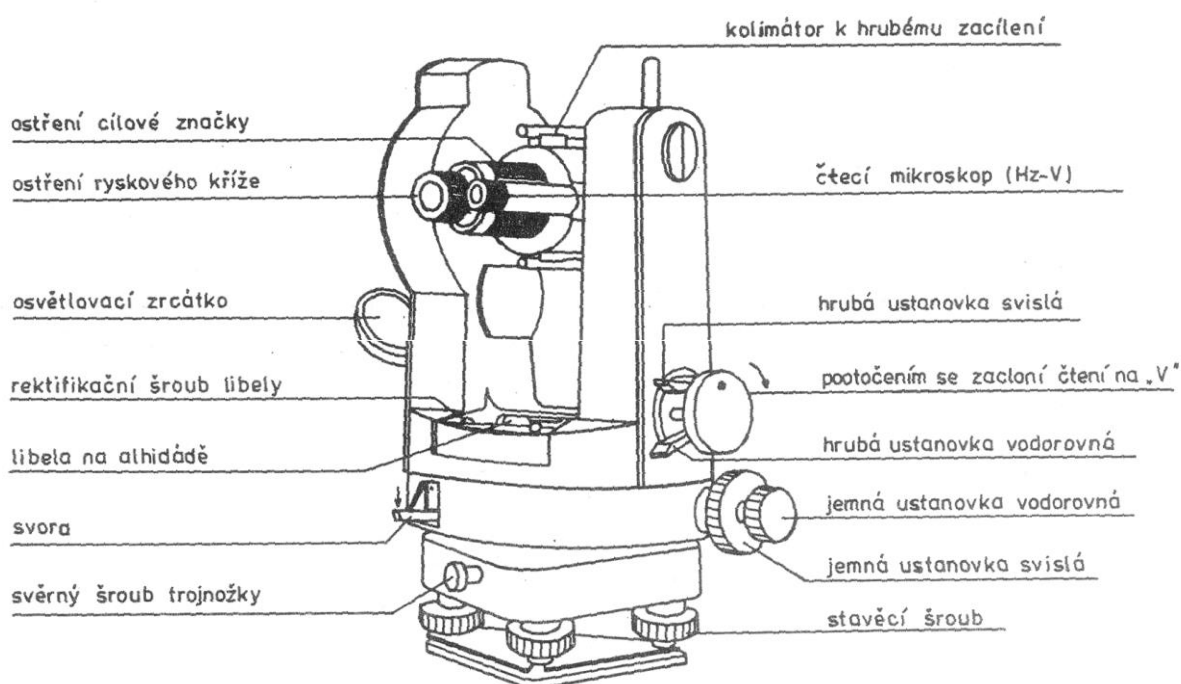
## Měření na optické dělicí hlavě

### Teodolit

Podle konstrukce lze rozeznat teodolity:

- mechanické (mají kovový limbus),
- optické (mají skleněný limbus),
- digitální (mají inkrementální nebo kódované kruhy).

Teodolity slouží k vytyčování a měření úhlů v horizontální a vertikální poloze (měření deformací objektů, mostů, jeřábových drah, geodetická měření atp.).



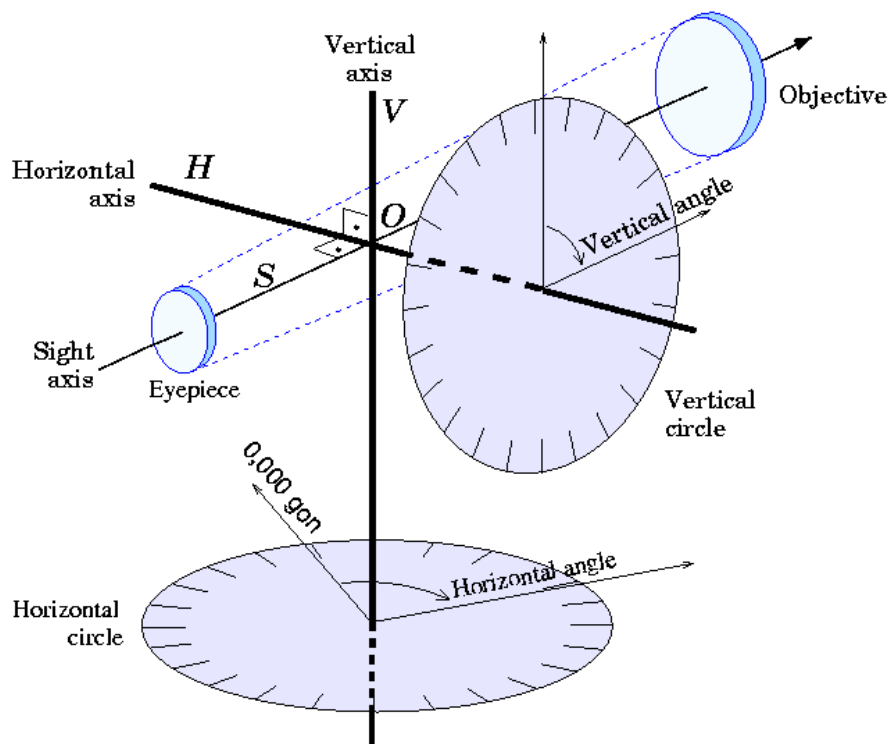
Obrázek 130 - Popis teodolitu

Elektronické teodolity, totální stanice.

Úhlové hodnoty se spolu s dalšími informacemi zobrazují v digitální formě na alfanumerických displejích. Naměřená data mohou být ukládána na paměťová média včetně vkládání popisných nebo číselných informací. Některé elektronické teodolity jsou motorizované a umožňují samočinné cílení přístroje.

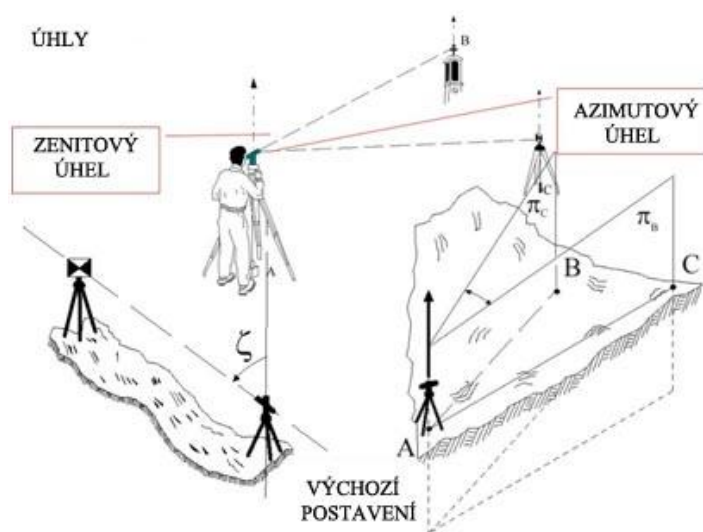
Elektronické teodolity mají často vestavěný i elektronický dálkoměr, mohou tedy měřit i délky. Tento typ přístroje se nazývá totální stanice.

## Měření na optické dělicí hlavě



Obrázek 131 - Princip teodolitu

Systémy zobrazování úhlových hodnot se vzájemně kombinují, a to v několika rovinách. Správná odečítání hodnot jsou u těchto přístrojů zcela nezbytná k dalšímu zpracovávání a činnosti, která se nejčastěji vyskytuje při zeměměřičských pracích.



Obrázek 132 - Práce s teodolitem

## Měření na optické dělicí hlavě



### KONTROLNÍ OTÁZKY

- 1/ Popište základní konstrukci optické dělicí hlavy.
- 2/ Vyjmenujte části sestavy měření pro měření optickou dělicí hlavou.
- 3/ Uveďte nejčastější použití optické dělicí hlavy při měření!
- 4/ Popište základní konstrukci optického dělicího stolu.
- 5/ Uveďte nejčastější použití optického dělicího stolu při měření.
- 6/ Vysvětlete význam přístroje nazvaného Teodolit.
- 7/ Uveďte nejčastější použití Teodolitu při měření.

## Měření na dílenském mikroskopu

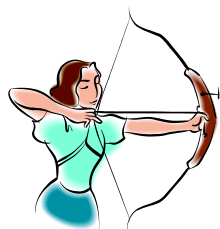
### 11 Měření na dílenském mikroskopu



#### CÍLE

Po prostudování této kapitoly byste měli být schopni:

- formulovat použití dílenského mikroskopu v technickém měření,
- popsat zobrazení vzorku při měření,
- zdůvodnit přesnost měření na dílenském mikroskopu,
- popsat nutnost rozsahu při měření,
- vysvětlit způsob odečítání hodnot.



#### PRŮVODCE STUDIEM

Všeobecné povědomí o mikroskopu říká, že jeho prostřednictvím lze pozorovat věci velmi malé až lidským okem neviditelné.

V technické praxi tak s dílenským mikroskopem můžeme pozorovat a měřit rozdíly velmi malých rozměrů. Při práci s profilprojektory a dílenskými mikroskopy je situace velmi podobná. Také zde jsou zobrazovány vzorky nebo části vzorků ve značném zvětšení. Práce na těchto přístrojích tak vyžaduje značnou pozornost a citlivost jak při pozorování, tak i při manuální přípravě a práci se vzorky.



## Měření na dílenském mikroskopu

Konstrukce dílenských mikroskopů jsou obdobou klasických mikroskopů se spodním zobrazováním. Podle velikosti měřených vzorků je tudíž nutno vybrat i velikost a měřicí rozsah dílenského mikroskopu.



Obrázek 133 – Starší typ dílenského mikroskopu



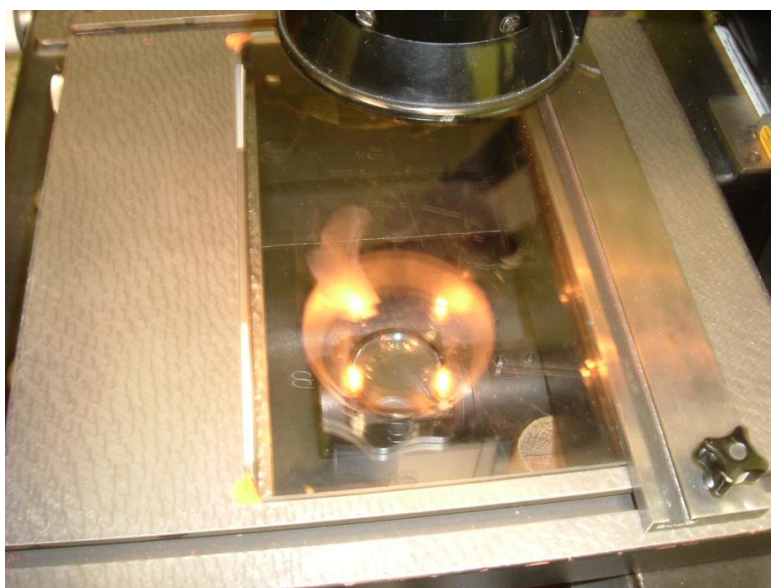
Obrázek 134 – Novější typ dílenského mikroskopu

## Měření na dílenském mikroskopu



Obrázek 135 – Ustavení vzorku na dílenském mikroskopu

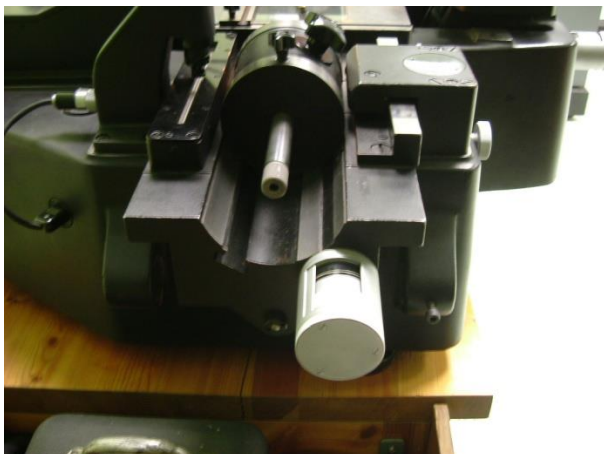
Podobně jako u profilprojektoru je vzorek ozářen světelným paprskem, který je veden do tubusu mikroskopu. Zde je obraz zvětšen a na nitkovém kříži vyrovnána měřená hrana.



Obrázek 136 – Osvit vzorku

## Měření na dílenském mikroskopu

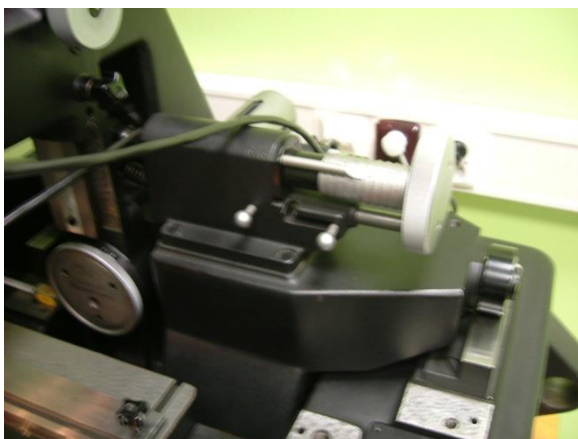
Posun v osách X;Y je zajištěn mikrometrickým šroubem s optickým snímáním polohy. Osa Z je ovlivněna zaostřením světelného paprsku a je neměřitelná. Odečítání polohy je obdobné jako u odečítání délkového měření na univerzálním délkoměru.



Obrázek 137 – Posun v ose X



Obrázek 138 – Posun v ose Y



Obrázek 139 – Posun v ose Z



## Měření na dílenském mikroskopu

Samotné úhlové měření je provedeno natáčením nitkového kříže v okuláru, jehož velikost je snímána na optické úhlové stupnici pod okulárem.

Přesnost těchto měření se pohybuje na hranici 1 úhlové minuty.

### Způsob odečítání

Délkový posun je zobrazen ve spirálovém noniu viditelném v okuláru.

- V okuláru je skleněné měřítko s dělením po 0,1 mm a otočná destička, která se dá otáčet třecím převodem.
- Na skleněné destičce je dvojitou čarou vyryta Archimédova spirála se stoupáním 0,1 mm.
- Destička je na okraji opatřena stupnicí se 100 dílky, takže otočením destičky o 1 dílek se posune relativní čára spirály na pevném desetinném měřítku o 1 nm (0,001 mm).

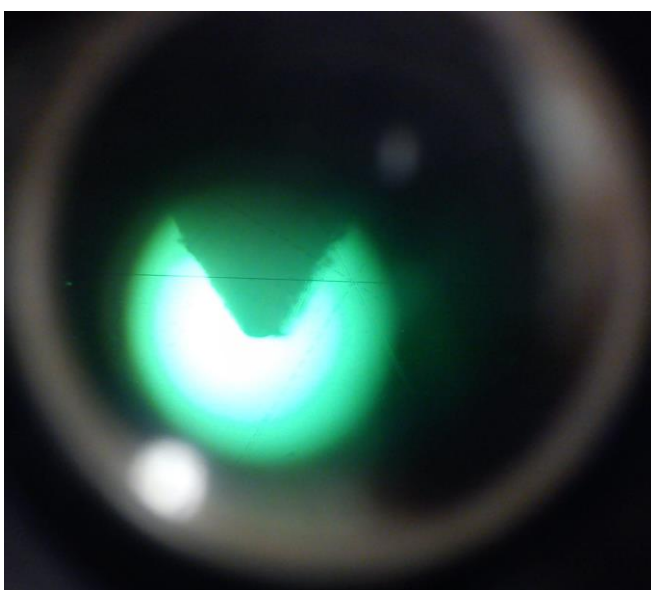


Obrázek 140 – Okulár mikroskopu

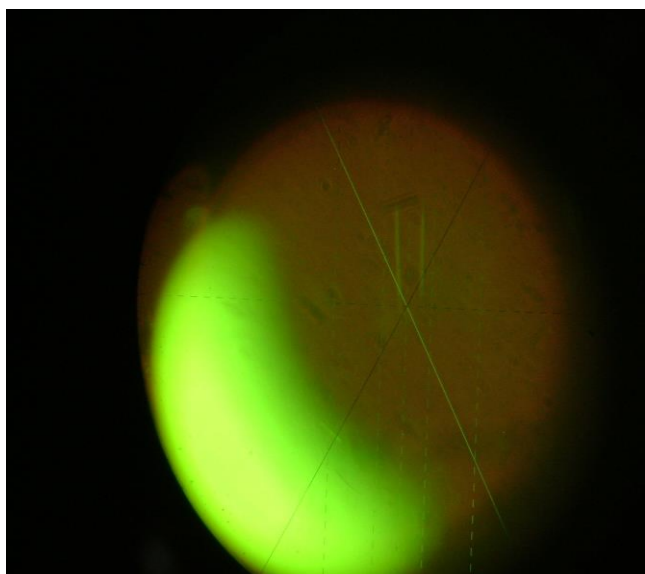
## Měření na dílenském mikroskopu

### Postup odečítání

- Do okuláru se promítá zvětšené měřítko v celých mm.
- Nejprve se odečte hodnota v mm (tj. hodnota, která se nachází v poli spirály nonia) a dále se určí desetiny.
- Pak natáčíme noniem tak dlouho, až se ryska milimetrového měřítka nalézá mezi dvojitou čarou spirály. Tím jsme otočili noniem o určitý počet dílků na kruhovém měřítku a můžeme určit tisícínovou část měřené hodnoty.
- Výsledná hodnota je tedy součtem jednotlivých odečtených hodnot.



Obrázek 141 – Zobrazení v okuláru



Obrázek 142 – Odečítání na dílcové stupnici



## Měření na dílenském mikroskopu



### KONTROLNÍ OTÁZKY

- 1/ Charakterizujte princip měření na dílenském mikroskopu a profilprojektoru.
- 2/ Vysvětlete požadavek na výběr velikost měřeného vzorku.
- 3/ Vyjmenujte způsob posunu v osách X;Y;Z na dílenském mikroskopu.
- 4/ Uveďte přesnost měření na těchto měřidlech.
- 5/ Svými slovy vysvětlete způsob odečítání hodnot při měření.
- 6/ Analyzujte nejčastější příčiny nekvalitní práce a chyb při měření.

## Měření goniometrickými pravítky

### 12 Měření goniometrickými pravítky



#### CÍLE

Po prostudování této kapitoly byste měli být schopni:

- formulovat použití goniometrických pravítek v technickém měření,
- popsat metody nepřímého způsobu v technickém měření,
- zdůvodnit používání nepřímých metod z pohledu nepřesnosti měření,
- vyjmenovat základní části nutné pro měřicí sestavu,
- vysvětlit matematický postup použitý pro zjištění úhlu.



#### PRŮVODCE STUDIEM

Goniometrická pravítka nejsou měřidla v klasickém pojetí. Nikde na nich nenajdete stupnici. Presto s jejich pomocí můžeme zjistit hodnoty úhlu. Základem použití goniometrických pravítek je znalost matematických goniometrických funkcí. Dnes jsou tyto matematické vztahy úhlů a stran v pravoúhlém trojúhelníku učivem 2. stupně základních škol. Na praktické použití však na sebe nechá dlouho čekat.

Pro sinusové pravítko je to funkce sinus úhlu v pravoúhlém trojúhelníku a pro tangentové pravítko je to funkce tangens v pravoúhlém trojúhelníku. S touto kapitolou spolupracuje videoklip „Měření sinusovým pravítkem“ a prezentace „Měření tangentovým pravítkem“.

## Měření goniometrickými pravítky

Při zjišťování hodnot úhlů lze vycházet i z využití goniometrických funkcí, a to při použití metod měření sinusovým nebo tangentovým pravítkem. Samostatně není goniometrické pravítko prostředkem pro měření úhlů, tím se stává až ve spojení s koncovými měrkami a nejčastěji číselníkovým úchylkoměrem, které jej umožní použít na stanovování a měření úhlů.

Podle citlivosti měřidel použitých v sestavě lze uvažovat i o přesnosti měření, kdy za použití sestavy přesných měřidel jde o měření sice nepřímé, ale s velmi vysokou přesností.

### Sinusové pravítko

Konstrukčně jsou pravítka složena z přesně opracovaných rovině broušených desek a pevně připevněných broušených, rozměrově stejných válečků. Rozteč válečků je nejčastěji 100, 150, 200, a 300 mm.

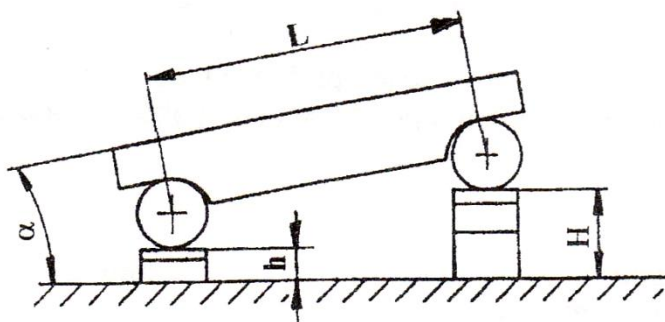
Měřená součást je položena na horní plochu pravítka tak, že měřený úhel tvoří styčná plocha a horní plocha obrobku. Na horní plochu obrobku dosedá měřicí dotek úchylkoměru. Správná hodnota měřeného úhlu se zjistí tak, že přejíždíme úchylkoměrem upnutým ve stojáнку po horní ploše měřené součásti. Je-li úhel správný, to znamená, že pokud je sestava podložena správným rozměrem měrek, úchylkoměr neukáže žádnou úchytku.



Obrázek 143 – Můstek sinusového pravítka

Samotný výsledek je nutno spočítat podle goniometrické funkce  $\sin \alpha$ .

Rovnice 9



Obrázek 144 – Zobrazení goniometrické funkce

$$\text{platí: } \sin \alpha = \frac{H - h}{L}$$

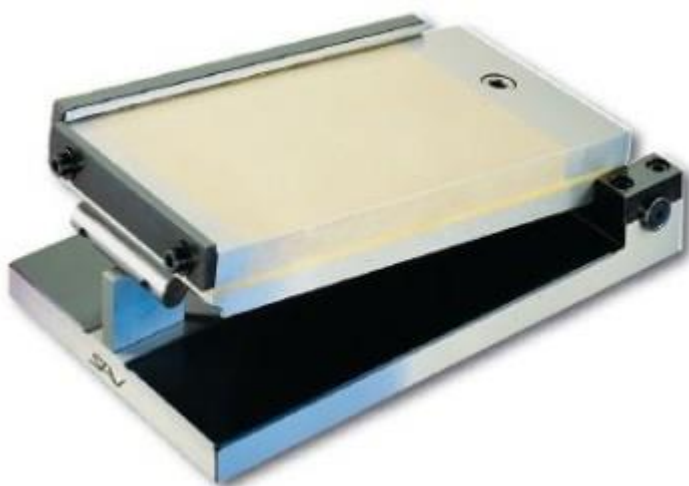
## Měření goniometrickými pravítky

Konstrukčně se vyrábí také jako:

- sinusové pravítko s prizmou,
- sinusové pravítko s hroty,
- sinusové pravítko s příložkou,
- sinusový stůl,
- sinusový svěrák.

### Sinusový stůl

Konstrukčně je sinusový stůl složen z přesně opracovaných, rovině broušených desek, tvořící základní stůl a k němu otočně připevněnou broušenou měřicí desku. Rozteč otočného čepu a válečku je vyráběna ve stejných rozměrech jako sinusová pravítka.



Obrázek 145 – Sinusový stůl

Princip měření je stejný jako u sinusových pravítek. K měření úhlu je zapotřebí sestavy sinusového stolu, základových měrek a úchylkoměru. Správné sestavení se zjistí tak, že přejíždíme-li úchylkoměrem upnutým ve stojánek po horní ploše měřené součásti, úchylkoměr neukáže žádnou úchylku. Skutečnou hodnotu úhlu je pak zapotřebí stanovit výpočtem.

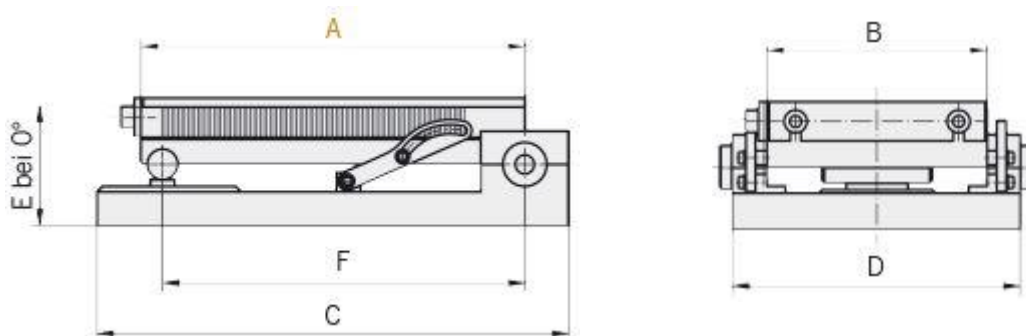
Aplikací sinusového stolu jsou i sinusové svěráky, používané pro přesnou strojní výrobu. Zde se sice již neměří, ale úhel je nastavován stejným principem.

Přesnost těchto zařízení:

Úhlová přesnost -	+/- 5 sekund
Paralelita dvou rovnoběžných ploch -	+/- 0,005 / 100 mm
Rozsah naklápění -	0 až 30 stupňů

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Měření goniometrickými pravítky



Obrázek 146 – Rozměry sinusového stolu



Obrázek 147 – Křížový sinusový stůl



Obrázek 148 – Sinusový stůl se svěrákem



## Měření goniometrickými pravítky

### Tangentové pravítko

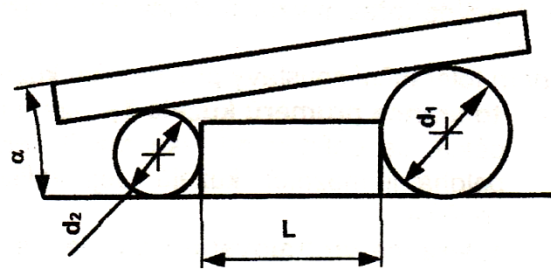
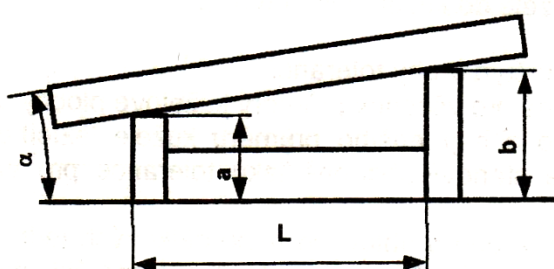
Konstrukčně jsou pravítka složena z přesně opracovaných, rovinně broušených desek. K nastavení lze použít základových měrek nebo dvou nestejných broušených válečků a základových měrek. Správná hodnota měřeného úhlu se zjistí tak, že přejíždíme úchylkoměrem upnutým ve stojánku po horní ploše měřené součásti. Je-li úhel správný, úchylkoměr neukáže žádnou úchylku.

Samotný výsledek je nutno spočítat podle goniometrické funkce *tangens alfa*. Měření je méně přesné než u sinového pravítka.

Rovnice 10

– platí: při použití měrek:  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{b - a}{L}$

při použití válečků:  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{d_1 - d_2}{d_1 + d_2 + 2L}$



Obrázek 149 – Zobrazení goniometrické funkce tangentového pravítka

#### Aplikace tangentového pravítka

Pro měření kuželů pomocí přesných válečků a základních měrek viz obr. 104. Při použití uváděné metody jsou užívány dvě stejné rovnoběžné základové měrky a dva měřicí válečky se stejným průměrem. Po zjištění délkových hodnot přes válečky je úhel kuželu vypočítán podle následujícího vztahu:

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{2} = \frac{\text{rozdíl rozměrů}}{2 \text{ násobek základové měrky}} = \frac{d_1 - d_2}{2 * L}$$

Rovnice 11

## Měření goniometrickými pravítky

### Příklad výpočtu úhlových hodnot

Dopsat měření stejného vzorku

Měření Sinusovým pravítkem

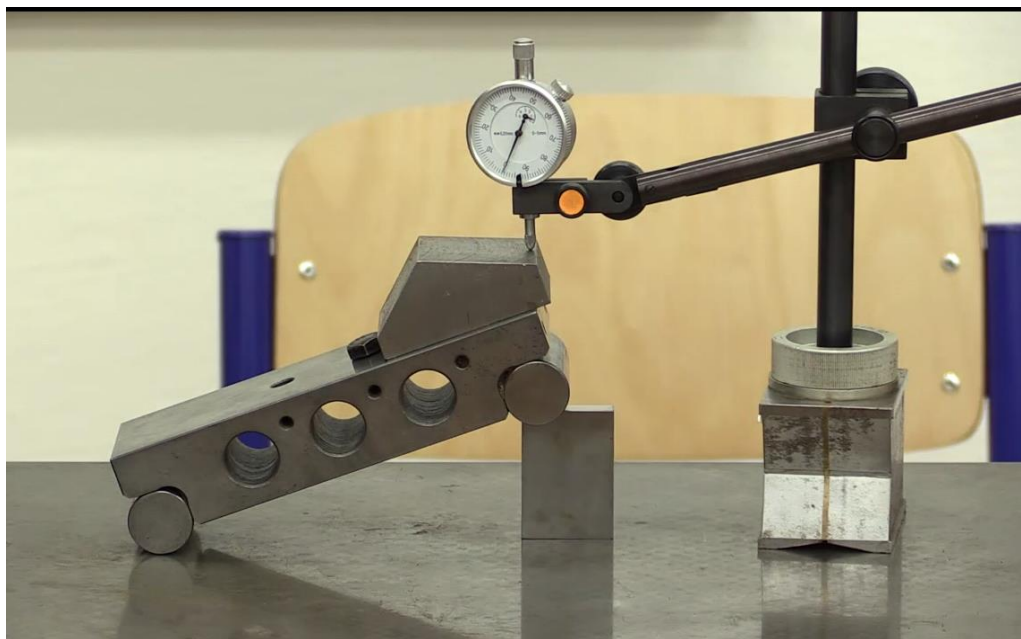
L = Délka sin. pravítka = 200 mm

E = (kombinace základních měrek, H-h) = 89,24 mm

Při sestavování vzniká pravoúhlý trojúhelník, jehož přepona má délku L a protilehlou odvěsnu představuje výška základních měrek E.

$$\sin \alpha = \frac{\text{protilehlá odvěsna}}{\text{přepona}} = \frac{E}{L} = \frac{89,24}{200} = 0,4462$$

$$\sin \alpha = 0,4462 = \text{což představuje úhel} = 26,5 \text{ stupně}$$



Obrázek 150 - Měření sinusovým pravítkem

## Měření goniometrickými pravítky

Měření Tangentovým pravítkem

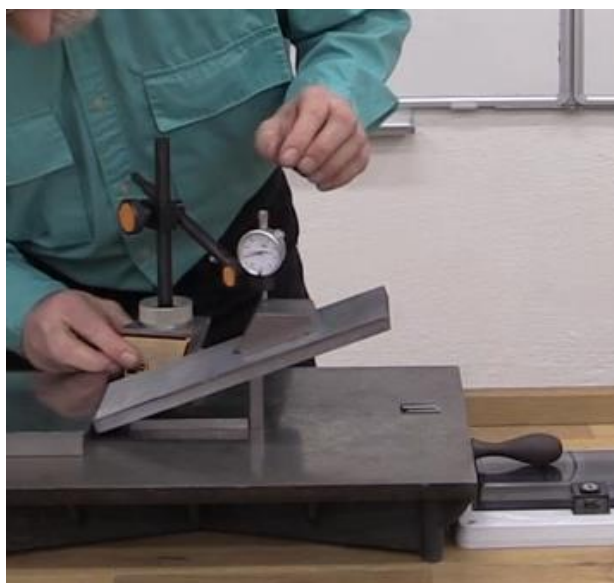
$b - a$  = rozdíl mezi měrkami, použitými jako stojiny pravítka = 40 mm

$L$  = kombinace základních měrek mezi stojinami pravítka = 105,85 mm

Při sestavování vzniká pravoúhlý trojúhelník, jehož přilehlá odvěsna má délku  $L$  a protilehlou odvěsnu představuje rozdíl výšky základních měrek ( $b - a$ ).

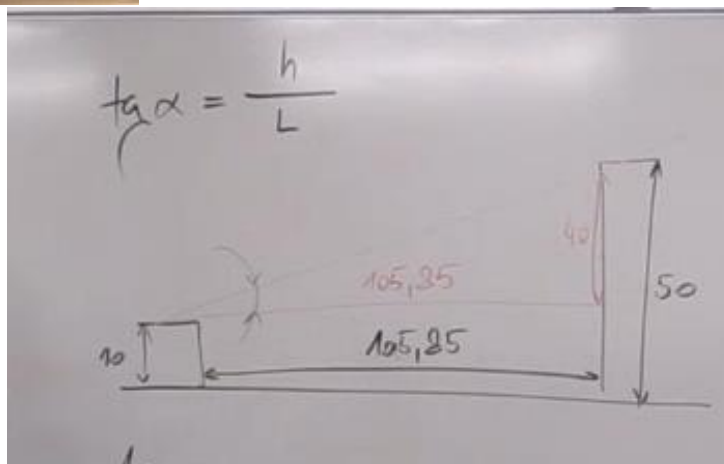
$$\text{tg } \alpha = \frac{\text{protilehlá odvěsna}}{\text{přilehlá odvěsna}} = \frac{b - a}{L} = \frac{40}{105,85} = 0,377893245$$

$$\text{tg } \alpha = 0,377893245 = \text{což představuje úhel} = 20,7 \text{ stupně}$$



Obrázek 151 - Měření tangentovým pravítkem

Obrázek 152 - Příklad vyhodnocení měření tangentovým pravítkem



## Měření goniometrickými pravítky

### Sestava jednoduchého měření sinusovým pravítkem



Obrázek 153 – Magnetický stojánek



Obrázek 154 – Mikrometrický / číselníkový úchylkoměr



Obrázek 155 – Sada základních rovnoběžných měrek / Johannsonovy měřky

## Měření goniometrickými pravítky



Obrázek 156 – Měřicí sestava 1



Obrázek 157 – Měřicí sestava 2



## Měření goniometrickými pravítky

### Příklad měření úhlových hodnot:

Pro jednoduchý příklad úhlových měření byl zvolen vzorek použitý při předcházejících úhlových měřeních. Je také zobrazen na předchozích stránkách (obr. 29, 59).

Jako čtvrté měřidlo bylo použito laboratorní měřidlo – **sinusové pravítko**.

Měření nepřímou goniometrickou metodou je zachyceno na obr. 156 a 157.

Aplikovaný postup je následující:

- 1) Sinusové pravítko položte na průměrnou desku.
- 2) Připravte si základní rovnoběžné měřky a do stojánku vedle pravítka upevněte číselníkový úchylkoměr.
- 3) Na sinusové pravítko délky **L** položte měřenou součást a zajistěte proti posuvu.
- 4) Při měření máte jeden váleček položený na průměrné desce.
- 5) Pod druhý váleček vkládejte základní měřky o rozměru **H** tak dlouho, až je horní plocha součásti ve vodorovné rovině s průměrnou deskou – viz obr. 140 (nebo můžete měřit tak, že pro daný úhel  $\alpha$  a vzdálenost středu válečků **L** vypočítáte hodnotu **H**, tu sestavíte ze základních měrek rovnoběžných a vložíte pod váleček pravítka, měřenou součást pak položíte na pravítko).
- 6) Správnost úhlu  $\alpha$  zjistíte tak, že po horní kontrolované součásti budete přejíždět číselníkovým úchylkoměrem, upnutým ve stojánku. Je-li úhel na součásti přesně dodržen, ručička úchylkoměru se nebude pohybovat.

Úhel sklonu pracovní plochy pravítka k ploše průměrné desky je dán matematickým vztahem pro goniometrickou funkci sinus. Vztah mezi úhlem  $\alpha$  funkcí **sin  $\alpha$**  najdete v trigonometrických tabulkách.

## Měření goniometrickými pravítky



### KONTROLNÍ OTÁZKY

- 1/ Vysvětlete pojem Goniometrické pravítko.
- 2/ Vyjmenujte aplikace goniometrických pravítek.
- 3/ Vyjmenujte části měřicí sestavy pro měření goniometrickými pravítky.
- 4/ Vyjmenujte správné zacházení při práci a měření s měřidly!
- 5/ Svými slovy vysvětlete základy goniometrických funkcí v pravoúhlém trojúhelníku.
- 6/ Analyzujte nejčastější příčiny chyb při uvedených měřeních!
- 7/ Vysvětlete význam správného postupu při měření goniometrickými pravítky.

## Multifunkční měřicí stroj - SMS

### 13 Multifunkční měřicí stroj - SMS



#### CÍLE

Po prostudování této kapitoly byste měli:

- získat představu o posledních měřicích technologiích,
- uvědomit si požadavky na kvalifikaci obsluhy,
- pochopit hranice technických možností SMS,
- poznat technologickou slučitelnost některých typů měření,
- vysvětlit výhody pro metody projektování ve virtuálním prostoru.



#### PRŮVODCE STUDIEM

Multifunkční, nebo spíše souřadnicové měřicí stroje, slouží ke komplexnímu měření součástí v nejrůznějších průmyslových oborech. Tato kategorie měřicí techniky obsahuje jak manuální souřadnicové měřicí stroje, k jejichž obsluze je potřeba pracovník, který měření provádí, tak plně CNC řízené měřicí stroje, u kterých není přítomnost pracovníka při měření nezbytně nutná. V každém případě jsou však na obsluhu těchto měřicích zařízení kladeny vysoké nároky na kvalifikaci. Koncepčně je vytvořeno několik nejpoužívanějších variant. S touto kapitolou spolupracuje prezentace „Nejnovější měřidla“.

## Multifunkční měřicí stroj - SMS

Souřadnicové měřicí stroje se mohou užívat pro jednotlivá měření, ale také měření v malých a středních sériích pro měření komplikovaných tvarů obrobků. Nejsou tedy primárně určeny pro úhlová měření, ačkoli je možné je pro úhlová měření použít.

### WERTH Video-Check HA

Tento stroj se dá pokládat za kombinaci SMS s více prvkovým snímáním. Základní deska je z leštěné žuly podobně jako portál, na kterém je zavěšena multifunkční snímací hlava. Pohyb základní desky je v kuličkové dráze. Samotný měřený vzorek je však položen na skleněné desce základního pohyblivého stolu tak, aby byl přístupný ze všech stran. Celý stroj představuje CNC systém s programovatelným posouváním stolu, osvětlovacího zdroje i snímací hlavy se samostatně vyměnitelnými snímacími prvky.

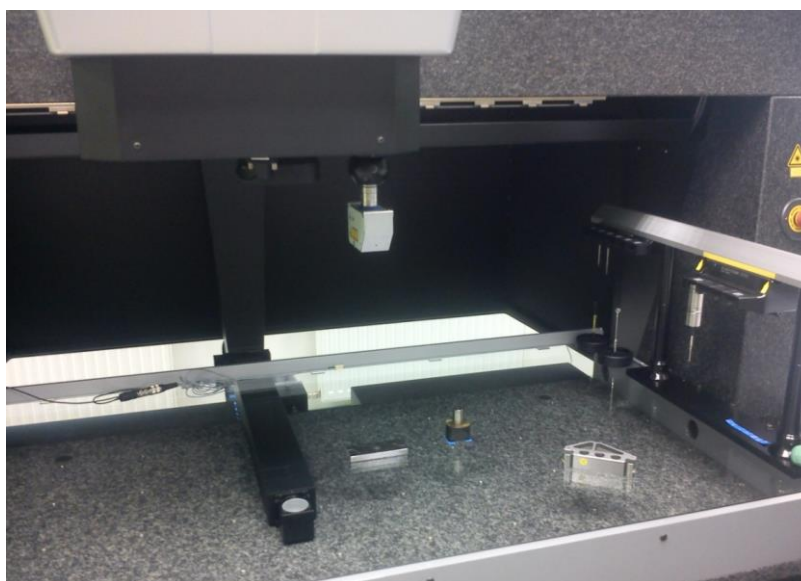


Obrázek 158 – Pracoviště multifunkčního měřicího stroje WERTH

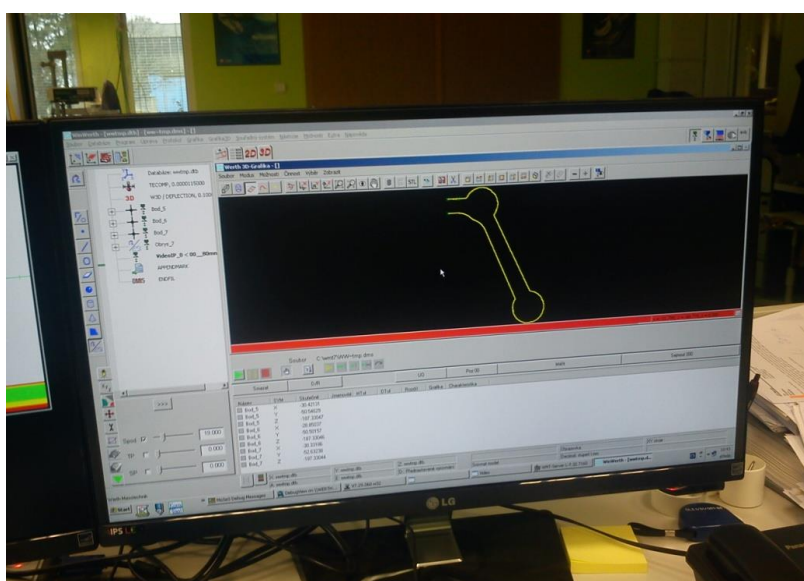
## Multifunkční měřicí stroj - SMS

Ovládání lze přepínat z modu skenování (snímání jednotlivých bodů) do programu s definovanými snímanými body a jejich přístupovými směry. Samotné snímání je možno provádět mechanicky (nejčastěji vyměnitelný dotek s rubínovým zakončením), opticky (podobně jako u profilprojektoru je prosvětlen měřený vzorek světelným paprskem a sejmut CCD snímačem) nebo laserem (červený rubínový laserový paprsek opět snímáný CCD snímačem). Výsledky jsou programově zpracovány s možnostmi grafického zobrazení, transferem dat do CAD-CAM systémů nebo technické zprávy v tištěné podobě.

Přesnost těchto měření se pohybuje na hranici 0.01 mm při snímání tvarů laserem a v případě ostatních způsobů snímání 0,0001 mm.



Obrázek 159 – Snímání laserem

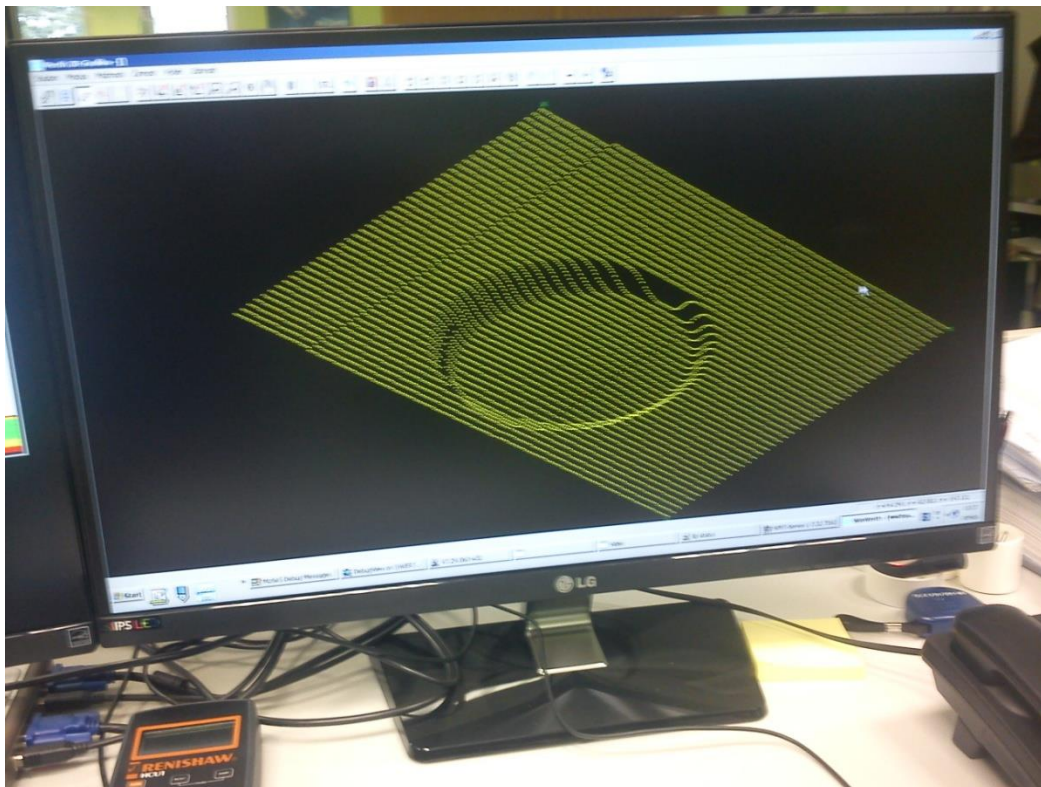


Obrázek 160 – Zobrazení nasnímaných hodnot





## Multifunkční měřicí stroj - SMS



Obrázek 163 – Možné zpracování nasnímaných hodnot ve virtuálním prostoru



### KONTROLNÍ OTÁZKY

1/ V tomto případě nejde o učební text, který by Vás naučil pracovat se zmíněným SMS, ale o získání představy o směru technologického vývoje v měřicí technice.

## Využití modulu v předmětech

### 14 Využití modulu v předmětech

#### Technická měření - TME

#### Kontrola a měření - KOM

Podle ŠVP jsou obsahem výuky kapitoly:

Chyby měření

Hrubé

Systémové

Přímé měření úhlů

Univerzálním úhloměrem

Optickým úhloměrem

Úhlovou vodováhou – libelou

Optickou dělicí hlavou

Nepřímé měření úhlů

Sinusový pravítkem

Tangentovým pravítkem



Obrázek 164 – Konečný potlesk vítězům

## Literatura

### 15 Literatura

#### Prameny

- 1) BENDIX F., *Učíme se pracovat s kovem*. Praha: STNL 1961.
- 2) TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004. 104 s. ISBN 978-80-248-0671-62.
- 3) MARTINÁK, Milan. *Kontrola a měření: pro 3. r. SPŠS*. první. Praha: SNTL, 1989. ISBN 04-241-89.
- 4) ŠULOVÁ, Jindra. *Kontrola a měření*. Ostrava, 2002. nepublikovaná práce. Skripta OU.
- 5) RYCHLÝ, Rudolf. A KOLEKTIV. *Automatické řízení*: 1 díl. druhé. Praha: SNTL, 1987. ISBN 40-519-87.
- 6) OUTRATA, Jiří a Jan DEISS. *Nástrojař speciálních měřidel*: díl 1. druhé. Praha: SNTL, 1959. ISBN 05-63/64-D580890.
- 7) HORÁK, Pavel. *Podpora výuky Strojírenské technologie pomocí modelů*. Zlín, 2007. Bakalářská. Universita Tomáše Bati. Vedoucí práce Ing. Bílek Ondřej.
- 8) SPARAVIGNA, Amelia Carolina. *The architekt Kha's protractor*. Politecnico di Torino, 2010. Dipartimento di Fisica. Torino.
- 9) Zákon č. 561/2004 Sb., o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání a o změně některých zákonů (školský zákon).
- 10) OCHMANOVÁ Marie. *Strojní a technologická měření*. Příručka pro výuku KOM. Karviná, 2006. SPŠ Karviná – Hranice p.o.

#### Zdroje

- 1) [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_detailpage&v=i-BdH3FMEHU](http://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=i-BdH3FMEHU) - měření úhlů
- 2) <http://www.youtube.com/watch?v=3wGRVZQe5DQ> - základy geometrie
- 3) <http://www.youtube.com/watch?v=igorfU1XOko> - pohádka o staviteli lodí
- 4) <http://www.youtube.com/watch?v=v6rQ-e64QQA> - sin a cosin
- 5) <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C3%9Ahel> - úhel
- 6) <http://www.micro-epsilon.cz/laser-scanner-profile-sensor/index.html> - scanning
- 7) <http://www.sometcz.com/obchod/meridla-na-mereni-uhlu.html>



## Seznam obrázků

### 16 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Prázdná hlava .....	7
Obrázek 2 – Úhloměr staré egyptské říše .....	7
Obrázek 3 – Úhloměrná stupnice .....	7
Obrázek 4 – Rovinný a prostorový úhel .....	8
Obrázek 5 – Rovinný úhel .....	9
Obrázek 6 – Prostorový úhel .....	10
Obrázek 7 – Plná hlava .....	10
Obrázek 8 – Dílcová úhloměrná stupnice .....	17
Obrázek 9 – Přikládání dílenského úhloměru .....	18
Obrázek 10 – Přikládání univerzálního úhloměru .....	18
Obrázek 11 – Přikládání úhelníku .....	19
Obrázek 12 – Chyby při přikládání úhelníků .....	19
Obrázek 13 – Špatně ošetřovaný úhloměr .....	21
Obrázek 14 – Certifikát výrobce měřidel z EU .....	28
Obrázek 15 – Certifikát výrobce měřidel mimo EU .....	28
Obrázek 16 – Příklad kalibračního listu vydávaného v České republice .....	29
Obrázek 17 – Příklad průvodního listu dováženého měřidla .....	30
Obrázek 18 – Vyškolený pracovník .....	33
Obrázek 19 – Příklady nejběžnějších chyb při měření .....	34
Obrázek 20 – Příklady správného a špatného držení úhelníku .....	38
Obrázek 21 – Různé typy úhelníků .....	39
Obrázek 22 – Skládání úhlových měrek .....	40
Obrázek 23 – Sada úhlových měrek a klínů .....	40
Obrázek 24 – Sada úhlových měrek .....	40
Obrázek 25 – Optické polygony .....	41
Obrázek 26 – Nejběžnější typy úhlových šablon .....	42
Obrázek 27 – Příklad jednoduchého úhloměru .....	42
Obrázek 28 – Detail limbu a měřícího ramena jednoduchého úhloměru .....	43
Obrázek 29 – Vzorek .....	44
Obrázek 30 – Měření vzorku dílenským úhloměrem .....	44
Obrázek 31 – Čtení hodnoty na stupnici úhloměru .....	45
Obrázek 32 – Části univerzálního úhloměru .....	46
Obrázek 33 – Popis optického úhloměru .....	47
Obrázek 34 – Přikládání optického úhloměru .....	47
Obrázek 35 – Měření na příměrné desce nebo stole .....	48
Obrázek 36 – Měření na příměrném stole úhloměrem upevněným na stojanu .....	48
Obrázek 37 – Měření úhlů na vnějších a vnitřních plochách .....	48
Obrázek 38 – Doplnkové úhly .....	49
Obrázek 39 – Dělení pomocné dílcové stupnice .....	50
Obrázek 40 – Měření s nástavcem .....	50
Obrázek 41 – Čtení na dílcové stupnici úhloměru .....	51
Obrázek 42 – Příklad čtení hodnot z dílcové stupnice .....	51
Obrázek 43 – Měření ostrého úhlu .....	52



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Seznam obrázků

Obrázek 44 - Měření tupého úhlu .....	52
Obrázek 45 – Odčítání měřeného úhlu .....	52
Obrázek 46 – Měření v rozdílných kvadrantech .....	53
Obrázek 47 - Měření ostrého úhlu .....	53
Obrázek 48 - Měření se stavitelnou příložkou .....	53
Obrázek 49 – Úhly geometrie řezného nástroje – soustružnického nože .....	54
Obrázek 50 - Přiložení měřidla .....	55
Obrázek 51 - Sevření ramen měřidla .....	55
Obrázek 52 - Aretace měřidla .....	55
Obrázek 53 - Odečítání hodnoty .....	55
Obrázek 54 – Univerzální úhloměr .....	58
Obrázek 55 - Příklady měření univerzálním úhloměrem .....	58
Obrázek 56 – Optický úhloměr .....	59
Obrázek 57 – Příklad řezu zvětšovací okulárem optického úhloměru .....	59
Obrázek 58 - Příklad optického úhloměru firmy Kinex .....	60
Obrázek 59 – Příklad optického úhloměru firmy Mitutoyo .....	60
Obrázek 60 - Popis optického úhloměru .....	61
Obrázek 61 - Optický úhloměr Mitutoyo .....	62
Obrázek 62 - Lupa optického úhloměru .....	62
Obrázek 63 - Vzorek .....	63
Obrázek 64 - Měření vzorku optickým úhloměrem .....	63
Obrázek 65 - Odečtení hodnoty na stupnici optického úhloměru .....	64
Obrázek 66 - Digitální úhloměr firmy Mitutoyo .....	65
Obrázek 67 - Základní části digitálního úhloměru .....	66
Obrázek 68 - Kalibrační list .....	67
Obrázek 69 - Snímací část .....	68
Obrázek 70 – Adjustace měřidla .....	68
Obrázek 71 - Bez adjustace měřidla .....	69
Obrázek 72 - Zobrazovací display měřidla .....	69
Obrázek 73 - Vzorek .....	70
Obrázek 74 - Adjustace digitálního úhloměru .....	70
Obrázek 75 - Měření vzorku digitálním úhloměrem .....	71
Obrázek 76 - Odečtení hodnot na digitálním úhloměru .....	71
Obrázek 77 – Princip libely .....	74
Obrázek 78 – Kapalinová libela .....	75
Obrázek 79 – Hadicová libela .....	75
Obrázek 80 – Trubicová libela .....	76
Obrázek 81 – Spřažené trubicové libely .....	76
Obrázek 82 – Aplikace trubicové libely ke stabilizaci fotoaparátu .....	76
Obrázek 83 - Řez krabicovou libelou .....	77
Obrázek 84 – Krabicová libela .....	77
Obrázek 85 – Rámová libela .....	78
Obrázek 86 – Popis rámové libely .....	78
Obrázek 87 – Konstrukce křížového rámu libely .....	79
Obrázek 88 – Pomocné stupnice zobrazované v okuláru rámové libely .....	79
Obrázek 89 – Okulár a stupnice koincidenční libely .....	80
Obrázek 90 – Koincidenční libela .....	80

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Seznam obrázků

Obrázek 91 – Skládání obrazu .....	80
Obrázek 92 - Historický sklonoměr.....	81
Obrázek 93 – Historická inklinální libela.....	81
Obrázek 94 – Moderní sklonoměr.....	81
Obrázek 95 – Mobilní aplikace elektronické libely.....	82
Obrázek 96 – Elektronická vodováha .....	82
Obrázek 97 – Libela se záměrným laserovým paprskem .....	83
Obrázek 98 – Laserový záměrný kříž .....	83
Obrázek 99 - Zobrazení laserového kříže .....	84
Obrázek 100 - Vodováha s laserovým dálkoměrem.....	84
Obrázek 101 - Usazení libely na křížovém stole .....	85
Obrázek 102 - Měření osy X .....	85
Obrázek 103 - Měření osy Y .....	85
Obrázek 104 - Měření osy Z.....	86
Obrázek 105 - Základní orientace měřeného stroje.....	86
Obrázek 106 - Příklad vyhodnocení naměřených hodnot.....	86
Obrázek 107 – Matnice profilprojektoru.....	89
Obrázek 108 – Osvit měřeného vzorku .....	90
Obrázek 109 – Zobrazení vzorku na matnici .....	90
Obrázek 110 – Zobrazení vzorku na matnici .....	91
Obrázek 111 – Osvit měřeného vzorku .....	91
Obrázek 112 – Nitkový kříž matnice.....	92
Obrázek 113 – Natačení nitkového kříže a zobrazování úhlu natočení .....	92
Obrázek 114 – Detailní porovnávání obrazu s nitkovým křížem matnice .....	93
Obrázek 115 – Elektronické zobrazování natočení matnice .....	93
Obrázek 116 – Doplnkové digitální zobrazování snímaných hodnot .....	94
Obrázek 117 - Závítoměrná šablona profilprojektoru.....	95
Obrázek 118 - Další typy šablon .....	96
Obrázek 119 - Řez optickou dělicí hlavou .....	99
Obrázek 120 - Schéma funkce optické dělicí hlavy .....	99
Obrázek 121 - Stupnice v okuláru dělicí hlavy.....	100
Obrázek 122 - Reálná stupnice v okuláru dělicí hlavy .....	100
Obrázek 123 - Aretační šroub.....	100
Obrázek 124 - Hlavní stupnice dělicí hlavy.....	101
Obrázek 125 - Popis dělicí hlavy.....	101
Obrázek 126 - Měřicí sestava dělicí hlavy .....	102
Obrázek 127 - Snímání zdvihu vačky na dělicí hlavě .....	103
Obrázek 128- Zdvih vačky v závislosti na jejím úhlovém natočení.....	105
Obrázek 129 - Stupnice dělicího stolu .....	106
Obrázek 130 - Popis teodolitu .....	107
Obrázek 131 - Princip teodolitu.....	108
Obrázek 132 - Práce s teodolitem .....	108
Obrázek 133 – Starší typ dílenského mikroskopu .....	111
Obrázek 134 – Novější typ dílenského mikroskopu .....	111
Obrázek 135 – Ustavení vzorku na dílenském mikroskopu.....	112
Obrázek 136 – Osvit vzorku.....	112
Obrázek 137 – Posun v ose X.....	113

## Seznam obrázků

Obrázek 138 – Posun v ose Y .....	113
Obrázek 139 – Posun v ose Z .....	113
Obrázek 140 – Okulár mikroskopu .....	114
Obrázek 141 – Zobrazení v okuláru .....	115
Obrázek 142 – Odečítání na dílcové stupnici .....	115
Obrázek 143 – Můstek sinusového pravítka .....	118
Obrázek 144 – Zobrazení goniometrické funkce .....	118
Obrázek 145 – Sinusový stůl .....	119
Obrázek 146 – Rozměry sinusového stolu .....	120
Obrázek 147 – Křížový sinusový stůl .....	120
Obrázek 148 – Sinusový stůl se svěrákem .....	120
Obrázek 149 – Zobrazení goniometrické funkce tangentového pravítka .....	121
Obrázek 150 – Měření sinusovým pravítkem .....	122
Obrázek 151 – Měření tangentovým pravítkem .....	123
Obrázek 152 – Příklad vyhodnocení měření tangentovým pravítkem .....	123
Obrázek 153 – Magnetický stojánek .....	124
Obrázek 154 – Mikrometrický / číselníkový úchylkoměr .....	124
Obrázek 155 – Sada základních rovnoběžných měrek / Johanssonovy měrky .....	124
Obrázek 156 – Měřicí sestava 1 .....	125
Obrázek 157 – Měřicí sestava 2 .....	125
Obrázek 158 – Pracoviště multifunkčního měřicího stroje WERTH .....	129
Obrázek 159 – Snímání laserem .....	130
Obrázek 160 – Zobrazení nasnímaných hodnot .....	130
Obrázek 161 – Optické snímání .....	131
Obrázek 162 – Zobrazování nasnímaných hodnot .....	131
Obrázek 163 – Možné zpracování nasnímaných hodnot ve virtuálním prostoru .....	132
Obrázek 164 – Konečný potlesk vítězům .....	133

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Seznam vzorců****17 Seznam vzorců**

Rovnice 1 .....	9
Rovnice 2 .....	9
Rovnice 3 .....	9
Rovnice 5 .....	10
Rovnice 4 .....	10
Rovnice 6 .....	10
Rovnice 7 .....	35
Rovnice 8 .....	35
Rovnice 9 .....	118
Rovnice 10 .....	121
Rovnice 11 .....	121

## Seznam tabulek

### 18 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Převodní vztahy.....	15
Tabulka 2 - Tabulka naměřených hodnot.....	103



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ