

MODUL 2: MĚŘENÍ ÚHLOVÝCH ROZMĚRŮ

Metodický 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:	Rozvoj přírodovědného a technického vzdělávání na SOŠ a SOU v Kopřivnici
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.

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

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

OBSAH

1	Úvod	4
2	Vybrané základní pojmy	7
3	Měření úhlů a jejich kontrola	16
4	Měření pevnými měřidly	17
5	Měření stavitelnými měřidly - Úhloměry	19
6	Příklad měření	27
7	Měření úhlovou vodováhou - Libelou	34
8	Měření na optické dělicí hlavě	38
9	Měření goniometrickými pravítky	43
10	Seznam obrázků.....	48

Úvod

1 Úvod

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 vrcholem 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.

Základy správného měření předpokládají, že uživatelé budou používat odbornou terminologii. V podstatě se jedná o pochopení základních pojmů, které jsou běžně používané a laická veřejnost velmi často jejich význam používá zavádějícím způsobem nebo zcela nesprávně. Po prostudování učebních textů žáci zjistí, 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.

V následujících kapitolách se následně hovoří o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci. 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 s přístroji k měření určenými. 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 s přístroji k měření určenými, je nedílnou součástí pracovní rutiny při měření.

Úvod

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 činnosti každého pracovníka - na způsobu přikládání měřidla ke vzorku, na přípravě vzorku, na přípravě a údržbě měřidla. Každý pracovník má tak ve svých rukách 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 vyvarovat se chybných nebo zkreslených výsledků měřicího procesu.

V praxi lze měření úhlů provádět několika způsoby.

Pevná měřidla pro měření úhlů 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.

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

Optická dělicí hlava a optický dělicí stůl jsou svázány s měřením úhlů u nejznámějších průmyslových výrobků – automobilů.

Profilprojektory jsou zaměřeny na měření velmi malých vzorků a jejich ploch. Práce s uvedenými přístroji vyžaduje zručnost a správné prostředí. Zde jsou zobrazovány vzorky nebo části vzorků ve značném zvětšení. Vzhledem k náročnosti odečítání hodnot při různých způsobech měření a následném vyhodnocování se nelze divit, že moderní technologie zmiňované způsoby měření pomalu a jistě vytlačují.

S **dílenskými mikroskopy** se pravděpodobně lze setkat jen v laboratořích nebo firmách s dlouhou tradicí. Jejich prostřednictvím lze pozorovat věci velmi malé až lidským okem neviditelné. Moderně vybavená pracoviště jsou již osazena souřadnicovými měřicími stroji nebo jejich aplikacemi.

Úvod

V technické praxi tak s dílenským mikroskopem můžeme pozorovat a měřit rozdíly velmi malých rozměrů. 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.

Goniometrická pravítka nejsou měřidla v klasickém pojetí. Přesto s jejich pomocí můžeme zjistit hodnoty úhlu. Základem použití goniometrických pravítek je znalost matematických goniometrických funkcí. Pro sinusové pravítko je to funkce *sinus* úhlu v pravoúhlém trojúhelníku a pro tangentové pravítko je to funkce *tangens* úhlu v pravoúhlém trojúhelníku.

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.

Vybrané základní pojmy

2 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.

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

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.

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.

Vybrané základní pojmy

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 (číslíkový) měřicí přístroj - měřicí přístroj, který poskytuje digitalizovaný výstup hodnot nebo zobrazení.

Uvedené vybrané pojmy je třeba důsledně vysvětlit a během výuky používat. Jen tak mohou pojmy, které jsou běžným životem používané jinak, přejít u žáků do obecného povědomí. Při špatném porozumění pak při aplikovaném měření může docházet k nedorozumění. Následně je celé měření nesprávné anebo není validní. Také neprávne užívané pojmy při tvorbě technických zpráv z měření jsou zavádějící anebo znehodnocující celou technickou zprávu.

Vybrané základní pojmy

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 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 uvízlá 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 vznikají 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 po náhodném poškození, je nutné měřidlo opět zkontrolovat. Kontrolu měřidel provádí certifikovaná firma, laboratoř nebo speciální pracoviště.

Kontrolu lze provádět:

- *Stále* (měřidla se kontrolují při každém navrácení z provozu - dílny. Tento způsob je sice velice nákladný, ale spolehlivý. 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 námtkově, 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, musí se opravit.

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

Vybrané základní pojmy

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.

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 *Paralaxou*. 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 $D = a \cdot \operatorname{tg} \varphi$.

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.

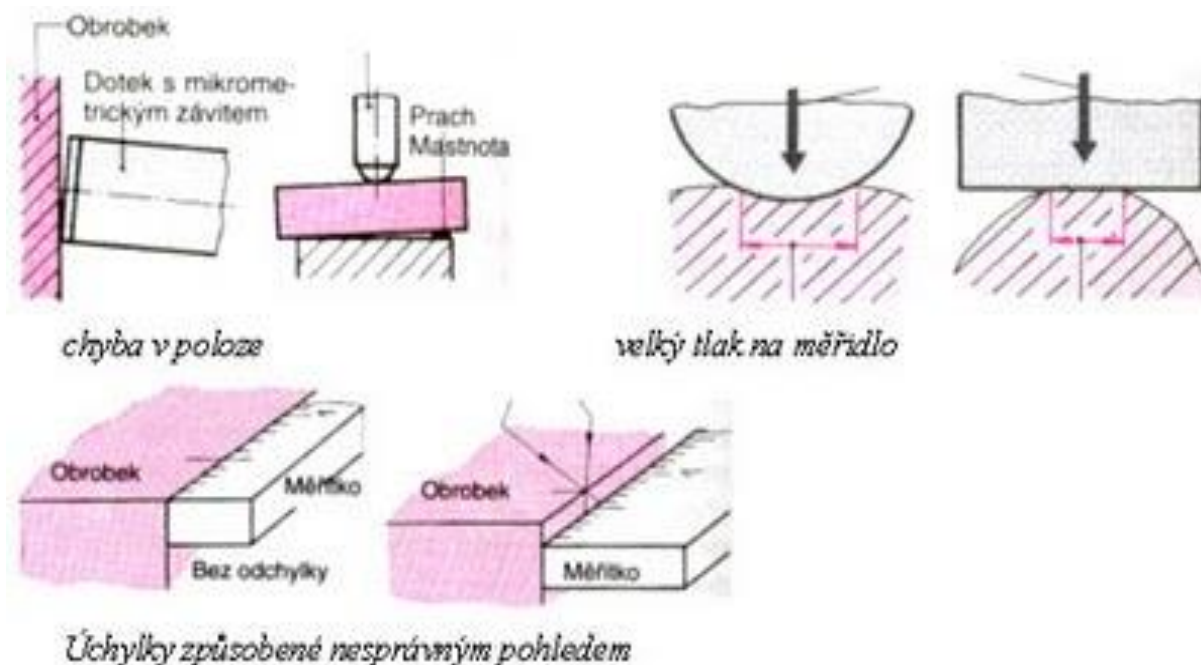
Vybrané základní pojmy

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 číslicových 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, úchylností stoupání šroubů s mikrometrickým závitem.
- **Chyba v poloze** vzniká pootočením měřidla při měření.
- **Úchylnosti**, které vznikají nadměrným tlakem na měřidlo nebo nevhodnou polohou obrobků při provádění měření způsobí, že 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 1 - Nejčastější chyby

Vybrané základní pojmy

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. Při každé technické zprávě by při identifikaci použitého měřidla měla být udána *Poměrná (relativní) chyba údaje měřicího přístroje*. Její hodnota je vypočitatelná nebo se uvádí v certifikačním listu, případně kalibračním listu měřidla.

Metrologie a chyby měření jsou zmiňovány na začátku výukového bloku, ale je vhodnější toto téma opakovat při každé vhodné příležitosti. Proto není na škodu i při výuce úhlových měření uvedené vztahy zopakovat.

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:

$$\varepsilon = y - x_0$$

Kdy ε je absolutní chyba, y je naměřená hodnota a x_0 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:

$$\delta = \frac{\varepsilon}{x_0} * 100 \quad [\%]$$

Vybrané základní pojmy

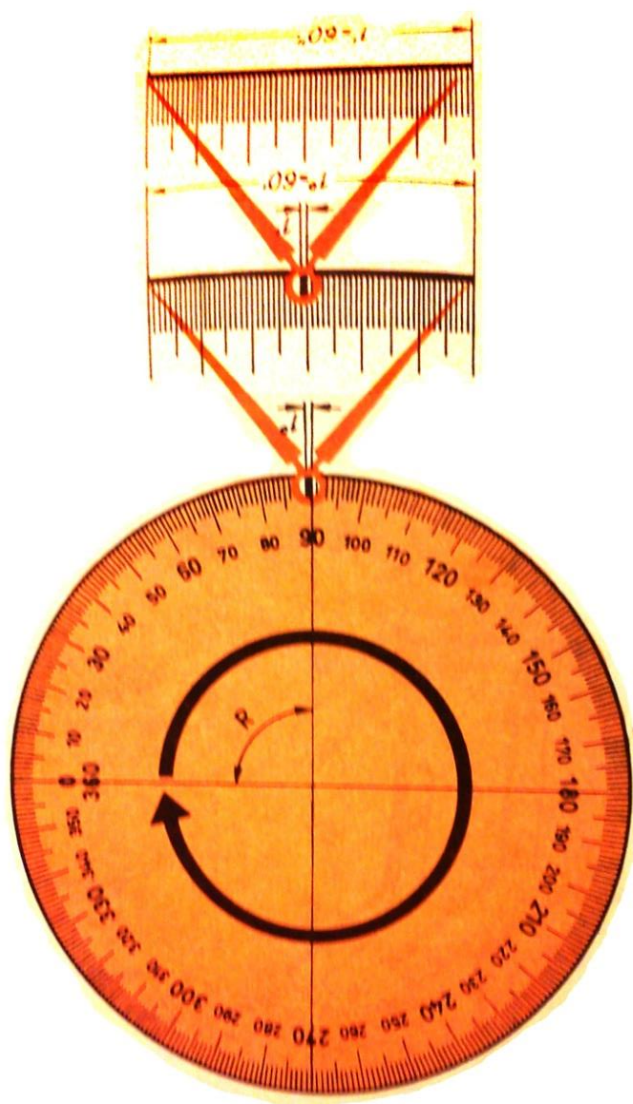
Technická praxe

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

Ve strojírenství je však ke kontrole a měření úhlů všeobecně zavedena a používána úhlová jednotka *stupeň* s dělením na minuty a vteřiny. Měrnou jednotku pro úhel dostaneme rozdělením kruhu na 360 dílů. Měrná jednotka, tj. hodnota úhlu 1° , tvoří přitom středový úhel mezi dvěma sousedními dělicími poloměry kruhu.

Další dílčí měrné jednotky jsou 1 úhlová minuta (značeno $'$), 1 úhlová sekunda (značeno $''$).

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



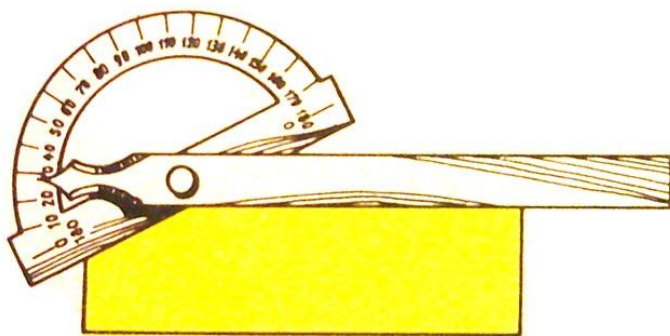
Obrázek 2 - Dělení kruhu

Vybrané základní pojmy

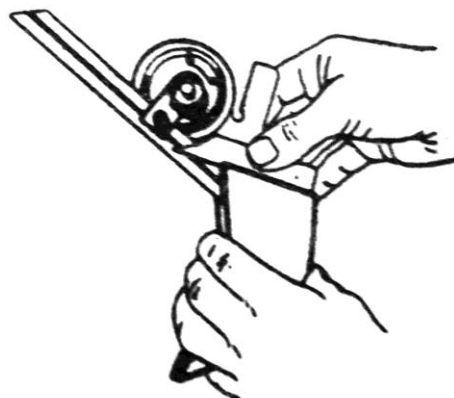
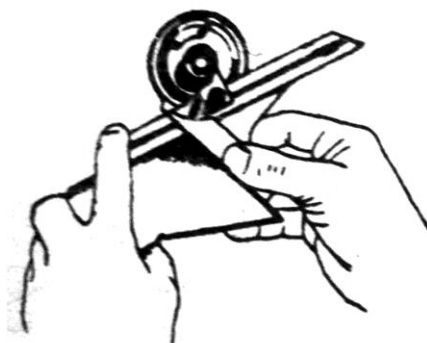
Postup při měření úhlů

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° (jeden stupeň).

Při měření se přesně opracované plochy otočných ramen úhloměru přiloží na příslušné plochy nebo hrany součásti. Přímé hodnoty úhlu jsou naproti nulové hodnoty dílcové stupnice nebo ukazatele. Na úhloměru měřená velikost se následně odečte na dílcové stupnici – úhlové stupnici – rozdělené na nejčastěji 180 dílců (stupňů).



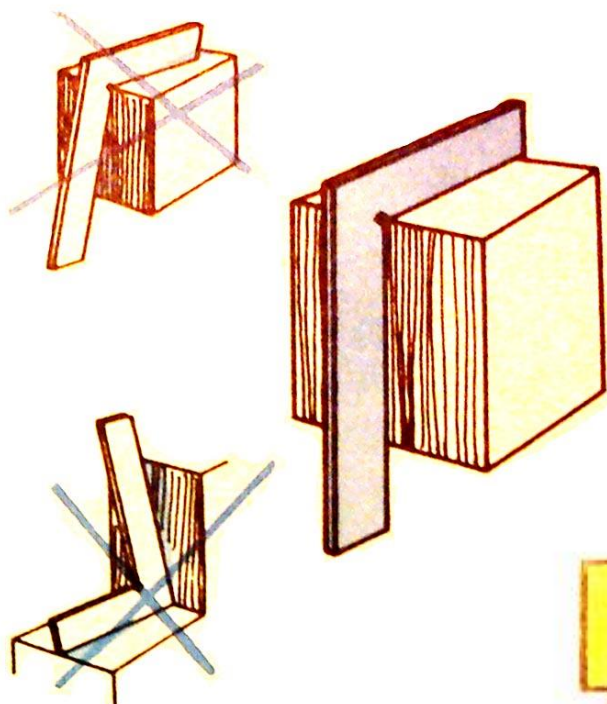
Obrázek 3 - Přikládání dílenského úhloměru



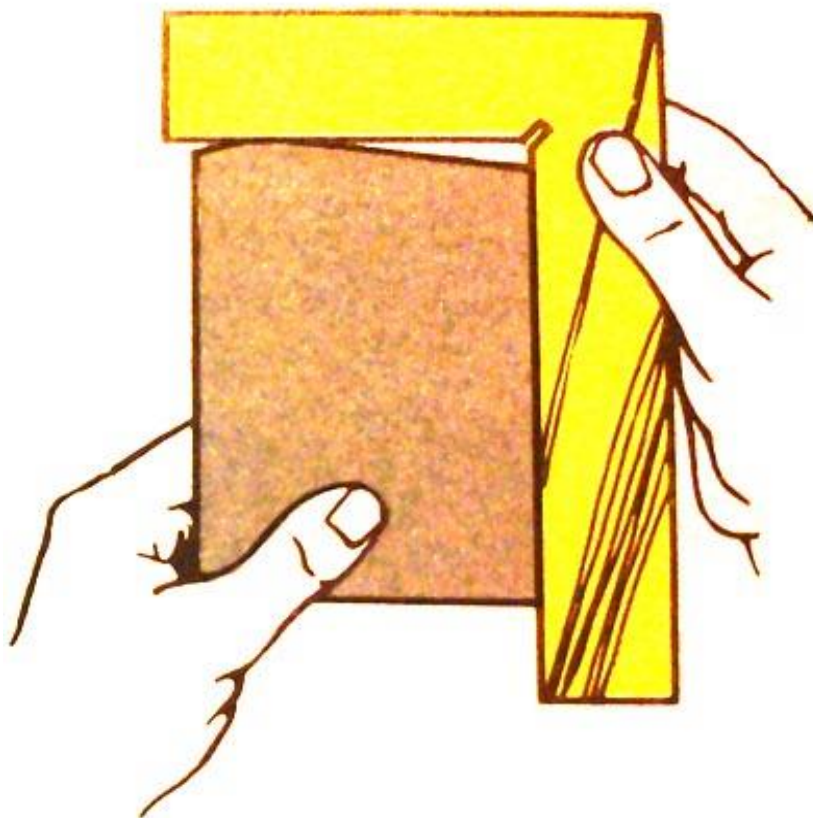
Obrázek 4 - Další způsoby přikládání úhloměru

Vybrané základní pojmy

Měření úhlů se velmi zjednoduší, použijeme-li místo stavitelných úhloměrů pevných úhlových měrek. To je často možné, protože určité úhly, např. 45° nebo 90° , 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 štěrbin). V opačném případě se musí součást opravit.



Obrázek 5 - Přikládání úhelníku



Obrázek 6 - Průsvit úhelníku

Měření úhlů a jejich kontrola

3 Měření úhlů a jejich kontrola

Úhly lze měřit přímou, anebo nepřímou metodou.

Přímá metoda dává přímé výsledky úhlových hodnot. K takovému měření jsou třeba stavitelná měřidla, jimiž měříme velikost úhlů. Každé stavitelné měřidlo se skládá z pevné a pohyblivé měřicí části. Na pevné části je hlavní kruhová stupnice rozdělena na 2 nebo 4 kvadranty (o 90°) a odečítáme na ní celé stupně o hodnotě, kterou určuje nulová čárka pomocné noniový stupnice.

Přímé měření úhlů:

- Úhelníky
- Úhlové měrky
- Úhloměry
- Libely
- Sklonoměry
- Optické dělicí hlavy

Nepřímou metodou odměříme některé rozměry a z nich pak stanovíme výpočtem velikost v úhlových jednotkách. Při použití trigonometrické metody měříme délkové rozměry, ze kterých pomocí trigonometrických funkcí vypočítáme kontrolovaný úhel.

Nepřímé měření úhlů:

- Sinusové pravítko
- Tangentové pravítko

Měření pevnými měřidly

4 Měření pevnými měřidly

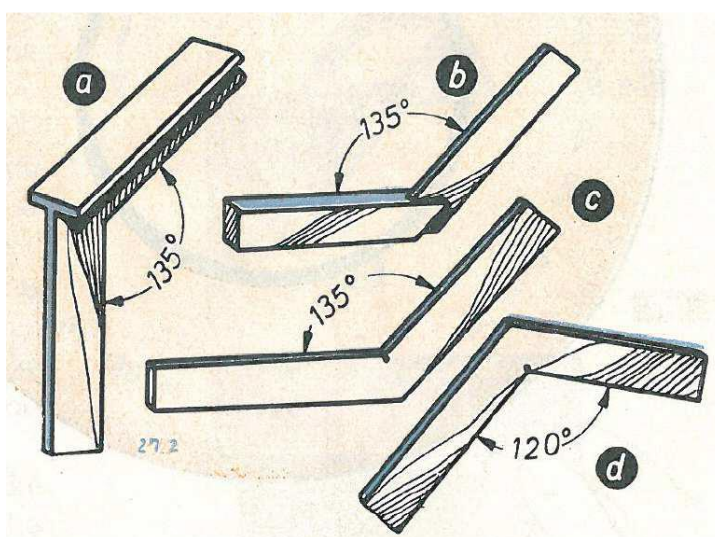
Pevná měřidla jsou šablony o daném úhlu, které přiložíme k měřené součásti a vizuálně porovnáváme. Při šikmém držení úhelníku dojdeme k chybným výsledkům měření.



Obrázek 7 - Úhломěrné šablony

Úhelníky

Jsou úhlová měřidla zhmotňující zpravidla úhel 90°, 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. V každém případě je však vhodné zdůraznit, že velký zdroj světla při kontrole na průsvit opticky více zviditelňuje a tím zvětšuje světelné štěrbiny.



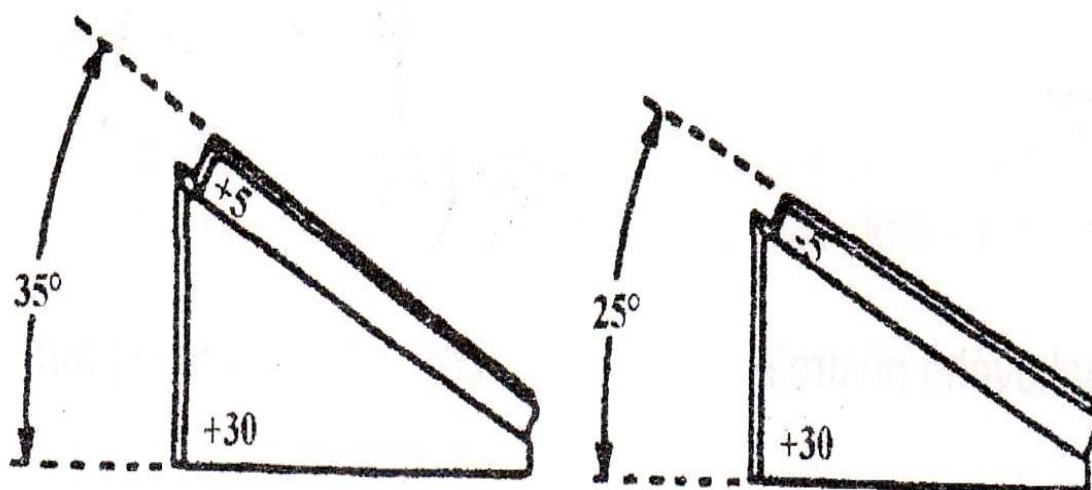
Obrázek 8 - Typy úhelníků

Měření pevnými měřidly

Úhlové měrky

Úhlové měrky se dají nasunout na sebe podobně jako rovnoběžné základní měrky. Měřicí plochy jsou rovné a jsou jemně lapovány, takže se při přiložení spojí dvě měrky přilnavostí k sobě. Sady úhlových základních měrek jsou vyrobeny podle týchž zásad jako základní měrky délkové, takže libovolný úhel lze sestavit ze dvou měrek s odstupňováním po 1 úhlové minutě.

Základní úhlové měrky vyrobené z oceli nemají zůstat delší dobu v přiloženém stavu (max. 6 hodin), protože se tím spojí za studena. Oddělování měrek se musí provádět opatrným odsouváním. Jako ochrana proti opotřebení jsou měřicí plochy u ocelových základních měrek pochromovány natvrdo nebo osazeny tvrdokovem.



Obrázek 9 - Úhlové měrky

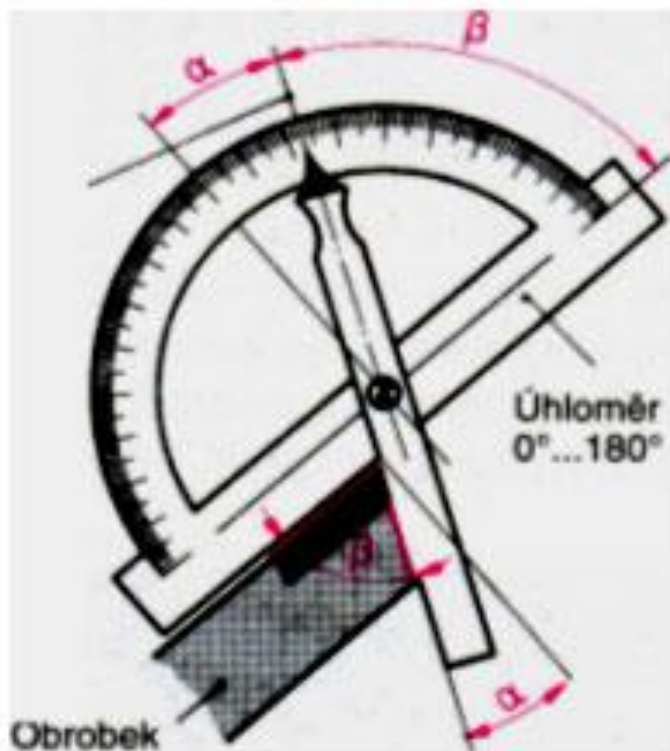
Měření stavitelnými měřidly - Úhloměry

5 Měření stavitelnými měřidly - Úhloměry

Těmito měřidly přímo 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°) a odečítáme na ní celé stupně o hodnotě, kterou určuje nulová čárka pomocné noniové stupnice. Úhloměry jsou jednoduché, velmi rozšířené měřicí prostředky pro nastavování a orýsování úhlů. Jejich konstrukční provedení je několikerého typu:

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

Při odečítání naměřené hodnoty je však nutno postupovat obezřetně. Na obrázku je znázorněno jednoduché měření mechanickým – dílenským – úhloměrem. Obrobek je sevřen mezi měřicí ramena a hrot na dílcové stupnici ukazuje přímou hodnotu úhlu. Při jeho čtení lze postupovat dvěma způsoby, které znázorňují na obrázku úhly α a β .

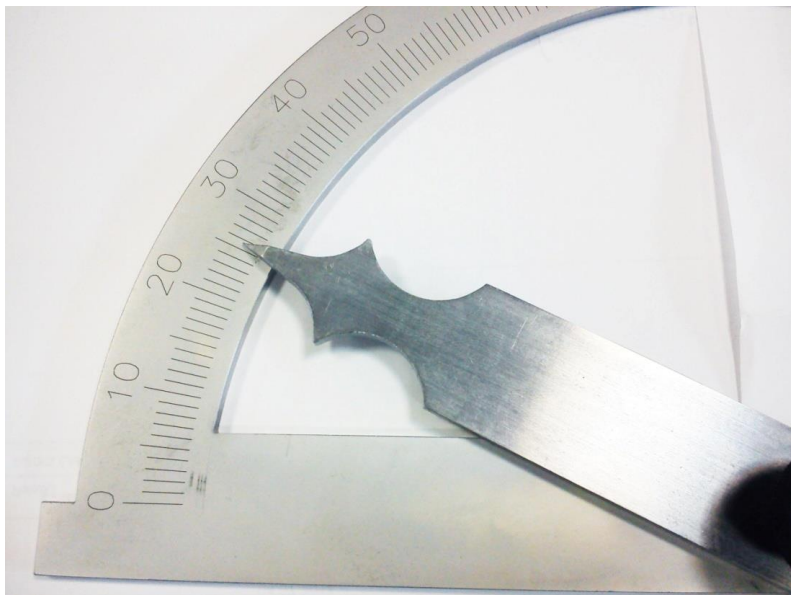


Obrázek 10 - Protilehlé úhly

Správný způsob dokládá hodnotu znázorněnou úhlem β . Úhel α je k úhlu β doplňkový. Při začátku úhloměrné stupnice nalevo však musíme hodnotu β odečíst od přímého úhlu.

Měření stavitelnými měřidly - Úhloměry

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



Obrázek 11 - Stupnice úhlů limbu

Pokud budeme přikládat obrobek stejným způsobem jako na obrázku X, tj. zleva, naměřená hodnota nebude správná. Bude zobrazovat doplňkový úhel. Správného zobrazení hodnoty úhlu dosáhneme při sevření úhloměrnými rameny z pravé strany, kdy měřený úhel a zobrazovaný úhel jsou protilehlé.



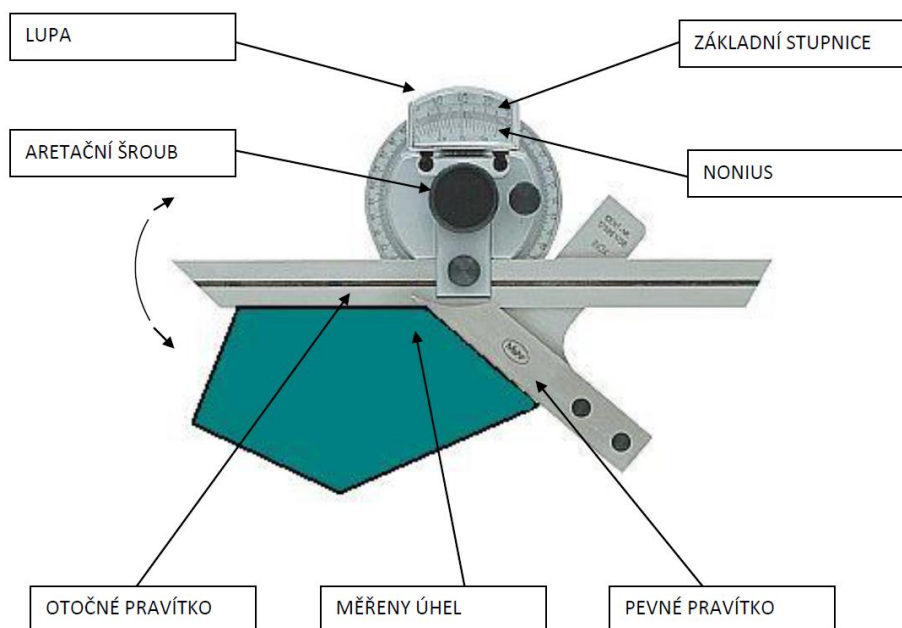
Obrázek 12 - Měření dílenským úhloměrem

Měření stavitelnými měřidly - Úhloměry



Obrázek 13 - Čtení z limbu dílenského úhloměru

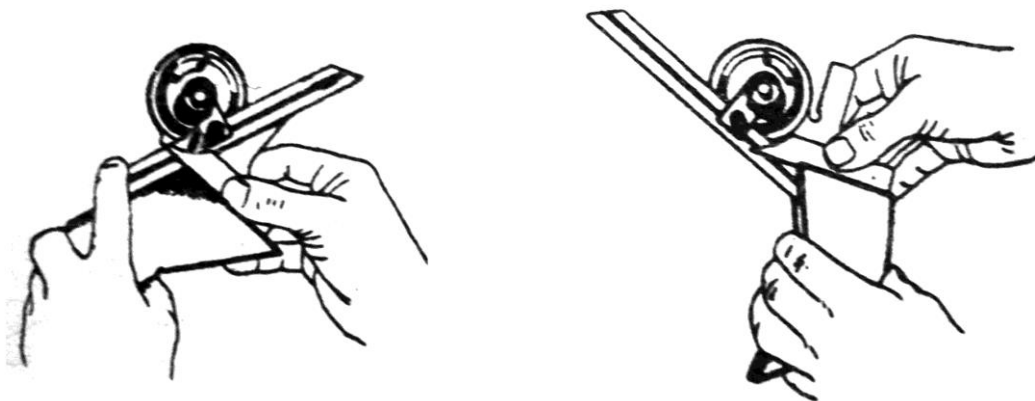
Při měření úhloměry s kruhovým limbem je situace ještě složitější. Zde je hlavní kruhová stupnice rozdělena na 2 a častěji na 4 kvadranty (po 90°) a odečítáme na ní celé stupně o hodnotě, kterou určuje nulová čárka pomocné noniové stupnice. K výsledné hodnotě úhlu je však nutné vědět v jakém kvadrantu měřený úhel leží.



Obrázek 14 - Popis optického úhloměru

Měření stavitelnými měřidly - Úhloměry

Součást s měřeným úhlem se sevře mezi pevné a otočné pravítko a poloha pravítek se v této poloze zafixuje aretačním šroubem. Měřenou součást přiložíme k oběma ramenům úhloměru tak, aby seděl přesně po celé délce měřených ploch. Nejdříve se přesvědčíme na průsvitu, že obě ramena úhloměru lícují přesně s měřenou součástí, a pak odečteme na stupnici úhlovou hodnotu.

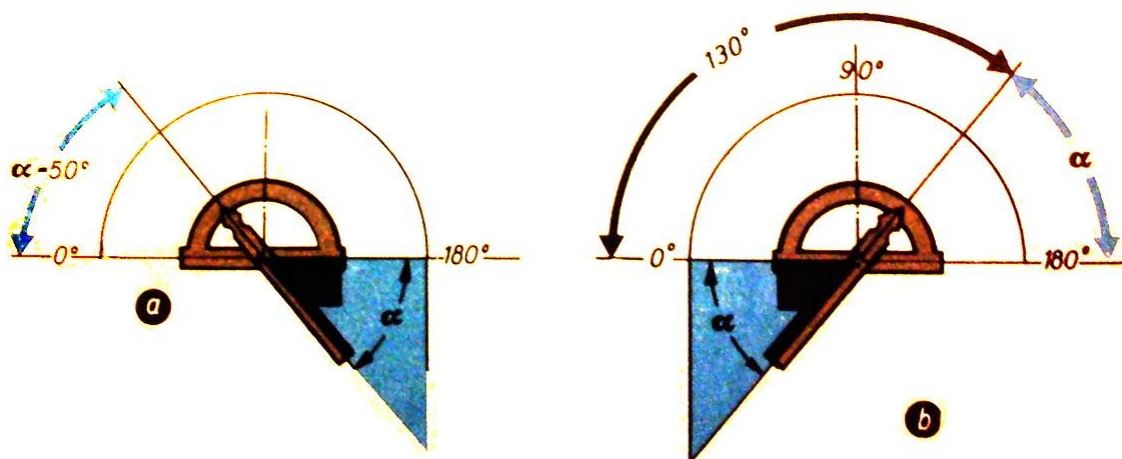


Obrázek 15 - Sevření měřeného vzorku mezi ramena úhloměru

K měření vnějších rozměrů, což je nejčastější, slouží 2 větší spodní ramena. Ty rozevřeme a po vložení měřené součásti zase k sobě posuneme až na doraz. Na stupnici pak můžeme přečíst měřený rozměr. K měření vnitřních rozměrů (nejčastěji děr) slouží dvojice pomocných ramen v horní části měřidla. Naměřenou hodnotu odečítáme opět na stupnici. Přesněji řečeno, měřidlo má pro měření v milimetrech i v palcích vždy 2 stupnice. Měřidlo má pomocnou stupnici, která společně s hlavní stupnicí tvoří nonius – dílcovou stupnici. Kombinace čtení na obou stupnicích nám umožňuje měřit s přesností udanou na měřidle. Přesnost, s jakou můžeme měřit, je dána provedením právě pomocné stupnice. Princip měření spočívá v tom, že celé stupně odečítáme na hlavní stupnici a desetiny, popř. setiny, pak odečítáme na pomocné stupnici (platí ten údaj, kdy se shoduje ryska na hlavní stupnici s ryskou na noniu).

Měření stavitelnými měřidly - Úhloměry

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° .



Obrázek 16 - Určování měřeného úhlu

Pravidlo pro odečítání:

Na hlavní stupnici se odečítají celé stupně vždy podle nastavení od 0° nebo 90° 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 dílku 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° 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 splynuté rysce vedlejší stupnice s některou ryskou hlavní stupnice.

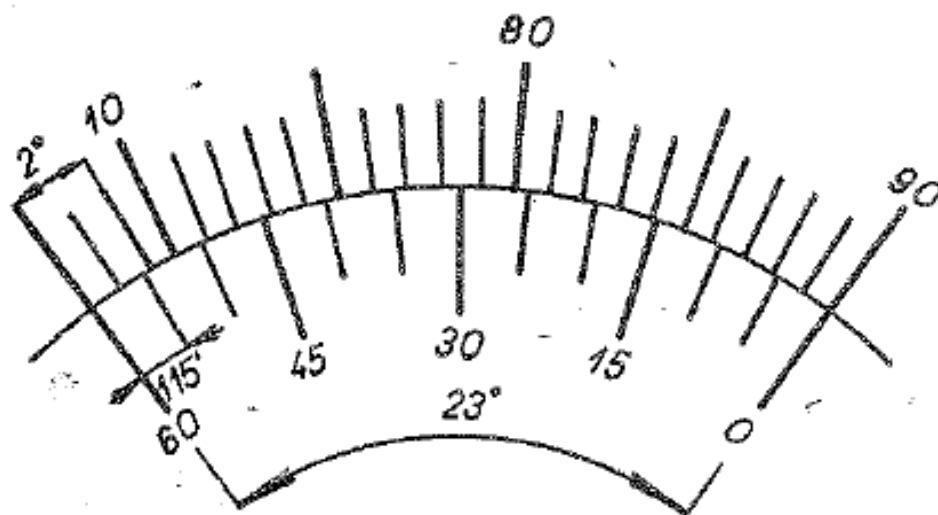
Měření stavitelnými měřidly - Úhloměry

Princip dělení a odečítání na pomocné stupnici je stejný jako na pomocné stupnici délkových měřidel. Přesnost, anebo 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° (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 z 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° - 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.



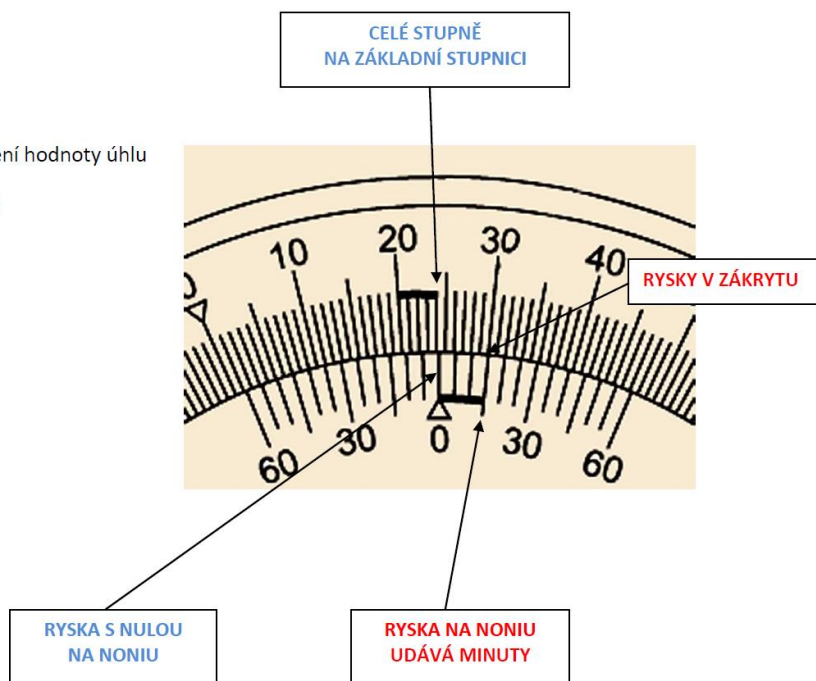
Obrázek 17 - Dílcová noniova stupnice úhloměru

Úhlová měřidla však mají od délkových měřidel 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 stupňům nebo od 90 stupňů), což se uplatňuje při odečítání hodnot tupých nebo sdružených úhlů.

Měření stavitelnými měřidly - Úhloměry

Příklad odečtení hodnoty úhlu

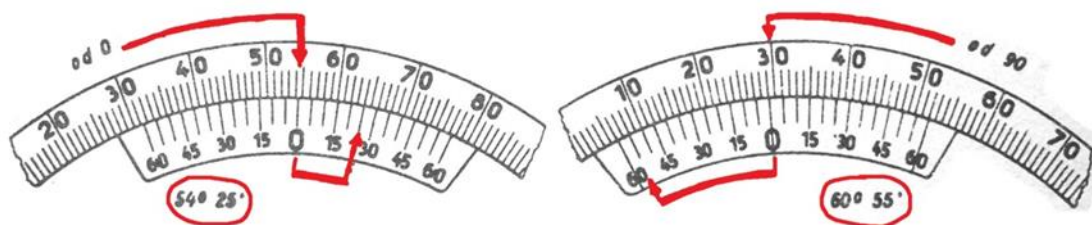
$24^{\circ}15'$



Obrázek 18 - Příklad sčítání dvou stupnic

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 $5'$).

Příkladně na následných obrázcích je možné interpretovat hodnotu úhlu dvěma způsoby, přitom oba mohou být správné. Záleží na tom, ve kterém kvadrantu se měřený úhel nachází.



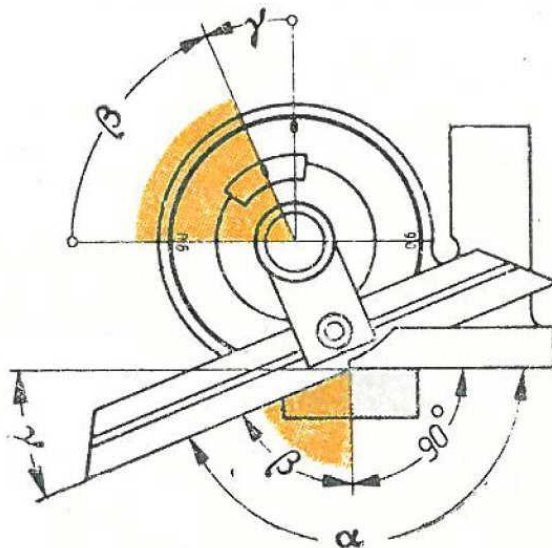
Obrázek 19 - Příklad čtení hodnot dvou úhlů

Měření stavitelnými měřidly - Úhloměry

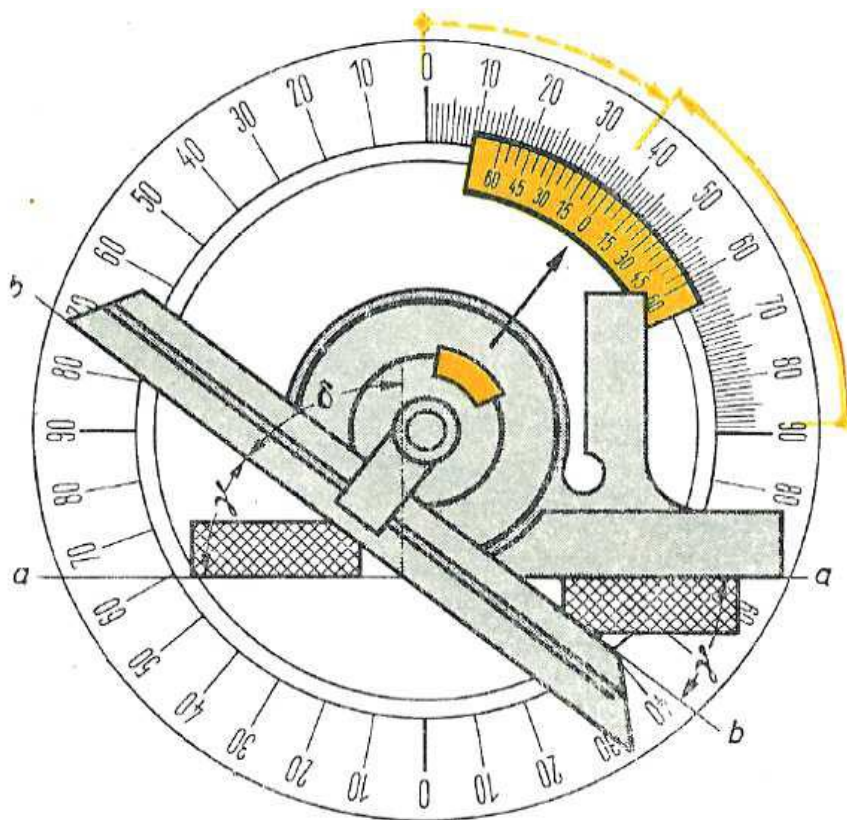
Pozor na čtenou hodnotu:

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

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



Obrázek 20 - Měření ve druhém kvadrantu



Obrázek 21 - Porovnání úhlu ve dvou kvadrantech

Příklad měření

6 Příklad měření

Pro přímé měření stavitelnými úhlovými měřidly.

- 1) Zadání
Změřte úhly daného vzorku dílenským úhloměrem, optickým úhloměrem a digitálním úhloměrem a vyhodnoťte přesnost provedených měření.
- 2) Navržený postup
Měřenou součást vložte mezi pevné rameno a vyměnitelné pravítko univerzálního úhloměru tak, aby obě jeho části svíraly úhel na kontrolované součásti. Polohu zajistěte aretačním šroubem. Na hlavní stupnici odečtěte naměřenou velikost úhlu ve stupních a na vedlejší stupnici odečtete počet minut.
- 3) Použitá měřidla
Měření proveďte s dílenským, optickým a digitálním úhloměrem. Zjistěte skutečné hodnoty měřidel, tzn. velikost soustavné chyby, abyste mohli o tuto hodnotu opravit naměřené hodnoty, čímž vyloučíte vliv soustavné chyby na výsledek měření.
- 4) Zápis dat
Při 10 měření změřte měřidlem sledovaný rozměr součásti, totéž měření proveďte dílenským úhloměrem, optickým úhloměrem a digitálním úhloměrem a výsledky měření запиšte do tabulek. Pokud se ve vašem měření objeví podstatně odlišná velikost, je toto měření chybné a hodnota je považována za hrubou chybu. Tuto naměřenou hodnotu označte a měření zopakujte. K naměřeným hodnotám X připočtete soustavnou chybu a запиšte do sloupce opravených hodnot X_k . Z opravených naměřených hodnot stanovte hodnotu výsledku, tzn. aritmetický průměr opravených naměřených hodnot, pravděpodobnou chybu výsledku a výsledek měření. Takto zjištěné číselné výsledky měření sestavte do tabulek.
- 5) Analýza dat

Tabulka 1 - Tabulka pro záznam naměřených hodnot

číslo měření	Úhlooměry								
	dílenský	chyba	korigováno	optický	chyba	korigováno	digitální	chyba	korigováno
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
průměr									

Příklad měření

Měření dílenským úhloměrem

Před samotným měřením je třeba si připravit základní pomůcky:

- Tužku
- Papír s tabulkou
- Měřidlo
- Čistý pracovní prostor



Obrázek 22 - Měřený vzorek

Samotné měření je již popsáno v předcházejících řádcích, ale neškodí je zopakovat.

- 1) Součást s měřeným úhlem se sevře mezi pevné a otočné pravítko a poloha pravítek se v této poloze zafixuje aretačním šroubem.
- 2) Měřenou součást přiložíme k oběma ramenům úhloměru tak, aby seděl přesně po celé délce měřených ploch.
- 3) Nejdříve se přesvědčíme na průsvitu, že obě ramena úhloměru lícují přesně s měřenou součástí, a pak odečteme na stupnici úhlovou hodnotu.
- 4) Tužkou zapíšeme přečtenou hodnotu do tabulky.
- 5) Měření provádíme alespoň 3x, aby výsledná hodnota byla věrohodná.



Obrázek 23 - Měření vzorku dílenským úhloměrem

Při měření dílenským úhloměrem zjistíte, že přesnost naměřených hodnot se pohybuje na hranici 1 úhlového stupně.

Příklad měření

Měření optickým úhloměrem

Před samotným měřením je třeba si připravit základní pomůcky:

- Tužku
- Papír s tabulkou
- Měřidlo
- Vyhledat certifikační list měřidla a zjistit velikost jeho soustavné chyby
- Čistý pracovní prostor



Obrázek 24 - Optický úhloměr

Samotné měření se principiálně opakuje s drobnými rozdíly.

- 1) Součást s měřeným úhlem se sevře mezi pevné a otočné pravítko a poloha pravítek se v této poloze zafixuje aretačním šroubem.
- 2) Měřenou součást přiložíme k oběma ramenům úhloměru tak, aby seděl přesně po celé délce měřených ploch.
- 3) Nejdříve se přesvědčíme na průsvitu, že obě ramena úhloměru lícují přesně s měřenou součástí, a pak odečteme na stupnici úhlovou hodnotu.
- 4) Tužkou zapíšeme přečtenou hodnotu do tabulky.
- 5) Měření provádíme alespoň 3x, aby výsledná hodnota byla věrohodná.



Obrázek 25 - Měřený vzorek

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Příklad měření



Obrázek 26 - Měření optickým úhloměrem



Obrázek 27 - Odečítání na dílcové stupnici optického úhloměru

Při měření optickým úhloměrem zjistíte, že přesnost naměřených hodnot je ovlivněna dělením pomocné dílcové stupnice úhlového nonia. Princip čtení je podrobně popsán na straně 26.

Příklad měření

Měření digitálním úhломěrem

Před samotným měřením je třeba si připravit základní pomůcky:

- Tužku
- Papír s tabulkou
- Měřidlo
- Vyhledat certifikační list měřidla a zjistit velikost jeho soustavné chyby.
- Čistý pracovní prostor



Obrázek 28 - Digitální úhломěr

Samotné měření se principiálně opakuje s drobnými rozdíly.

- 1) Měřidlo adjustovat.
- 2) Součást s měřeným úhlem se sevře mezi pevné a otočné pravítko a poloha pravítek se v této poloze zafixuje aretačním šroubem.
- 3) Měřenou součást přiložíme k oběma ramenům úhломěru tak, aby seděl přesně po celé délce měřených ploch.
- 4) Nejdříve se přesvědčíme na průsvitu, že obě ramena úhломěru lícují přesně s měřenou součástí, a pak odečteme na stupnici úhlovou hodnotu.
- 5) Tužkou zapíšeme přečtenou hodnotu do tabulky.
- 6) Měření provádíme alespoň 3x, aby výsledná hodnota byla věrohodná.



Obrázek 29 - Měřený vzorek

Příklad měření

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 předefinována základní hodnota úhlu měřidla. Může tak být v hodnotě - 0°, 90° nebo 180°.



Obrázek 31 - Adjustace digitálního úhloměru

Kapacitní měřidla s digitálním výstupem lze používat i jako komparační měřidla, proto je vždy důležité provést správnou adjustaci. Pokud nebude počáteční hodnota úhloměru – měřidla správná, nelze se na provedené měření spolehnout. Špatnou adjustací si do měření zavádíte systémovou chybu, která navíc bude ještě ovlivněna soustavnou chybou měřidla.

Příklad měření



Obrázek 32 - Měření digitálním úhloměrem



Obrázek 33 - Odečítání hodnot na digitálním úhloměru

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).

Měření úhlovou vodováhou - Libelou

7 Měření úhlovou vodováhou - Libelou

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 metru, když se bublina posune o 1 dílek (např. $0,01 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$).

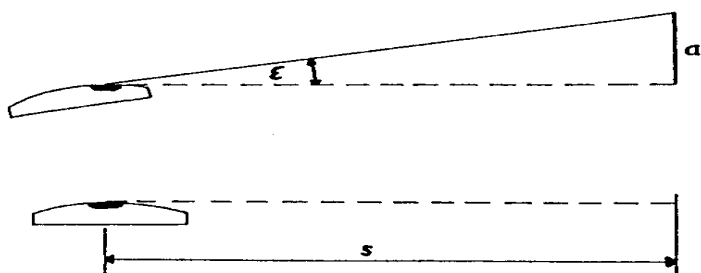
Jinak řečeno:

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

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 34 - Princip měření kapalinovou libelou



Obrázek 35 - Rámová libela

Měření úhlovou vodováhou - Libelou

Příklad měření úhlových hodnot:

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

Postup získávání hodnot je následující:

Před samotným měřením je třeba si připravit základní pomůcky:

- Tužku
- Papír s tabulkou
- Měřidlo
- Vyhledat certifikační list měřidla a zjistit velikost jeho soustavné chyby
- Čistý pracovní prostor

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 36 - Měření osy X

Při měření je důležitá rovinnost, rozměr a čistota dosedací měřené plochy. Dostatečné osvětlení umožní přesné ustavení a aretaci naměřeného úhlu, který lze dodatečně přechýlit proti bodovému světelnému zdroji. Před čtením v jiné poloze se doporučuje kvalitní aretace, aby nedošlo k posunutí.

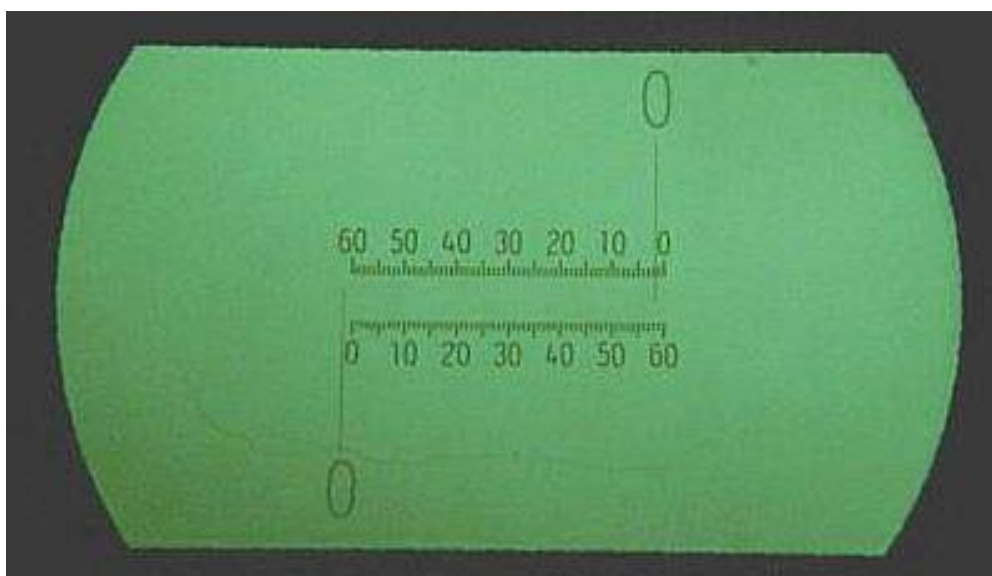


Obrázek 37 - Měření osy Y

Měření úhlovou vodováhou - Libelou

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

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'.



Obrázek 38 - Zobrazení pomocné stupnice v okuláru libely



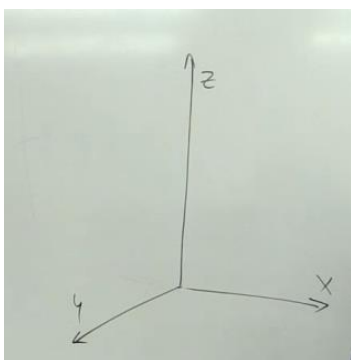
Obrázek 39 - Měření osy Z

Naměřené hodnoty jsou aritmeticky zpracovány do výsledné hodnoty, která je graficky znázorněna.

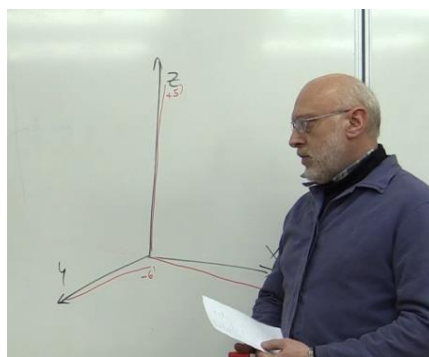
Měření úhlovou vodováhou - Libelou

Tabulka 2- Zápis naměřených hodnot

Měření	1	2	3	průměr
osa X				
osa Y				
osa Z				



Obrázek 41 - Základní orientace systému



Obrázek 40 - Grafické znázornění naměřených hodnot

Měření je možné provést i koincidenční libelou, která je podstatně přesnější než běžné libely, a tak se obraz hranic posouvajících se bublin pozoruje lupou. Měření je vhodné opakovat ze dvou stran, aby se eliminovala vnitřní chyba libely. Použití těchto libel je omezeno jejich malým rozsahem, nejsou vhodné pro běžná měření a taktéž jimi nelze měřit svislou rovinu. Jejich použití je vhodné spíše jako pracovní etalon, tj. jako kalibrační měřidlo.



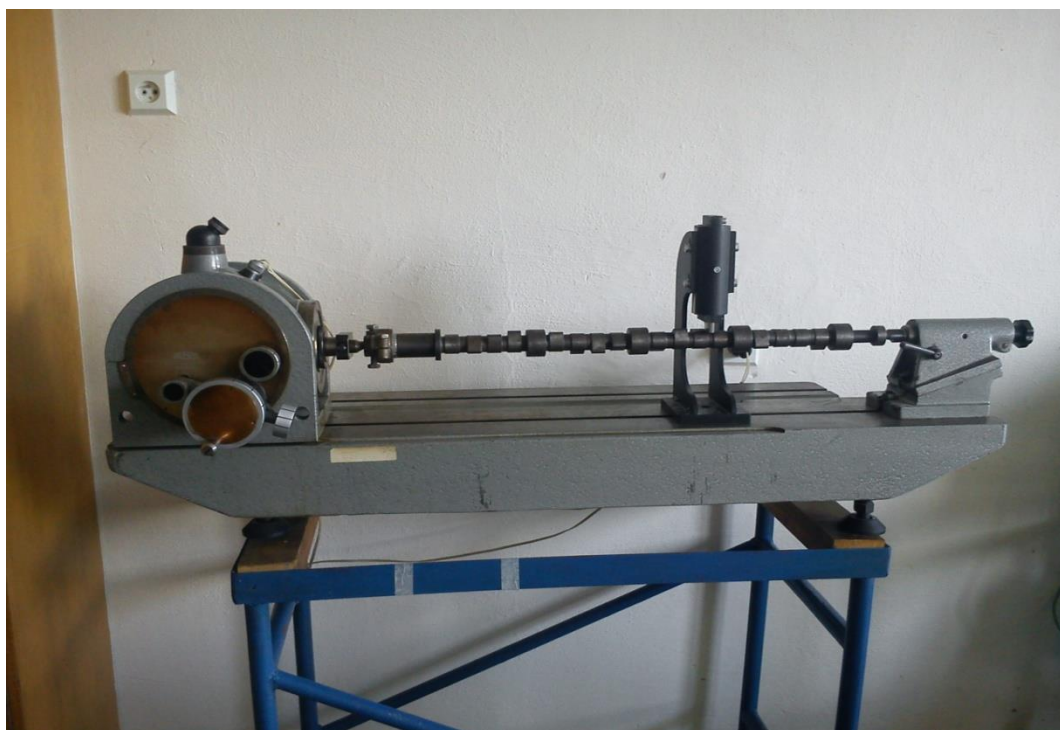
Obrázek 42 - Koincidenční libela

Měření na optické dělicí hlavě

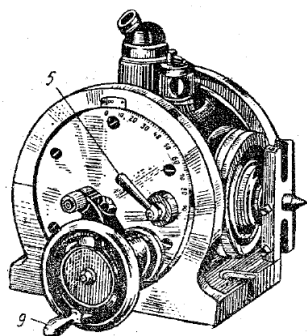
8 Měření na optické dělicí hlavě

Sestava měření

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



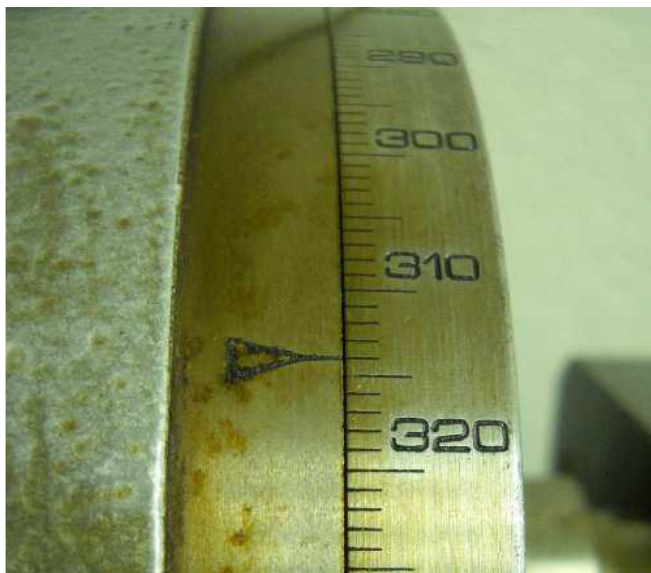
Obrázek 43 - Sestava optické dělicí hlavy



Obrázek 44 - Aretace dělicí hlavy

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

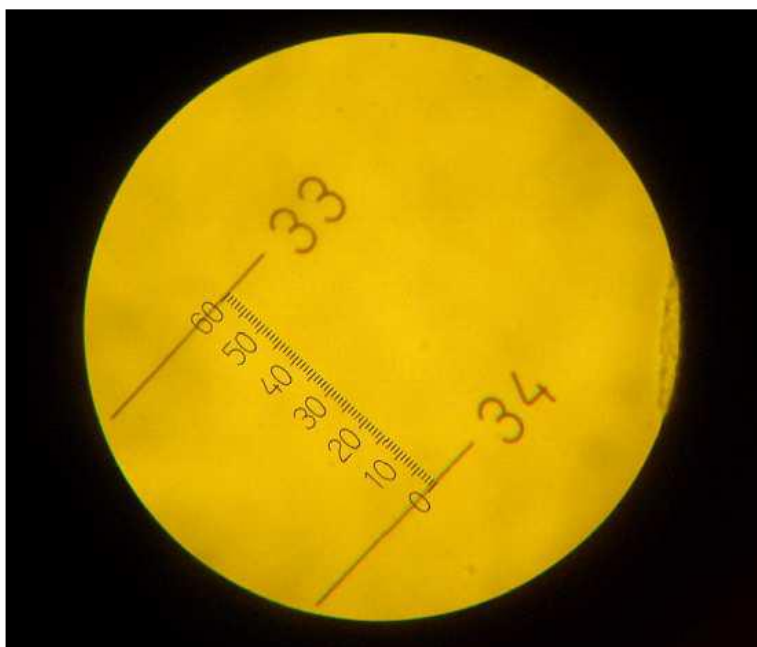
Měření na optické dělicí hlavě



Obrázek 45 - Hlavní stupnice optické dělicí hlavy

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

Přesnější dělení skrývá okulár, kde je dělení jednotlivých stupňů na minuty.



Obrázek 46 - Pomocná stupnice optické hlavy

Zápis úhlových hodnot do záznamu je možný ve vztahu k měřenému zdvihu nebo naopak podle zdvihu je možno kontrolovat úhlové natočení optické dělicí hlavy.

Měření na optické dělicí hlavě

Použitý úchylkoměr svým rozsahem musí pokrýt celý předpokládaný zdvih vačky. Citlivost úchylkoměru je rovněž dána jeho konstrukcí a dělením stupnice. V případě získávání více dat na jednom vzorku je možno použít více zmiňovaných měřidel současně. Dnešní situace rovněž umožňuje použití digitálních úchylkoměrů, což ale naráží na nutnost spolehlivé adjustace všech použitých měřidel.



Obrázek 48 - Číselníkový úchylkoměr se stojánkem

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

- 1) Natočit optickou dělicí hlavu do počáteční hodnoty vhodné pro měření (nejčastěji nulová hodnota úhlové stupnice).
- 2) Vložit měřený vzorek do optické úhlové hlavy a správně polohovat (nejčastěji do polohy nulového zdvihu první vačky).
- 3) Zajistit proti pootočení.
- 4) Po vložení vzorku do optické dělicí hlavy zkontrolovat souosost měřeného vzorku s osou otáčení optické dělicí hlavy.
- 5) Sestavit číselníkový úchylkoměr se stojánkem a nainstalovat k měřenému tvaru.
- 6) Vynulovat úchylkoměr před začátkem měření.

Měření na optické dělicí hlavě

- 7) Nyní je možné prakticky přikročit ke zjišťování konkrétních hodnot. Hodnoty natočení – úhel natočení vzorku odečíst na okuláru optické dělicí hlavy a zdvih na indikátorovém úchylkoměru.
- 8) Podle použitého měřidla lze očekávat přesnost výsledků měření. Všechna data je vhodné zaznamenat, dnes do tabulkového procesoru.

Pro demonstraci je zvolen velmi používaný Microsoft Excel.

Tabulka 3- Tabulka hodnot měření vačky

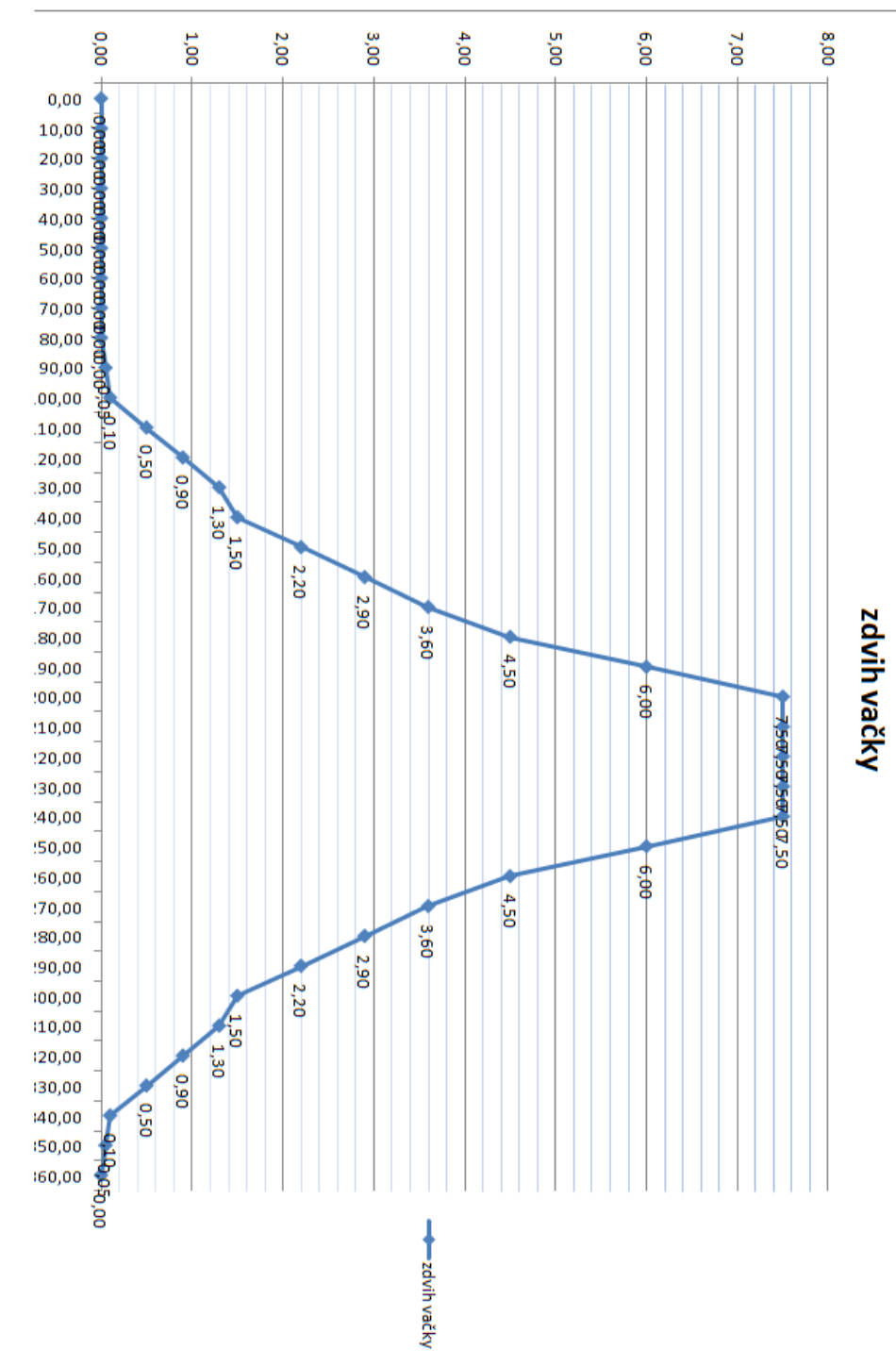
P. č.	úhel natočení	zdvih vačky
1	0,00	0,00
2	10,00	0,00
3	20,00	0,00
4	30,00	0,00
5	40,00	0,00
6	50,00	0,00
7	60,00	0,00
8	70,00	0,00
9	80,00	0,00
10	90,00	0,05
11	100,00	0,10
12	110,00	0,50
13	120,00	0,90
14	130,00	1,30
15	140,00	1,50
16	150,00	2,20
17	160,00	2,90
18	170,00	3,60
19	180,00	4,50

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

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

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Měření síly žáků



Obrázek 49 - Graf naměřených hodnot

Měření goniometrickými pravítky

9 Měření goniometrickými pravítky

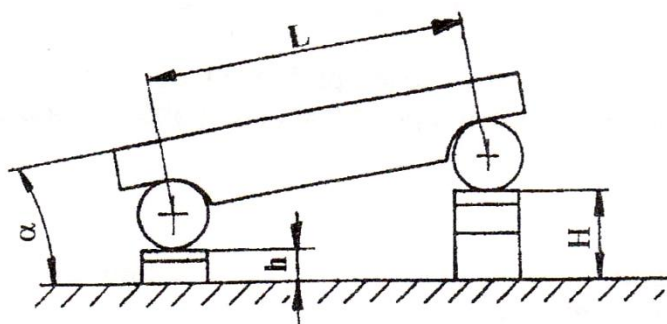
Sinusové pravítko

Konstrukčně jsou pravítka složena z přesně opracovaných rovinně broušených desek a pevně připevněných broušených, rozměrově stejných válečků. Rozteč válečků je nejčastěji 100, 150, 200, a 300 mm. Tato rozteč je vyleptána na jedné boční straně sinusového pravítka.



Obrázek 50 - Sinusové pravítko

Samotný výsledek je nutno spočítat podle goniometrické funkce **sinus α** .



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

Obrázek 51 - Výpočet sinusového pravítka

Při měření úhlu na sinusovém pravítku lze postupovat následujícím způsobem:

- 1) Sinusové pravítko délky L položte na příměrnou desku.
- 2) Na horní plochu pravítka položte měřenou součást tak, že měřený úhel tvoří styčná plocha a horní plocha obrobku. Měřenou součást zajistěte proti posuvu.
- 3) Do stojánku vedle pravítka upevněte číselníkový úchylkoměr.
- 4) Připravte si základní rovnoběžné měřky.
- 5) Při měření máte jeden váleček položený na příměrné desce a pod druhý váleček vkládejte základní měřky o rozměru H tak dlouho, až je horní plocha součásti ve vodorovné rovině s příměrnou deskou (nebo můžete měřit tak, že pro daný úhel α 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. V případě, že nelze sestavit z měrek žádanou hodnotu, lze podkládat i přední váleček sinusového pravítka. V takovém případě je velikost H tvořena rozdílem hodnot obou podkládaných měrek).

Měření goniometrickými pravítky

- 6) Posuňte číselníkový úchylkoměr ve stojánu tak, aby měřicí dotek dosedal na horní plochu obrobku a ustavte hodnotu na jednom konci měřené plochy.
- 7) Nyní posuňte číselníkový úchylkoměr ve stojánu tak, aby měřicí dotek na horní ploše obrobku změřil hodnotu na druhém konci měřené plochy.
- 8) Zjistěte rozdíl obou měření.
- 9) Správnost úhlu α zjistíte tak, že po horní kontrolované součásti budete přejíždět číselníkovým úchylkoměrem, upnutým ve stojánu. 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:

$$\sin \alpha = \frac{\text{protilehlá odvěsna}}{\text{Přepona}} = \frac{H}{L}$$

Vztah mezi úhlem α funkcí **sin** α najdete v trigonometrických tabulkách.

Sestava jednoduchého měření sinusovým pravítkem



Obrázek 52 - Magnetický stojánek



Obrázek 53 - Číselníkový úchylkoměr

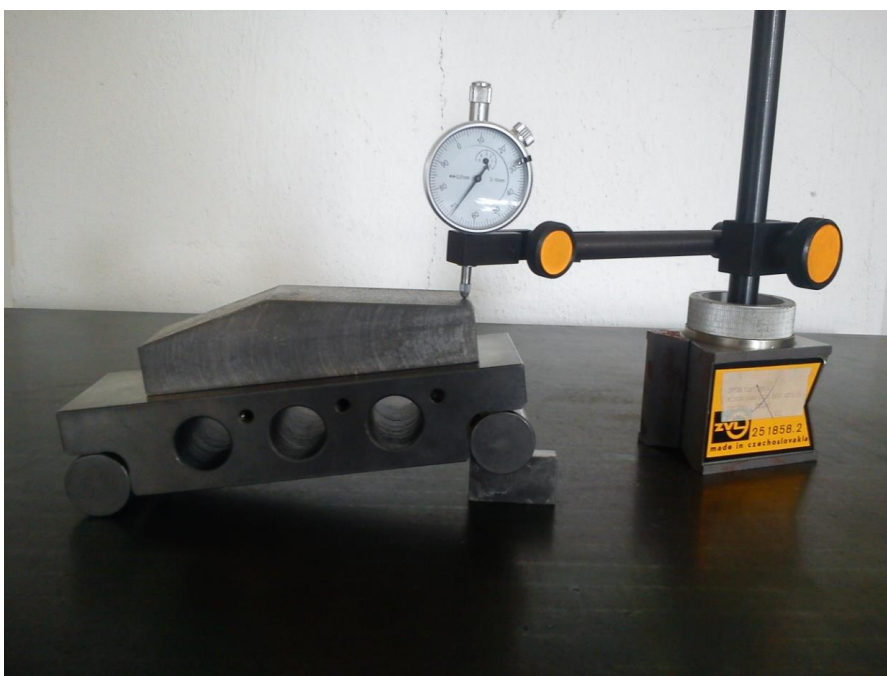


Obrázek 54 - Základové délkové měrky

Měření goniometrickými pravítky



Obrázek 55 - Sestava měření 1



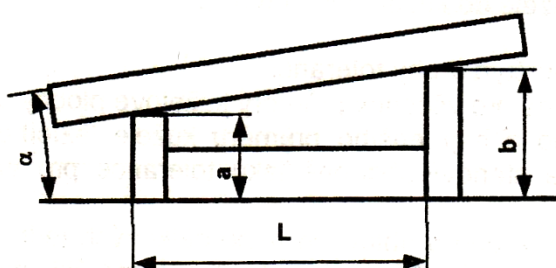
Obrázek 56 - Sestava měření 2

Měření goniometrickými pravítky

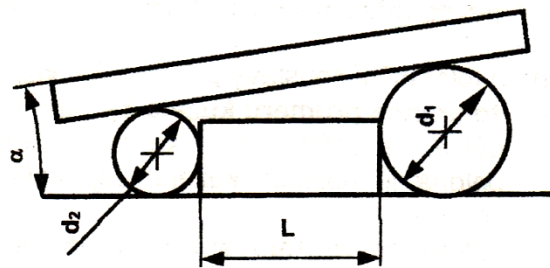
Tangentové pravítko

Konstrukčně jsou pravítka složena z přesně opracovaných rovinně broušených desek. K nastavení lze použít základových měrek nebo dvou nestejných broušených válečků a základových měrek. Při měření válečky je zapotřebí válečky fixovat proti posunutí.

- 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 57 - Výpočet tangentového pravítka



Samotný výsledek je nutno spočítat podle goniometrické funkce *tangens alfa*.

Při měření úhlu na tangentovém pravítku lze postupovat následujícím způsobem:

- 1) Tangentové pravítko položte na příměrnou desku.
- 2) Do stojánku vedle pravítka upevněte číselníkový úchylkoměr.
- 3) Rozhodněte, zda budete měřit s pomocí válečků nebo základních měrek.
- 4) V případě měření se základními měrkami si připravte základní rovnoběžné měrky.
- 5) Sestavte tangentové pravítko se zvolenými měrkami **a**; **b** jako podpěrami pravítka.



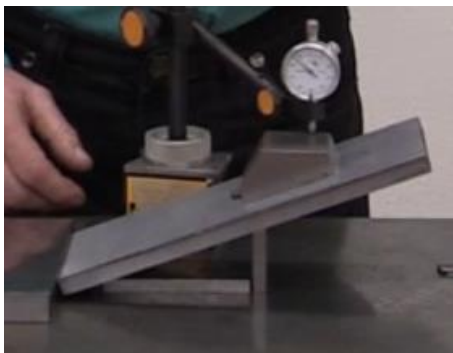
Obrázek 58 - Sestava tangentového pravítka ze základních měrek

- 6) Na horní plochu pravítka položte měřenou součást tak, že měřený úhel tvoří styčná plocha a horní plocha obrobku. Měřenou součást zajistěte proti posuvu.
- 7) Při měření máte jednu měrku **a** a druhou měrku **b** položenou pod pravítkem na příměrné desce. Vkládejte základní měrky mezi podpěry o rozměru **L** tak dlouho, až je horní plocha součásti ve vodorovné rovině s příměrnou deskou (nebo můžete měřit tak, že pro daný úhel **alpha** a vzdálenost měrek **a**; **b** vypočítáte hodnotu **L**, tu sestavíte ze základních měrek

Měření goniometrickými pravítky

rovnoběžných a vložíte mezi podpírající měrky pravítka. Měřenou součást pak položíte na pravítko).

- 8) Posuňte číselníkový úchylkoměr ve stojánku tak, aby měřicí dotek dosedal na horní plochu obrobku a ustavte hodnotu na jednom konci měřené plochy.
- 9) Nyní posuňte číselníkový úchylkoměr ve stojánku tak, aby měřicí dotek na horní ploše obrobku změřil hodnotu na druhém konci měřené plochy.
- 10) Zjistěte rozdíl obou měření.
- 11) Správnost úhlu α 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.



Obrázek 59 - Sestava tangentového pravítka

Úhel sklonu pracovní plochy pravítka k ploše průměrné desky je dán matematickým vztahem:

$$\sin \alpha = \frac{\text{protilehlá odvěsna}}{\text{Přilehlá odvěsna}} = \frac{H}{L}$$

Vztah mezi úhlem α funkcí $\tan \alpha$ najdete v trigonometrických tabulkách.

Seznam obrázků

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Nejčastější chyby	11
Obrázek 2 - Dělení kruhu	13
Obrázek 3 - Přikládání dílenského úhloměru	14
Obrázek 4 - Další způsoby přikládání úhloměru	14
Obrázek 5 - Přikládání úhelníku	15
Obrázek 6 - Průsvit úhelníku	15
Obrázek 7 - Úhloměrné šablony	17
Obrázek 8 - Typy úhelníků	17
Obrázek 9 - Úhlové měrky	18
Obrázek 10 - Protilehlé úhly	19
Obrázek 11 - Stupnice úhlů limbu	20
Obrázek 12 - Měření dílenským úhloměrem	20
Obrázek 13 - Čtení z limbu dílenského úhloměru	21
Obrázek 14 - Popis optického úhloměru	21
Obrázek 15 - Sevření měřeného vzorku mezi ramena úhloměru	22
Obrázek 16 - Určování měřeného úhlu	23
Obrázek 17 - Dílcová noniova stupnice úhloměru	24
Obrázek 18 - Příklad sčítání dvou stupnic	25
Obrázek 19 - Příklad čtení hodnot dvou úhlů	25
Obrázek 20 - Měření ve druhém kvadrantu	26
Obrázek 21 - Porovnání úhlu ve dvou kvadrantech	26
Obrázek 22 - Měřený vzorek	28
Obrázek 23 - Měření vzorku dílenským úhloměrem	28
Obrázek 24 - Optický úhloměr	29
Obrázek 25 - Měřený vzorek	29
Obrázek 26 - Měření optickým úhloměrem	30
Obrázek 27 - Odečítání na dílcové stupnici optického úhloměru	30
Obrázek 28 - Digitální úhloměr	31
Obrázek 29 - Měřený vzorek	31
Obrázek 30 - Základní části digitálního úhloměru	32
Obrázek 31 - Adjustace digitálního úhloměru	32
Obrázek 32 - Měření digitálním úhloměrem	33
Obrázek 33 - Odečítání hodnot na digitálním úhloměru	33
Obrázek 34 - Princip měření kapalinovou libelou	34
Obrázek 35 - Rámová libela	34
Obrázek 36 - Měření osy X	35
Obrázek 37 - Měření osy Y	35
Obrázek 38 - Zobrazení pomocné stupnice v okuláru libely	36
Obrázek 39 - Měření osy Z	36
Obrázek 40 - Grafické znázornění naměřených hodnot	37
Obrázek 41 - Základní orientace systému	37
Obrázek 42 - Koincidenční libela	37
Obrázek 43 - Sestava optické dělící hlavy	38

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Seznam obrázků

Obrázek 44 - Aretace dělicí hlavy	38
Obrázek 45 - Hlavní stupnice optické dělicí hlavy	39
Obrázek 46 - Pomocná stupnice optické hlavy	39
Obrázek 47 - Hlavní stupnice dělicí hlavy	39
Obrázek 48 - Číselníkový úchylkoměr se stojánkem	40
Obrázek 49 - Graf naměřených hodnot	42
Obrázek 50 - Sinusové pravítko	43
Obrázek 51 - Výpočet sinusového pravítka	43
Obrázek 52 - Magnetický stojánek	44
Obrázek 53 - Číselníkový úchylkoměr	44
Obrázek 54 - Základové délkové měrky	44
Obrázek 55 - Sestava měření 1	45
Obrázek 56 - Sestava měření 2	45
Obrázek 57 - Výpočet tangentového pravítka	46
Obrázek 58 - Sestava tangentového pravítka ze základních měrek	46
Obrázek 59 - Sestava tangentového pravítka	47