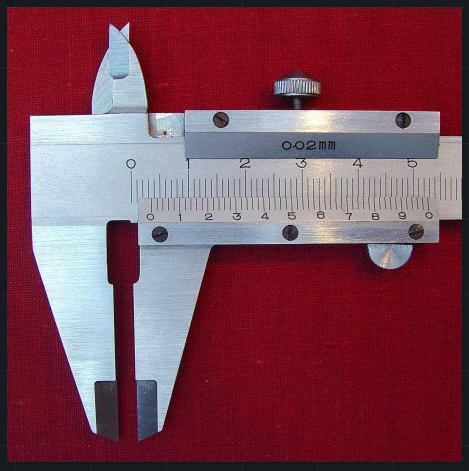
KONTROLA ROZMĚRŮ

Měření

a měřidla. Jak číst stupnice, zvolit měřidlo, změřit díl a zapsat výsledek.





Fotografie: ArtMechanic a Lucasbosch, obě CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons, adresy v kapitole Zdroje

Učební materiál pro žáky oboru. Obsahuje chyby měření, volbu měřidla podle tolerance, posuvné měřítko, mikrometr, úchylkoměr, kalibry, měrky, díry a drsnost, měření při obrábění, protokol, řešené odečty ze schémat, cvičení a test s řešením.

Odborný výcvik
Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů

Zpracoval: Michl Ondřej, 2.OZ
Datum: 6. 11. 2026

Obsah

ZÁKLADY

1 Proč se měří a co měření kazí 3
2 Volba měřidla podle tolerance 9

MĚŘIDLA S DÉLKOVOU STUPNICÍ

3 Posuvné měřítko 12
4 Mikrometr 18

POROVNÁVACÍ A PEVNÁ MĚŘIDLA

5 Úchylkoměr a měření na stroji 24
6 Kalibry, závity, úhly a měrky 28

DÍRY, TVAR A POVRCH

7 Díry, tvar a drsnost 35

MĚŘENÍ V DÍLNĚ

8 Měření při obrábění 41
9 Záznam měření a péče o měřidla 46

OVĚŘENÍ ZNALOSTÍ

10 Cvičení, test a řešení 49

NA ZÁVĚR

11 Slovníček, tahák a zdroje 57

JAK SE S MANUÁLEM UČIT

1. Začni kapitolami 1 a 2. Pochopíš, proč měření nikdy není úplně přesné a jak se volí měřidlo.
2. Kapitoly 3 a 4 si zkoušej se skutečným měřidlem v ruce. Čtení se naučíš jen opakováním.
3. Řešené odečty si zakryj a zkus je sám. Všechna schémata jsou vypočítaná, takže odpovídají skutečným stupnicím.
4. Kapitolu 8 si přečti ještě jednou před prací na stroji. Bezpečnost platí pořád.
5. Na konci si ověř znalosti cvičeními a testem. Řešení je až za nimi.

Příručka platí obecně a nepopisuje žádný konkrétní stroj ani řídicí systém. Když se tvůj stroj chová jinak, platí návod ke stroji a pokyn učitele odborného výcviku, zkráceně UOV.

1

ZÁKLADY

Proč se měří a co měření kazí

Jednotky, hrubá, soustavná a náhodná chyba, paralaxa, teplota, síla měření, Abbeho princip a nejistota v kostce.

Výkres říká, jaký má díl být. Měření říká, jaký opravdu je. Stroj může být přesný a program bez chyby, ale o tom, jestli je kus dobrý, rozhoduje až naměřené číslo. A tomu číslu musíš umět věřit. Tato kapitola vysvětluje, proč měření nikdy není úplně přesné a co s tím můžeš udělat.

V textu se občas odvoláme na UOV. To je **učitel odborného výcviku**. Když si nejsi jistý měřidlem nebo postupem, zeptej se ho.

Měří se kvůli rozhodnutí, jestli je kus dobrý, opravitelný, nebo zmetek. Podle naměřené hodnoty ubereš poslední třísku nebo upravíš korekci. Zapsané hodnoty včas ukážou, že rozměry ujíždějí, a protokol dokládá, co se naměřilo, čím a kdo měřil.

Jednotky

Základní jednotkou délky je metr. Od roku 1983 je definovaný pomocí rychlosti světla, jako dráha, kterou světlo urazí ve vakuu za 1/299 792 458 sekundy. V dílně se 0,1 mm říká desetina, 0,01 mm setina a 0,001 mm tisícina neboli mikrometr (µm). Palec, který najdeš na starších měřidlech, má přesně 25,4 mm. Kóty na strojírenském výkrese jsou v milimetrech, i když se jednotka nepíše. Úhly se udávají ve stupních a minutách, jeden stupeň má 60 minut.

> **TIP**
> Slovo mikrometr má dva významy. Je to jednotka µm a zároveň měřidlo. Z věty to poznáš: „drsnost 1,6 mikrometru“ je jednotka, „změř to mikrometrem“ je měřidlo.

Pojmy, které si lidé pletou

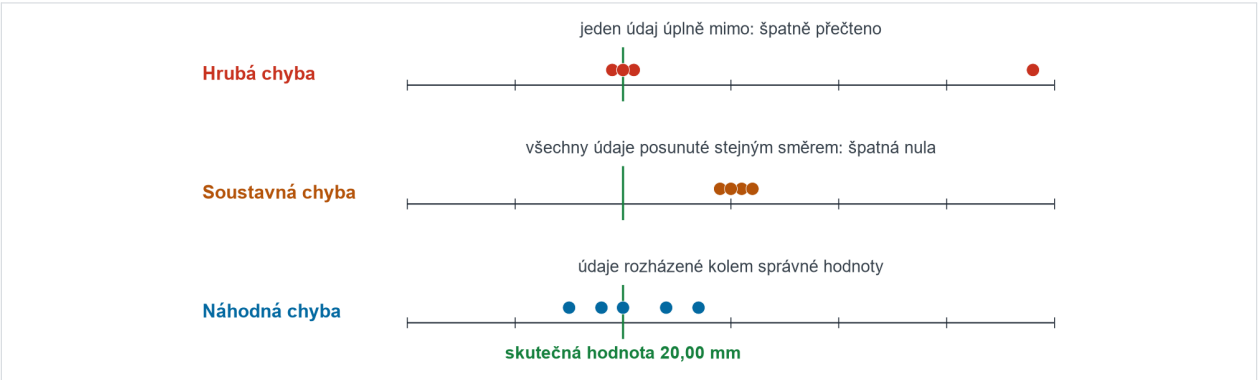
Pojem	Co znamená	Příklad
Jmenovitý rozměr	rozměr z výkresu, od kterého se počítají úchylky	Ø20
Mezní rozměry	největší a nejmenší dovolený rozměr	20,10 a 19,90 u Ø20 ±0,1
Tolerance T	rozdíl horního a dolního mezního rozměru, celá šířka pole	20,10 − 19,90 = 0,20 mm
Úchylka	naměřená hodnota minus jmenovitý rozměr	20,04 − 20 = +0,04 mm
Rozlišení	nejmenší krok, který měřidlo ukáže	displej 0,01 mm
Přesnost	jak blízko je údaj skutečné hodnotě	chyba například ±0,02 mm
Opakovatelnost	jak moc se shodují opakovaná měření téhož	20,02; 20,02; 20,03

PAMATUJ

Rozlišení není přesnost. Displej může ukazovat setiny, a přitom může být údaj o dvě setiny mimo. Výrobce měřidel Mitutoyo u dlouhých posuvných měřítek výslovně píše, že rozlišení s dosažitelnou přesností přímo nesouvisí. Přesnost závisí i na tom, jak měřidlo používáš.

Hrubá, soustavná a náhodná chyba

Žádné měření není úplně přesné. Rozdíl mezi údajem a skutečností se nazývá chyba měření. Má tři druhy a každý se řeší jinak.



Obr. 1.1 Pět měření téhož rozměru. Hrubá chyba je jeden údaj mimo, soustavná posune všechny údaje stejně a náhodná je rozhází.

- **Hrubá chyba** je omyl, například přehlédnutý půlmilimetr nebo tříska pod dotekem. Přeměř, chybný údaj vyřaď a zjisti příčinu.
- **Soustavná chyba** má pokaždé stejnou velikost i směr, například špatná nula, opotřebené čelisti nebo teplý díl. Najdi příčinu a seřiď, nebo chybu odečti.

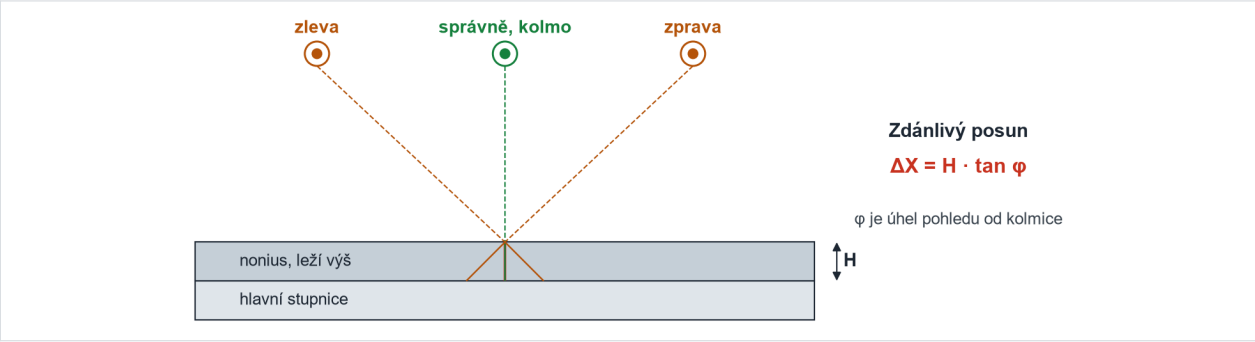
- **Náhodná chyba** je pokaždé jiná, třeba kvůli různému tlaku ruky nebo místu přiložení. Pomůže opakované měření, průměr a stále stejný postup.

Příklad 1 Opakované měření

Zadání	Průměr čepu Ø20 změříš šestkrát: 20,02; 20,03; 20,52; 20,01; 20,02 a 20,02. Jaký je výsledek?
Hrubá chyba	Hodnota 20,52 je o půl milimetru mimo. Přehlédnutý půlmilimetr je typická hrubá chyba. Údaj vyřadíš a počítáš se zbylými pěti.
Průměr	(20,02 + 20,03 + 20,02 + 20,01 + 20,02) / 5 = 100,10 / 5 = 20,020
Rozptyl	největší − nejmenší = 20,03 − 20,01 = 0,02 mm
Výsledek	**Průměr je 20,02 mm, údaje se liší o 0,02 mm.**

Paralaxa

Nonius leží nad hlavní stupnicí. Mezi jejich rovinami je malý schod H. Když se nedíváš kolmo, promítne se ti ryska jinam, než skutečně je. Tak vzniká chyba čtení, které se říká **paralaxa**. Podle příručky Mitutoyo japonská norma JIS omezuje tento schod na nejvýše 0,3 mm.



Obr. 1.2 Z kolmého pohledu je ryska tam, kde má být. Při pohledu ze strany se zdánlivě posune o ΔX.

Při schodku H = 0,3 mm a pohledu 20° od kolmice je zdánlivý posun 0,3 · tan 20° = 0,109 mm, při 45° už 0,3 mm. Posun o desetinu milimetru je víc než celý krok nonia 0,05. Pravidlo je jednoduché: **měřidlo si dej před oči a dívej se kolmo na rysku**. Stejně to platí u bubínku mikrometru i u ručičky úchylkoměru. Digitální displej paralaxu při čtení nemá.

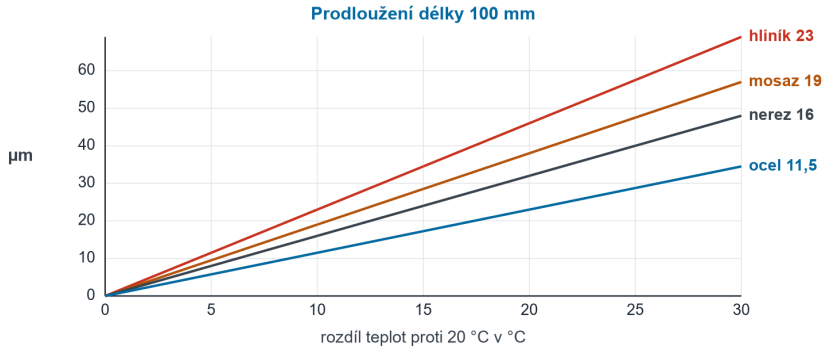
Teplota a délková roztažnost

Kov se teplem prodlužuje. Přesné rozměry se proto vztahují k jedné teplotě. Mezinárodní norma ISO 1 určuje jako vztažnou teplotu pro délková měření **20 °C**. Výpočet je krátký:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

ΔL prodloužení v µm · α součinitel v µm/m/°C · L délka v m · ΔT rozdíl teplot v °C

Materiál	Součinitel α v µm/m/°C	Poznámka
Ocel	11,5	hodnota používaná v dílně, tabulky uvádějí podle druhu oceli zhruba 10 až 13
Korozivzdorná ocel	16	austenitické oceli typu 316, ocel 304 asi 17
Mosaz	19	podle složení i více
Hliník	23	roztahuje se dvakrát víc než ocel



Obr. 1.3 Vypočtené prodloužení délky 100 mm. Hliník je při stejném rozdílu teplot dvakrát delší než ocel.

Příklad 2 Ocelový díl

Zadání	Ocelový díl Ø100 je o 30 °C teplejší než 20 °C. O kolik je větší?
Dosazení	ΔL = 11,5 · 0,100 · 30 = 34,5 µm
Srovnání	čep Ø25 h6 má toleranci 0,013 mm. Při 30 °C navíc se ocelový prodlouží o 0,0086 mm, to je 66 % tolerance, hliníkový o 0,0173 mm, víc než celá tolerance
Výsledek	**ΔL = 0,0345 mm, tedy asi 0,035 mm. Teplý díl může vypadat dobře a po vychladnutí být mimo.**

PAMATUJ

Když mají díl i měřidlo stejnou teplotu a podobný materiál, prodlouží se oba podobně a chyba se skoro vyruší. Hůř je, když je teplý jen díl, nebo když se liší materiál, například hliníkový díl a ocelový mikrometr. Proto nech díl a měřidlo vyrovnat teplotu, než měříš přesný rozměr.

Teplo jde i z ruky. Mitutoyo ukazuje měřením, že se třmen mikrometru i ocelová měrka držená v holé ruce prodlužují a návrat na původní délku trvá dlouho. Mikrometr proto drž za izolační část a měrku drž co nejméně.



Obr. 1.4 Třmenový mikrometr. Při měření ho drž za třmen co nejkratší dobu. *Vlastník obrázku: Stephanie cheks, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Micrometer_screw_gauge.jpg*

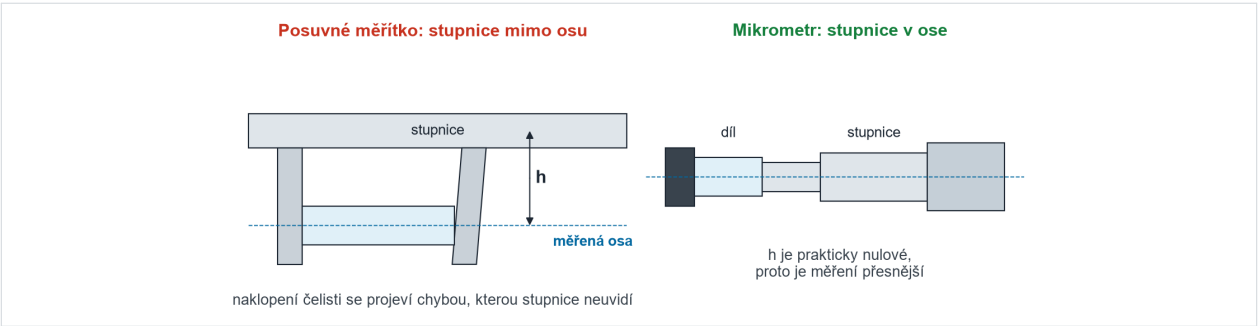
Síla měření

Měřidlo i díl jsou pružné. Velká síla stlačí tenkou stěnu nebo naklopí čelist. Mikrometr má na to řehtačku, která omezí sílu. U běžného třmenového mikrometru výrobce uvádí měřicí sílu 5 až 10 N. Posuvné měřítko takové omezení nemá, sílu držíš jen citem.

Příklad z příručky Mitutoyo: náklon čelisti je a = 0,01 mm na délce ℓ = 50 mm a čelisti jsou h = 40 mm hluboké. Chyba na špičce je f = 40 · 0,01 / 50 = 0,008 mm. To je skoro celá setina, a přitom se to pouhým okem nepozná.

Abbeho princip

Fyzik Ernst Abbe popsal pravidlo, které je důležité pro všechna přesná měřidla. Zkráceně říká, že **největší přesnost je tehdy, když stupnice a měřený rozměr leží v jedné přímce**.



Obr. 1.5 U posuvného měřítka leží stupnice mimo měřenou osu. U mikrometru leží v ose, a proto měří přesněji.

Posuvné měřítko tuto podmínku nesplňuje. Díl je níž než stupnice o vzdálenost h, takže každý náklon čelisti se do údaje promítne a stupnice o tom neví. Proto měř co nejblíž ke stupnici, ne na špičkách čelistí. Mikrometr podmínku splňuje, protože osa vřetene leží v ose měřeného rozměru. I proto je mikrometr přesnější, i když je čtení jen o řád jemnější.

Nejistota měření v kostce

Každý výsledek je ve skutečnosti rozmezí. V kalibračních listech se proto zapisuje jako **x ± U**. U je rozšířená nejistota a obvykle se uvádí s koeficientem k = 2, což odpovídá pravděpodobnosti asi 95 %. Skutečná hodnota tedy s touto pravděpodobností leží v uvedeném rozmezí.

- **Typ A** se zjistí z opakovaných měření, tedy z náhodného rozptylu.
- **Typ B** pochází z jiných údajů, například z kalibračního listu, od výrobce měřidla nebo z vlivu teploty.



Obr. 1.6 Hodnota uprostřed pole je jistá. Hodnota blízko meze je nejistá, i když číslo vychází ještě v toleranci.

V běžné dílně se postupuje jednoduše. Údaj v mezích je dobrý, údaj mimo meze je špatný. Podmínkou je dost přesné měřidlo, o tom je další kapitola. Když je ale údaj těsně u meze, nerozhoduj od oka. Přeměř ho přesnějším měřidlem a případně se poraď s UOV.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Tolerance je celá šířka pole, úchylka je naměřená hodnota minus jmenovitý rozměr.
- Hrubou chybu přeměř a vyřaď, soustavnou odstraň a náhodnou zmenší opakované měření.
- Na stupnici se dívej kolmo. Ocel se prodlouží o 11,5 µm na metr a stupeň, vztažná teplota je 20 °C.
- Stejná síla při každém měření: řehtačka u mikrometru, lehká ruka u měřítka.
- Stupnice má ležet v ose měření. Mikrometr to splňuje, posuvné měřítko ne, proto měř blízko stupnice.

2

ZÁKLADY

Volba měřidla podle tolerance

Jak z tolerance na výkrese poznat, čím se rozměr smí měřit, a proč rozlišení ještě není přesnost.

Správné měřidlo je takové, kterému na daný rozměr můžeš věřit. Příliš hrubé měřidlo nerozhodne, jestli je díl dobrý. Příliš jemné zdržuje a stojí zbytečně moc. Volba začíná vždy tolerancí na výkrese.

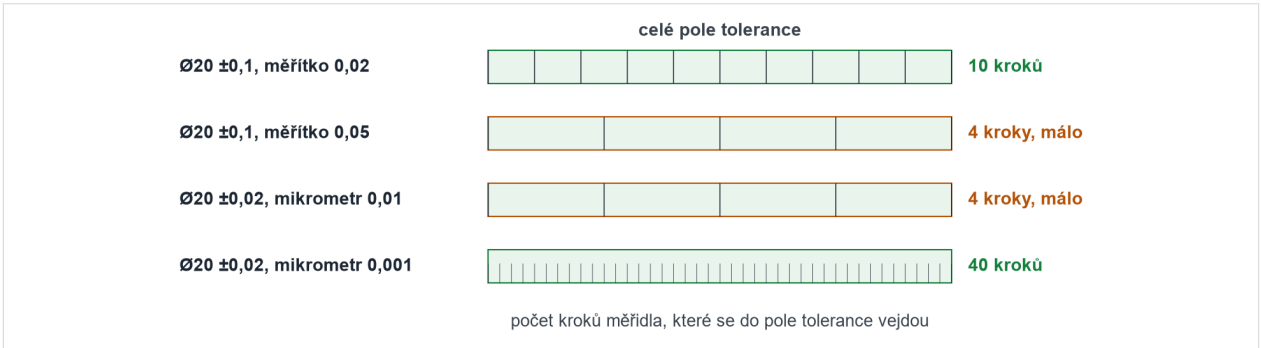
Pravidlo pro rozlišení

V našich školních materiálech platí pravidlo, že **rozlišení měřidla má být aspoň pětkrát lepší než tolerance rozměru**. Do tolerance se tedy má vejít aspoň pět kroků měřidla.

poměr = T / rozlišení

T je celá šířka tolerančního pole · poměr má být aspoň 5

Odkud to je? Americká vojenská norma z roku 1950 stanovila, že chyba měřidla nemá přesáhnout 10 % tolerance dílu. Tomu se říká pravidlo 10 : 1 nebo pravidlo výrobců měřidel. Pro kalibraci platil poměr 5 : 1. Podle výrobce Mitutoyo se dnes tyto požadavky obvykle zapisují jako poměr 4 : 1. Pozor, tyto poměry mluví o **přesnosti** měřidla, zatímco školní pravidlo pěti mluví o **rozlišení**. Oba pohledy se hodí a dále je použijeme.



Obr. 2.1 Kolik kroků měřidla se vejde do tolerance. Čím víc kroků, tím spolehlivější rozhodnutí.

POZOR

Rozměr ±0,02 je na mikrometru 0,01 na hraně, poměr vychází 4. Přesnější volba je mikrometr 0,001 nebo kalibr. Tolerance h6 má pro průměr 20 jen 0,013 mm a obyčejný mikrometr 0,01 tu podle pravidla nestačí. Co použít na takový rozměr v dílně, potvrdí UOV.

Přesnost se počítá jinak

Rozlišení říká, jak jemně měřidlo ukazuje. Přesnost říká, o kolik může být údaj mimo. Výrobce ji udává jako největší dovolenou chybu. Mitutoyo vysvětluje poměr TAR, česky poměr přesnosti, takto:



Obr. 2.2 Digitální posuvné měřítko. Displej ukazuje setiny milimetru.
Vlastník obrázku: Jacek Halicki, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2020_Suwmiarka_cyfrowa.jpg

TAR = ± tolerance / ± chyba měřidla

dnes se obvykle požaduje hodnota aspoň 4

Příklad 3 Poměr přesnosti

Zadání	Hřídel Ø20 ±0,015 měříš mikrometrem s chybou ±0,001 mm. Vyhovuje?
Dosazení	TAR = 0,015 / 0,001 = 15
Výsledek	**TAR = 15, mikrometr vyhovuje.**
Poznámka	Příklad je z technického bulletinu Mitutoyo.

Následující tabulka ukazuje hodnoty konkrétních modelů z katalogů výrobce. Tvoje školní měřidlo může mít jiné údaje, najdeš je v jeho návodu nebo kalibračním listu.

Měřidlo	Rozlišení	Největší chyba	TAR na ±0,1	TAR na ±0,05
Posuvné měřítko s noniem	0,05	±0,05	2,0	1,0
Posuvné měřítko s noniem	0,02	±0,03	3,3	1,7
Digitální posuvné měřítko	0,01	±0,02	5,0	2,5
Třmenový mikrometr 0 až 25	0,01	±0,002	50,0	25,0
Mikrometr s noniem 0 až 25	0,001	±0,001	100,0	50,0

Z tabulky je vidět, proč ve školních materiálech stojí u tolerance ±0,05 poznámka „digitální měřítko s ověřením“. Displej ukazuje setiny, ale chyba ±0,02 mm je pro takový rozměr velká. Rozměr v okolí meze proto ověř mikrometrem. A u ±0,1 je posuvné měřítko běžné, ale těsně u meze platí totéž.

Jak se rozhodnout

Přečti předpis, spočítej meze a toleranci T a urči, co měříš. Vyber měřidlo, které se tam vejde a dosedne, a zkontroluj poměr T / rozlišení. U opakované výroby zvaž kalibr. Orientačně platí tabulka ze školních materiálů:

Předpis na výkrese	Vhodné měřidlo	Poznámka
Bez tolerance, hrubý rozměr	svinovací metr, pravítko, posuvné měřítko	polotovar, délka řezu
±0,5 až ±0,1 mm	posuvné měřítko	většina rozměrů na dílně
±0,05 až ±0,01 mm	mikrometr, dutinoměr, případně digitální měřítko s ověřením	přesné čepy a díry
H7, h6, závit	kalibr nebo přesný mikrometr	uložení a závity
Házení, rovnoběžnost	úchylkoměr se stojánkem	měří rozdíl, ne délku
Ra, Rz	porovnávací vzorky, drsnoměr	viz kapitola 7

Příklad 4 Volba měřidla pro čep

Zadání	Na výkrese je Ø30 h6. Toleranční pole je podle tabulky 29,987 až 30,000. Které měřidlo zvolíš?
T	30,000 − 29,987 = 0,013 mm
Mikrometr 0,01	poměr 0,013 / 0,01 = 1,3, nestačí
Mikrometr 0,001	poměr 0,013 / 0,001 = 13, stačí
Výsledek	**Mikrometr 0,001 nebo třmenový kalibr h6.**
Poznámka	Hodnoty tolerance jsou ze školních materiálů pro 2. ročník.

Číslo, nebo dobrý a špatný

Měřidla se dělí podle toho, co ti dají. Měřidlo se stupnicí dá **číslo**, takže vidíš, o kolik je díl mimo a jestli rozměr ujíždí. Kalibr dá jen odpověď **dobrý, nebo špatný**. Je rychlý a na uložení H7 a h6 velmi spolehlivý, ale neřekne, kolik zbývá ubrat.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Tolerance T je horní mez minus dolní mez, ne jen číslo za ±.
- Školní pravidlo: T / rozlišení má vyjít aspoň 5.
- Rozlišení není přesnost. Poměr přesnosti TAR je ± tolerance dělená ± chybou měřidla.
- Ø20 ±0,1 je pro měřítko 0,02, ±0,02 je na mikrometr 0,01 na hraně a h6 patří na mikrometr 0,001 nebo kalibr.
- Kalibr je rychlý, ale neřekne číslo, trend z něj nepoznáš.

3

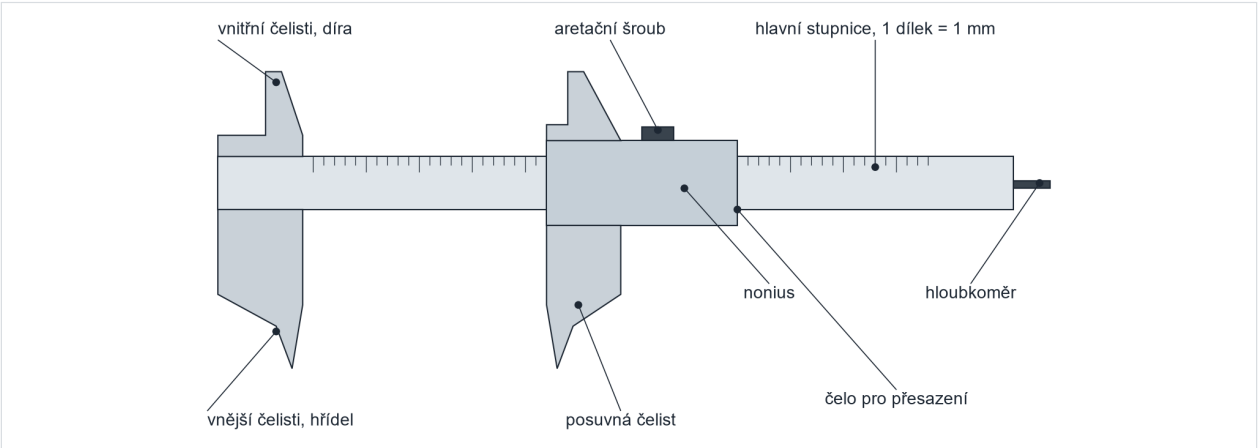
MĚŘIDLA S DÉLKOVOU STUPNICÍ

Posuvné měřítko

Části, nonius 0,1, 0,05 a 0,02, číselník a displej. Řešené odečty, čtyři způsoby měření a typické chyby.

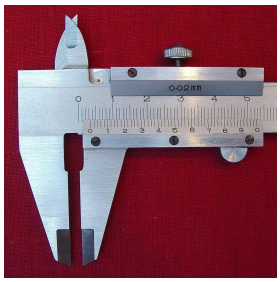
Posuvné měřítko je nejpoužívanější měřidlo v dílně. Změří vnější a vnitřní rozměr, hloubku i přesazení. Je rychlé a má velký rozsah, obvykle do 150 mm. Rozlišení bývá 0,1, 0,05 nebo 0,02 mm, u digitálního a číselníkového 0,01 mm.

Části posuvného měřítka



Obr. 3.1 Části posuvného měřítka. Jedno měřidlo zvládne čtyři druhy měření.

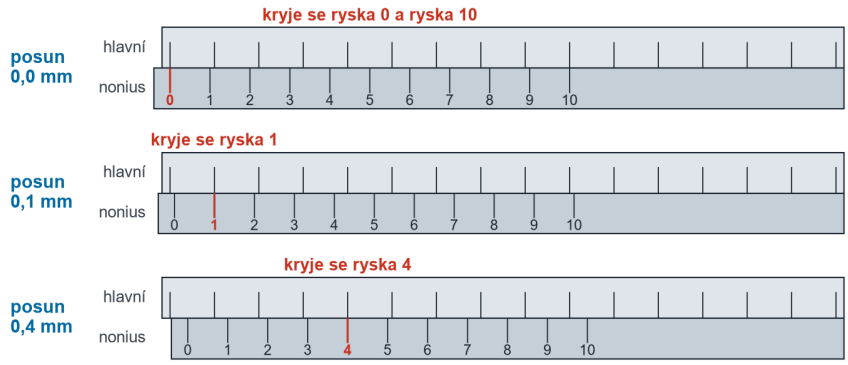
Pevná čelist je spojená s hlavním pravítkem a na posuvné části je nonius. Aretačním šroubem posuvnou část zajistíš. Hloubkoměr je tenká tyčinka, která vyjíždí ze zadního konce pravítka. Měřítko tedy umí měřit hloubku jen v takové díře, kam se tyčinka vejde. Čelisti přivírej lehce a vždy stejnou silou.



Obr. 3.2 Posuvné měřítko s noniem 0,02 mm. *Vlastník obrázku: ArtMechanic, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Messschieber.jpg*

Jak funguje nonius

Hlavní stupnice má dílky po 1 mm. Na noniu jsou rysky trochu hustěji. U nonia 0,1 je 10 dílků na délce 9 mm, jeden dílek má tedy 0,9 mm. První ryska je proto o 0,1 mm před ryskou hlavní stupnice, druhá o 0,2 mm a tak dále. Když měřítko pootevřeš o 0,1 mm, kryje se první ryska. Když o 0,4 mm, kryje se čtvrtá.



Obr. 3.3 Princip nonia 0,1. Rozdíl mezi dílkem hlavní stupnice a noniem je 0,1 mm, proto rysky postupně přecházejí do krytí.

Nonius	Dílků	Na délce	Jeden dílek	Rozlišení	Jak to vzniklo
0,1	10	9 mm	0,9 mm	0,1 mm	1 − 0,9 = 0,1
0,05	20	19 mm	0,95 mm	0,05 mm	1 − 0,95 = 0,05
0,05 dlouhý	20	39 mm	1,95 mm	0,05 mm	2 − 1,95 = 0,05
0,02	50	49 mm	0,98 mm	0,02 mm	1 − 0,98 = 0,02

Dlouhý nonius má stejné rozlišení, jen se lépe čte, protože rysky jsou dál od sebe. Čísla na noniu se u různých výrobců liší. V našich schématech jsou u nonií 0,05 a 0,02 v setinách milimetru (0, 10, 20 až 100). Na skutečném měřítku bývají často v desetinách (0, 1, 2 až 10). Hlavní stupnice je na schématech v milimetrech, na měřítku bývá číslo 1 pro 10 mm, 2 pro 20 mm a tak dále. Podívej se na fotku posuvného měřítka výše.

Jak přečíst rozměr

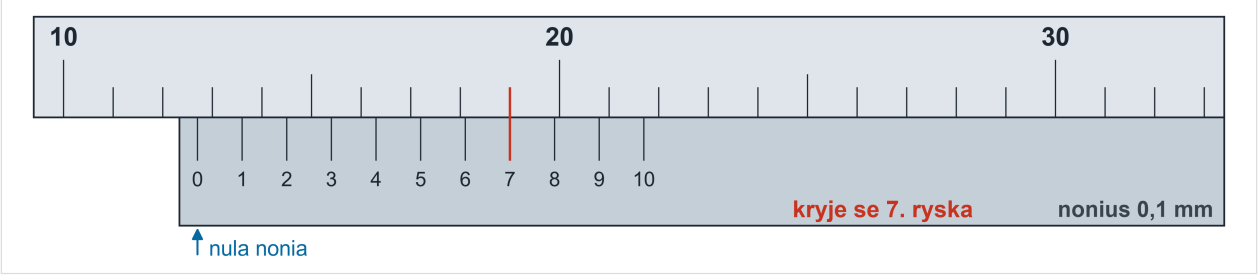
1. Podívej se na hlavní stupnici těsně před nulou nonia. To jsou **celé milimetry**.
2. Na noniu najdi rysku, která se **přesně kryje** s některou ryskou hlavní stupnice.
3. Pořadové číslo této rysky vynásob rozlišením nonia. To jsou **desetiny a setiny**.
4. Obě hodnoty sečti. Nezáleží na tom, se kterou ryskou hlavní stupnice se ryska nonia kryje.

> **TIP**
> Když váháš mezi dvěma ryskami, podívej se na sousedy. U správné rysky jsou rysky vlevo i vpravo posunuté symetricky, jedna na jednu a druhá na druhou stranu.

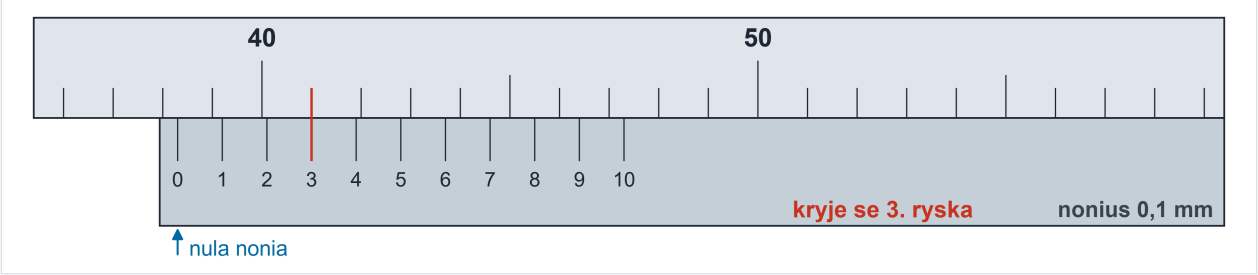
Nácvik: odečítání z nonia

Schémata jsou vypočítaná z dané hodnoty. Polohy všech rysek odpovídají skutečnému noniu. Červeně je vyznačená ryska, která se kryje. Hodnotu si nejdřív zakryj a zkus ji přečíst sám.

Nonius 0,1 mm

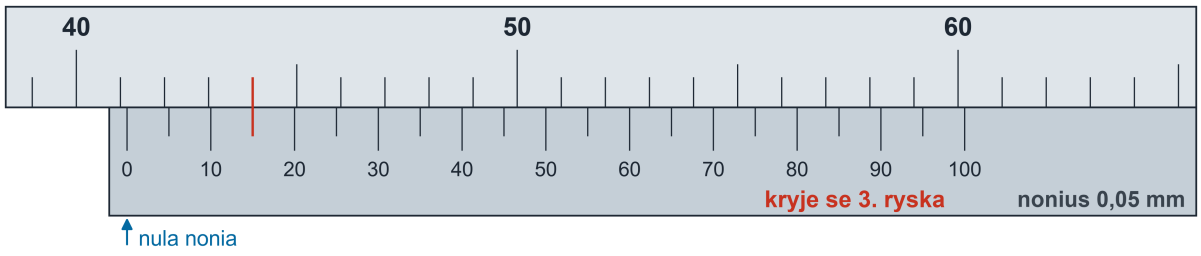


Obr. 3.4 Nula nonia je za ryskou 12. Kryje se 7. ryska nonia. Rozměr je 12 + 7 × 0,1 = **12,7 mm**.

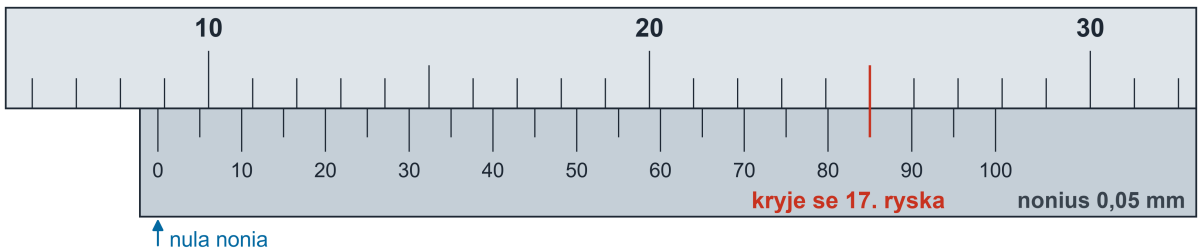


Obr. 3.5 Nula nonia je za ryskou 38. Kryje se 3. ryska nonia. Rozměr je 38 + 3 × 0,1 = **38,3 mm**.

Nonius 0,05 mm



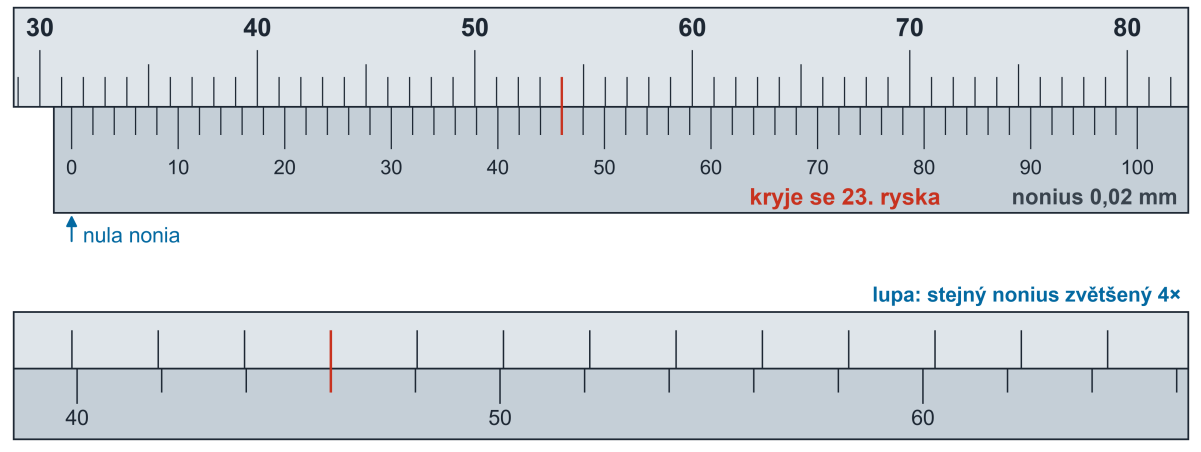
Obr. 3.6 Nula nonia je za ryskou 41. Kryje se 3. ryska nonia. To je pozice označená 15. Rozměr je 41 + 3 × 0,05 = **41,15 mm**.



Obr. 3.7 Nula nonia je za ryskou 8. Kryje se 17. ryska nonia. To je pozice označená 85. Rozměr je 8 + 17 × 0,05 = **8,85 mm**.

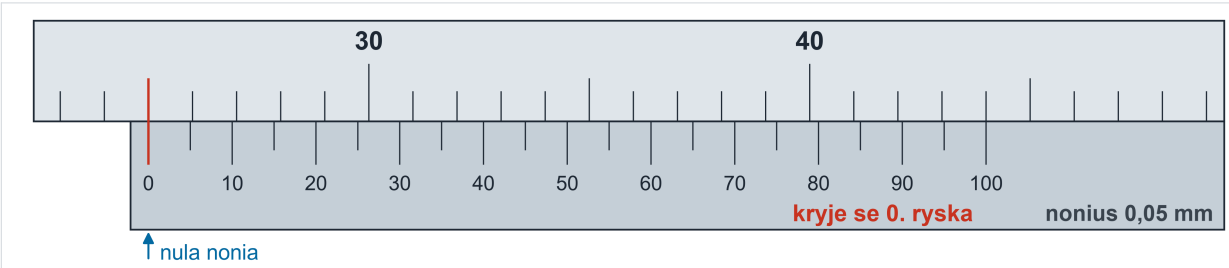
Nonius 0,02 mm

U nonia 0,02 jsou rozdíly mezi ryskami velmi malé. Proto je pod schématem ještě lupa se stejným noniem zvětšeným čtyřikrát. Na skutečném měřítku ti pomůže dobré světlo a kolmý pohled.



Obr. 3.8 Nula nonia je za ryskou 31. Kryje se 23. ryska nonia. To je pozice označená 46. Rozměr je 31 + 23 × 0,02 = **31,46 mm**.

Když se kryje nula



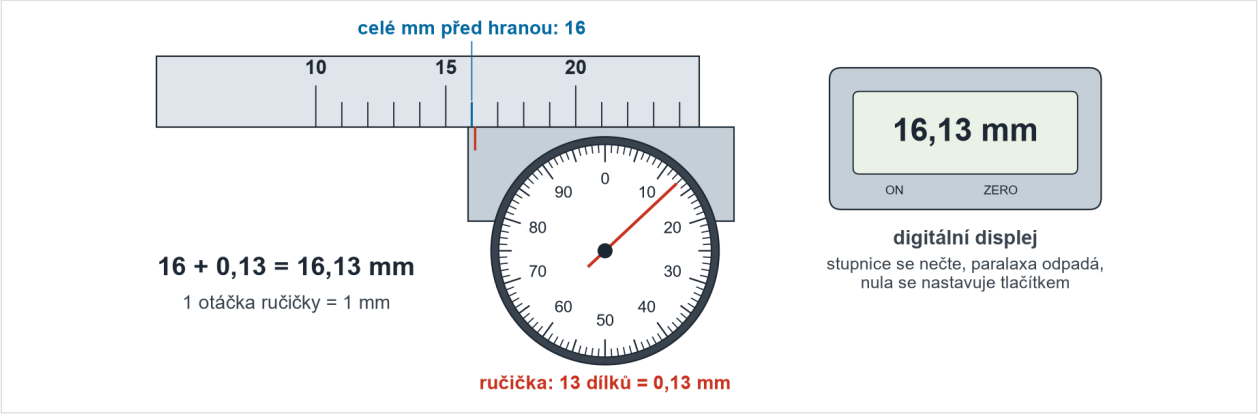
Obr. 3.9 Nula nonia se přesně kryje s ryskou 25. Kryje se i poslední ryska nonia, proto je za desetinnou čárkou nula. Rozměr je **25 mm**.

POZOR

Nejčastější chyby: počítáš celé milimetry až za nulou nonia, přičítáš ke kryjící rysce číslo z hlavní stupnice, nebo si spleteš pořadí rysky s jejím označením. U nonia 0,05 je sedmá ryska označená 35, ne 7. Další odečty najdeš ve cvičeních v kapitole 10.

Číselník a displej

Jemné rozměry bez nonia ukáže číselníkové nebo digitální měřítko. U číselníkového přečteš celé milimetry na hlavní stupnici a setiny na ručičce. Číselník s dělením 0,01 mm má 100 dílků, takže jedna otáčka ručičky odpovídá 1 mm. Příklad 16 + 0,13 = 16,13 mm je převzatý z příručky Mitutoyo. Existují i číselníky s dělením 0,02 mm, proto se vždy podívej na popis.



Obr. 3.10 Číselníkové měřítko s dělením 0,01 mm a stejný údaj na digitálním displeji.



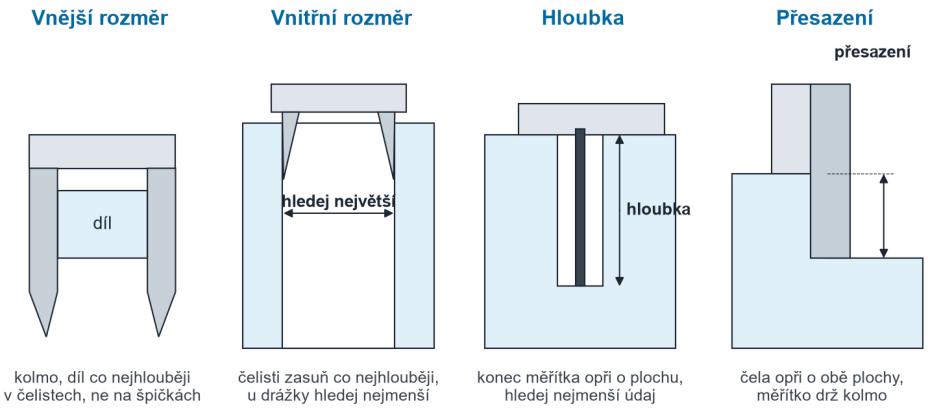
Obr. 3.11 Číselníkové posuvné měřítko s dělením 0,02 mm.
Vlastník obrázku: Lucasbosch, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TESA_CCMA-P_150_mm_0.02_mm_dial_caliper.jpg

Digitální měřítko se čte nejsnáz, ale má své zásady. Před měřením ho očisti, sevři čelisti a zkontroluj nulu, případně vynuluj tlačítkem. Hlídej baterii, slabá baterie dělá chyby na displeji. Rozlišení 0,01 mm na displeji neznamená přesnost 0,01 mm, to už víš z kapitoly 2.



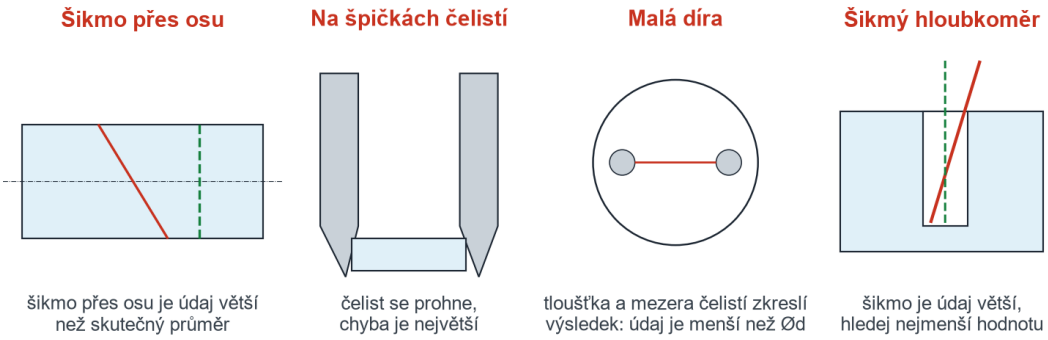
Obr. 3.12 Měření vnějšího průměru trubky posuvným měřítkem.
Vlastník obrázku: Mkronsteiner, Wikimedia Commons, licence CC0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:45er_2.jpg

Vnější, vnitřní, hloubka a přesazení



Obr. 3.13 Čtyři způsoby měření jedním měřidlem. Díru čti jako největší údaj, drážku a hloubku jako nejmenší.

Typické chyby



Obr. 3.14 Čtyři běžné chyby. Všechny vzniknou při správném přečtení, chyba je v přiložení.

POZOR

Posuvným měřítkem nikdy neměř rotující díl. Čelisti se mohou zachytit a měřidlo ti vytrhne z ruky nebo tě stáhne k dílu. Zastav stroj a počkej, až se vřeteno úplně zastaví. Podrobně to najdeš v kapitole 8.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Celé milimetry jsou před nulou nonia. Ryska, která se kryje, krát rozlišení, dává zbytek.
- 0,1: 10 dílků na 9 mm. 0,05: 20 na 19 mm. 0,02: 50 na 49 mm.
- Díru čti jako největší údaj, drážku a hloubku jako nejmenší.
- Na šikmém přiložení, na špičkách a při velké síle měřítko lže.
- Rotující díl se neměří, vždy zastav.

4

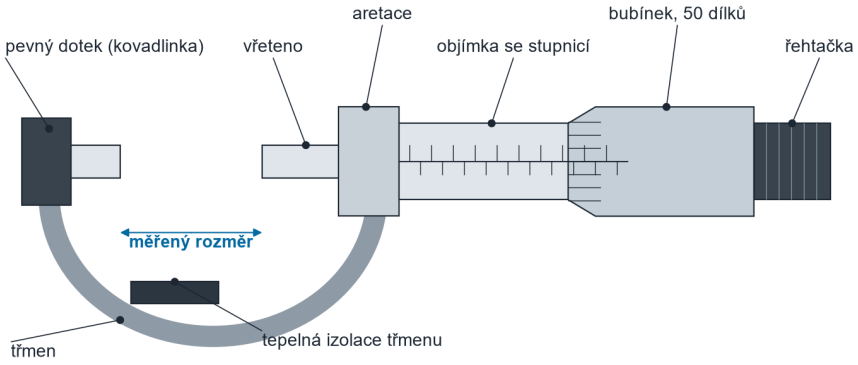
MĚŘIDLA S DÉLKOVOU STUPNICÍ

Mikrometr

Princip šroubu, čtení s rozlišením 0,01 a s noniem 0,001, ověření nuly, vnitřní a hloubkový mikrometr.

Mikrometr měří přesněji než posuvné měřítko. Má menší rozsah, proto se prodává po 25 mm: 0 až 25, 25 až 50, 50 až 75 a tak dále. Díky šroubu dává rozlišení 0,01 mm a s noniem 0,001 mm a díky Abbeho principu z kapitoly 1 má i malou chybu.

Části mikrometru



Obr. 4.1 Části třmenového mikrometru. Na třmenu bývá izolace, aby teplo z ruky neprodlužovalo třmen.

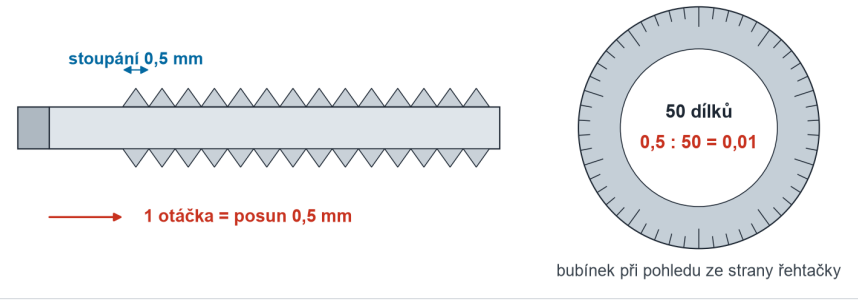
Pevný dotek a vřeteno svírají měřený díl. Objímka se stupnicí stojí, otáčí se bubínek. Řehtačka omezí sílu, aretace zajistí vřeteno.

Princip: šroub se stoupáním 0,5 mm

Vřeteno je přesný šroub se stoupáním 0,5 mm. Jedna otáčka bubínku posune vřeteno o 0,5 mm. Bubínek má po obvodu 50 dílků, jeden dílek je tedy 0,5 : 50 = 0,01 mm. Na objímce jsou nad podélnou čarou celé milimetry a pod ní půlmilimetry.



Obr. 4.2 Detail stupnice mikrometru: rysky na objímce a dílky na bubínku.
Vlastník obrázku: Lucasbosch, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, oříznuto, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mahr_Micromar_40A_0–25_mm_Micrometer.jpg



Obr. 4.3 Jedna otáčka je půl milimetru. Padesátina otáčky je setina milimetru.

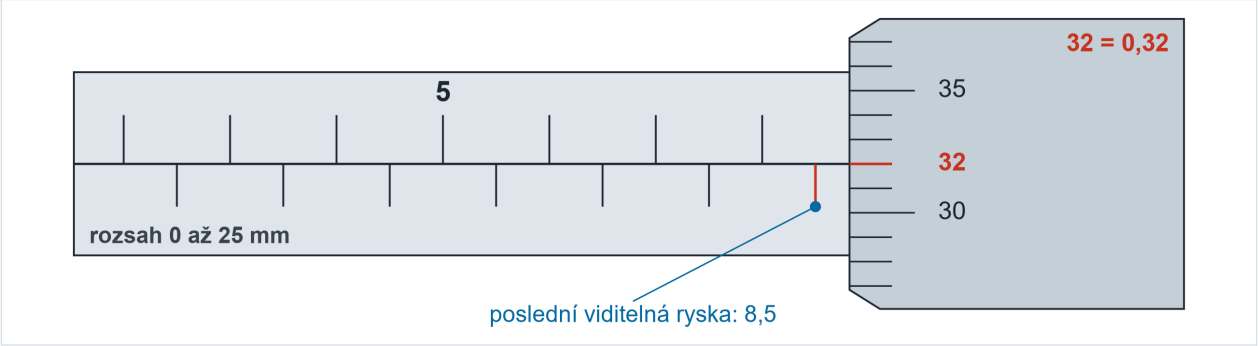
Jak přečíst rozměr

1. Na objímce najdi poslední viditelnou rysku. Horní rysky jsou celé milimetry, dolní půlmilimetry.
2. Na bubínku přečti dílek, který je na podélné čáře objímky. Dílek krát 0,01 mm je zbytek.
3. Obě hodnoty sečti. U rozsahu 25 až 50 přičti ještě spodní hranici rozsahu.

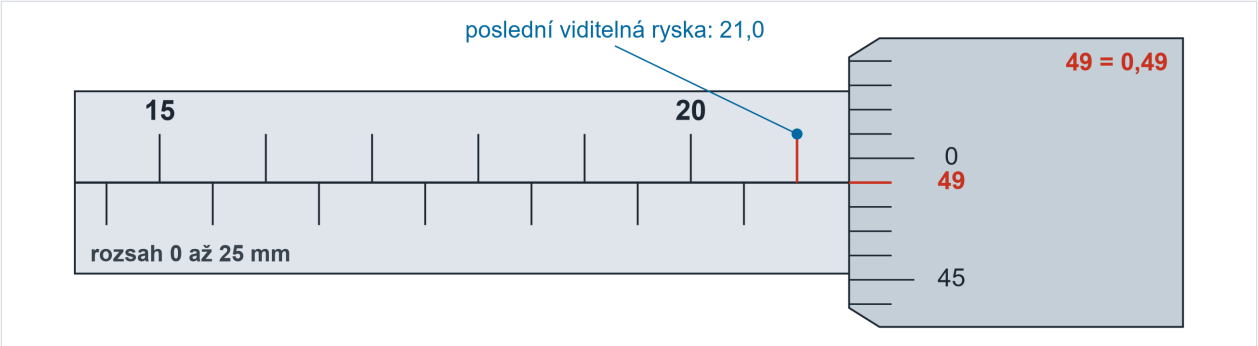
> **POZOR**
> Nejčastější hrubá chyba je zapomenutý půlmilimetr. Podívej se vždy na dolní řadu rysek. Pozor i na opačnou chybu: když je bubínek těsně před nulou, například na dílku 48, další ryska už skoro vykukuje zpod hrany bubínku. Dokud není vidět, nepočítá se.

Nácvik: odečítání z mikrometru

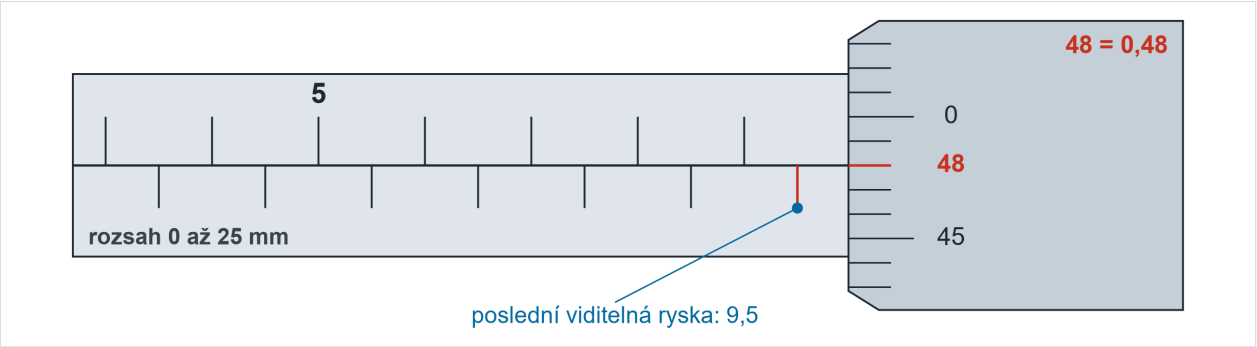
Schémata jsou vypočítaná z hodnoty, kterou uvádí popis. Poloha hrany bubínku je přesná. Zakryj si popis a zkus to přečíst sám.



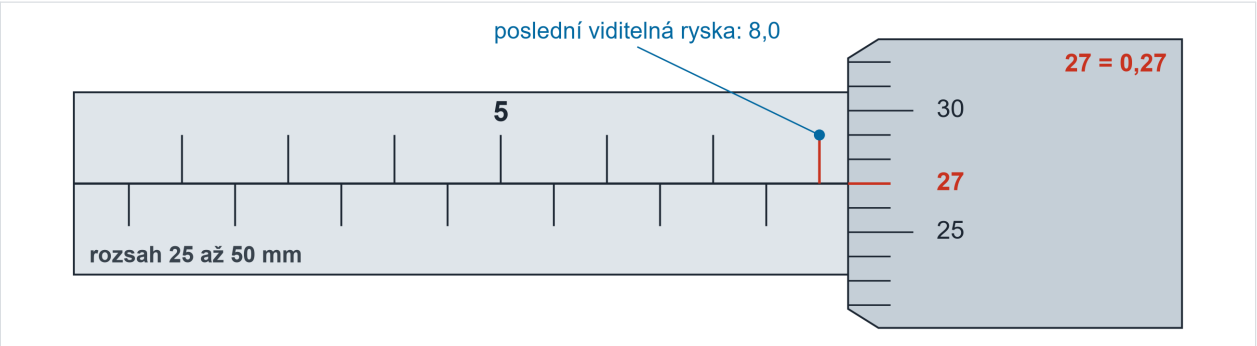
Obr. 4.4 Poslední viditelná ryska je 8,5 (dolní, půlmilimetr). Na podélné čáře je dílek 32, tedy 0,32 mm. Rozměr je 8,5 + 0,32 = **8,82 mm**.



Obr. 4.5 Poslední viditelná ryska je 21,0 (horní, celé milimetry). Na podélné čáře je dílek 49, tedy 0,49 mm. Rozměr je 21,0 + 0,49 = **21,49 mm**.



Obr. 4.6 Poslední viditelná ryska je 9,5 (dolní, půlmilimetr). Na podélné čáře je dílek 48, tedy 0,48 mm. Rozměr je 9,5 + 0,48 = **9,98 mm**.



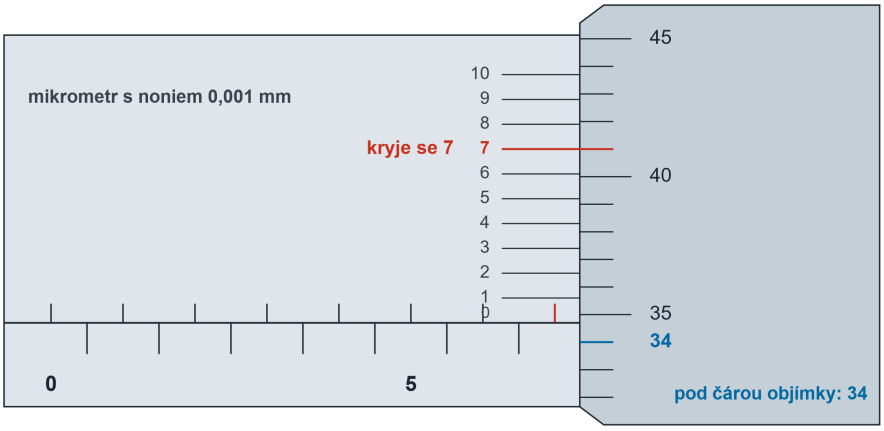
Obr. 4.7 Poslední viditelná ryska je 8,0 (horní, celé milimetry). Na podélné čáře je dílek 27, tedy 0,27 mm. Rozměr je 25 + 8,0 + 0,27 = **33,27 mm**.

Všimni si druhého a třetího schématu. Hodnoty 21,49 a 9,98 jsou přesně ty, kde se lidé nejčastěji spletou o půlmilimetr. Když si nejsi jistý, změř rozměr ještě posuvným měřítkem. Hrubou chybu to odhalí.

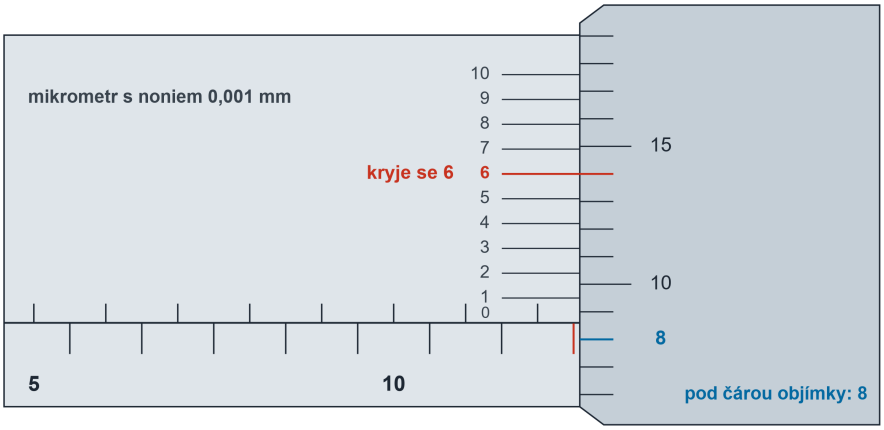
Mikrometr s noniem 0,001 mm

Některé mikrometry mají na objímce nad podélnou čarou ještě deset vodorovných rysek. To je nonius. Deset jeho dílků je na stejné délce jako devět dílků bubínku. Rozdíl je jedna desetina dílku bubínku, tedy 0,001 mm. Princip je stejný jako u posuvného měřítka.

Čteš ve třech krocích: objímka, pak dílek bubínku, který je ještě **pod** podélnou čarou, a nakonec ryska nonia, která se kryje s některou ryskou bubínku. Jeden z modelů výrobce uvádí pro toto provedení největší chybu ±0,001 mm, běžný mikrometr 0,01 mm má ±0,002 mm.



Obr. 4.8 Objímka 7,0. Pod podélnou čárou je dílek 34, tedy 0,34 mm. S ryskou bubínku se kryje ryska nonia 7, tedy 0,007 mm. Rozměr je 7,0 + 0,34 + 0,007 = **7,347 mm**.



Obr. 4.9 Objímka 12,5. Pod podélnou čárou je dílek 8, tedy 0,08 mm. S ryskou bubínku se kryje ryska nonia 6, tedy 0,006 mm. Rozměr je 12,5 + 0,08 + 0,006 = **12,586 mm**.

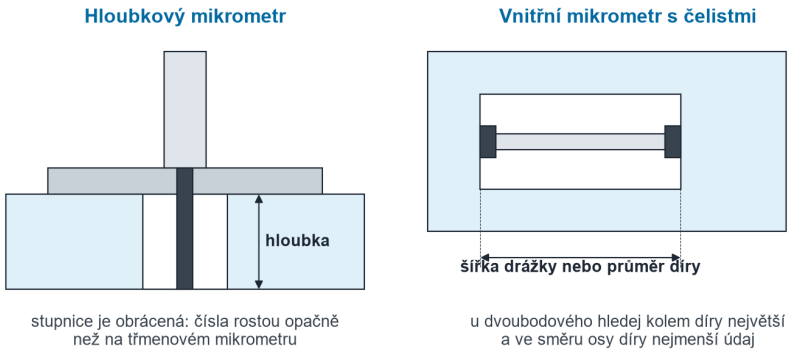
Jak měřit

1. Očisti měřicí plochy a díl. Ověř nulu podle dalšího odstavce.
2. Díl přilož k pevnému doteku. Mikrometr drž za izolaci na třmenu, ať ho neohřeješ.
3. Bubínkem se přibliž téměř k dílu. Dál už otáčej jen řehtačkou.
4. Řehtačka má 2 až 3krát přeskočit. Tak je každé měření se stejnou silou.
5. Mikrometrem lehce pokývej. Na hřídeli hledej ve směru kolem průměru největší a ve směru osy nejmenší údaj.
6. Přečti hodnotu na díle. Když na díl nevidíš, zajisti aretaci a opatrně mikrometr vysuň.

Ověření nuly

Rozsah 0 až 25 ověříš sevřením čistých doteků řehtačkou. Větší rozsahy ověříš nastavovací měrkou, kterou k mikrometru dostaneš. Měrku drž za izolaci, teplo z ruky ji prodlouží. Když nula nesedí a rozdíl je malý, seřizuje se speciálním klíčkem. Klíček zapadne do otvoru v objímce a objímkou se pootočí, až se podélná čára kryje s nulou bubínku. Větší rozdíl se řeší uvolněním bubínku podle návodu výrobce. Přesný mikrometr ale neseřizuj na vlastní pěst. Oznam to UOV, ať se nezmění údaje, kterým ostatní věří.

Vnitřní a hloubkový mikrometr



Obr. 4.10 Hloubkový mikrometr měří od opěrné plochy na dno. Vnitřní mikrometr s čelistmi měří díry a drážky.



Obr. 4.11 Hloubkový mikrometr a jeho výměnná tyčka (vlevo) a vnitřní mikrometry s čelistmi pro 5 až 30 a 25 až 50 mm (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MicrometerDepth916947.jpg; vpravo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MicrometerInside5-30_25-50.jpg

Hloubkový mikrometr se opře příčkou o plochu a vřeteno vyjíždí dolů. Stupnice je obrácená, čísla na objímce rostou opačným směrem, protože větší údaj znamená větší vysunutí. Výměnné tyčky mění rozsah. Nulu ověř na rovné ploše, u větších rozsahů měrkou.

Vnitřní mikrometr má dva doteky, které se rozevírají od sebe. Hodí se na díry a drážky. Před čtením si ověř, kterým směrem čísla na jeho stupnici rostou. Třídotekový vnitřní mikrometr se v díře sám vystředí. Podrobně je to v kapitole 7.

PAMATUJ

Další typické chyby: měření bubínkem místo řehtačkou, špatně přečtený rozsah na třmenu, třmen ohřátý od ruky a špína na dotecích. Mikrometrem neměř hrubý a neobrobený povrch, poškodíš doteky.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Stoupání 0,5 mm a 50 dílků na bubínku: 1 dílek je 0,01 mm.
- Objímka a pak bubínek. Horní rysky jsou milimetry, dolní půlmilimetry.
- S noniem: dílek pod čarou a ryska nonia, která se kryje, krát 0,001 mm.
- Dotahuj jen řehtačkou, 2 až 3 přeskočení. Nulu ověř před měřením.
- U rozsahu 25 až 50 přičti 25. Hloubkový mikrometr má stupnici obráceně.

5

POROVNÁVACÍ A PEVNÁ MĚŘIDLA

Úchylkoměr a měření na stroji

Úchylkoměr měří rozdíl, ne délku. Stojánek, předpětí, házení, rovnoběžnost a pravidla pro měření na stroji.

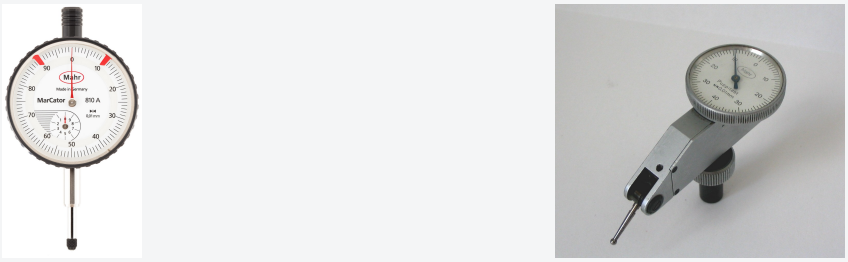
Úchylkoměr, v dílně také číselníkové hodinky, neměří délku. Měří **rozdíl** proti místu, kde jsi ho vynuloval. Proto se s ním pozná, jestli je plocha rovnoběžná, jestli díl v sklíčidle neháže a jestli je svěrák rovně na stole.

Části a čtení



Obr. 5.1 Číselníkový úchylkoměr. Velká ručička má 100 dílků na otáčku, jeden dílek je 0,01 mm.

Běžný číselníkový úchylkoměr má dělení 0,01 mm a rozsah podle provedení 5, 10 nebo 25 mm. Jedna otáčka velké ručičky je 1 mm. Malé počítadlo ukazuje celé otáčky. Ciferníkem se dá otočit, takže si nulu nastavíš tam, kde zrovna potřebuješ.



Obr. 5.2 Číselníkový úchylkoměr (vlevo) a páčkový úchylkoměr (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Lucasbosch, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mahr_MarCator_810_A_dial_indicator.png; vpravo Solaris2006, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dial_Gauge_Puppitast.jpg

Číselníkový úchylkoměr s vřeténkem má velký rozsah a hodí se na rovnoběžnost, výšku a ustavení velkých ploch. Vřeténko musí být v ose měření. Páčkový má malý rozsah, řádově desetiny milimetru, a vejde se do těsných míst, děr a na boky. Jeho dotek má být co nejvíc rovnoběžně s plochou.

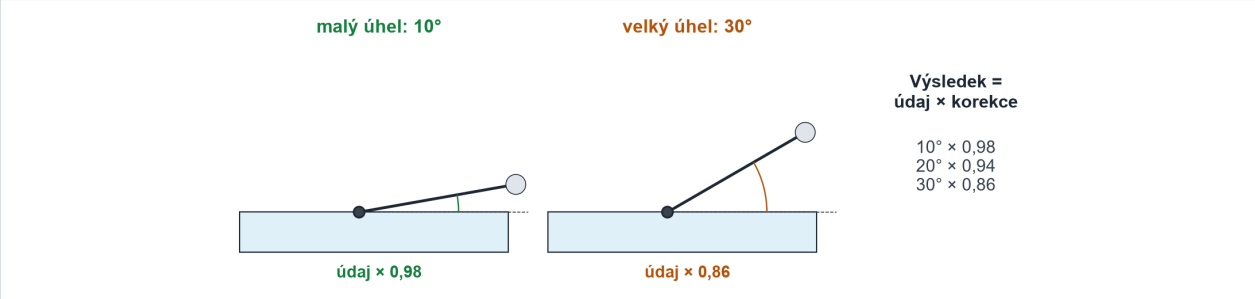
Stojánek a nastavení

1. Očisti plochu, na kterou stojánek postavíš. Zapni magnet a stojánek pevně zatáhni. Rameno měj co nejkratší, delší se víc prohýbá.
2. Úchylkoměr upni za stopku nebo za ouško. Stopku neutahuj příliš, vřeténko by se mohlo zadírat.
3. Dotek přilož kolmo k měřené ploše a s předpětím. Vřeténko musí mít zásobu na obě strany.
4. Otoč ciferník na nulu.
5. Přejeď plochu nebo pomalu otoč díl rukou a sleduj údaj.
6. Na konci se vrať na začátek a zkontroluj, jestli je tam pořád nula. Když není, stojánek povolil nebo se dotek zadřel.

> **PAMATUJ**
> Předpětí znamená, že dotek je trochu stlačený ještě před začátkem měření, jinak by při poklesu plochy ztratil kontakt. U páčkového se v praxi uvádí asi 0,1 mm, u číselníkového se řiď návodem. Vřeténko podle výrobce nemaž, olej na něm chytá špínu. Když jde ztěžka, otři ho suchým nebo lihem navlhčeným hadříkem.

Úhel doteku a kosinová chyba

Páčkový úchylkoměr ukazuje správně, jen když je jeho dotek rovnoběžně s měřenou plochou. Hrot se pak pohybuje přesně ve směru měření. Když je dotek k ploše skloněný, ukáže víc, než je skutečnost. Správný výsledek je údaj vynásobený korekcí. Hodnoty jsou z příručky Mitutoyo.

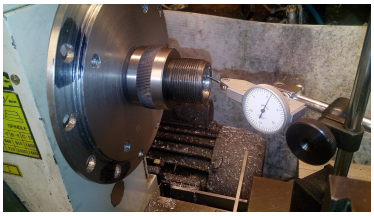


Obr. 5.3 Čím větší úhel mezi dotekem a plochou, tím větší chyba.

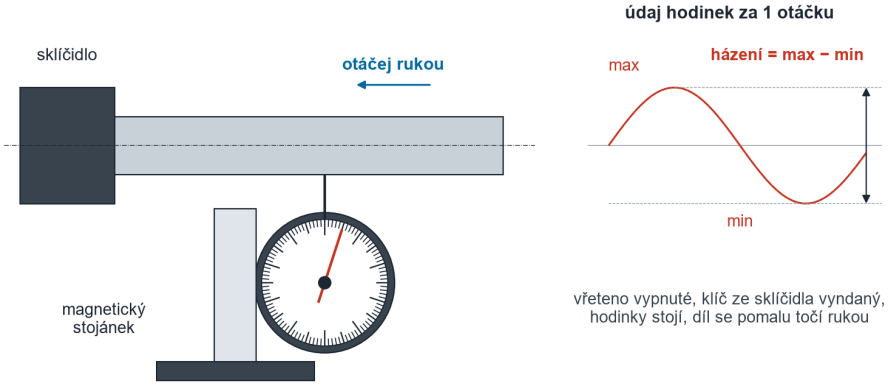
Například údaj 0,200 mm při úhlu 20° je ve skutečnosti 0,200 · 0,94 = 0,188 mm. Když úchylkoměr jen hlídáš, jestli ručička stojí na nule, nevadí to. Vadí to, když z něj čteš velikost rozdílu.
U číselníkového platí totéž: vřeténko musí být v ose měřeného směru.

Kontrola házení

Házení je rozdíl největšího a nejmenšího údaje za jednu otáčku dílu. Ukazuje, jak moc plocha „kmitá“ vůči ose otáčení.



Obr. 5.4 Páčkový úchylkoměr na magnetickém držáku při kontrole házení na soustruhu.
Vlastník obrázku: David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dial_Test_Indicator_in_Use.jpg



Obr. 5.5 Kontrola házení. Otáčí se rukou, zapnuté vřeteno je tady zakázané.

1. Vypni vřeteno a počkej, až se zastaví. Když to stroj umožňuje, dej převodovku do neutrálu, ať jde sklíčidlem otáčet rukou.
2. Vyndej klíč ze sklíčidla a nástroj odjeď z místa, kde budeš pracovat rukama.
3. Dotek přilož shora nebo z boku na válcovou plochu, kolmo na osu. Předpětí a nula.
4. Pomalu otáčej sklíčidlem rukou a zapiš největší a nejmenší údaj.
5. Házení je jejich rozdíl.

Příklad 5 Vystředění ve čtyřčelisťovém sklíčidle

Zadání	Za otáčku jsou údaje od −0,06 do +0,06. Jaké je házení a o kolik je díl mimo osu?
Házení	+0,06 − (−0,06) = 0,12 mm
Výstřednost	střed je mimo osu o polovinu házení: 0,12 / 2 = 0,06 mm
Výsledek	**Házení je 0,12 mm, posun středu je 0,06 mm.**
Poznámka	Údaj se při otáčce mění o dvojnásobek skutečného posunu. Čelist proto posuň o polovinu rozdílu, pak znovu přeměř.

Rovnoběžnost a rovinnost na desce



Obr. 5.6 Na příměrné desce leží díl spodní plochou. Rozdíl údajů na horní ploše ukáže rovnoběžnost. Sklon je pro názornost přehnaný.

Postup je podobný jako u házení. Na čistou příměrnou desku polož díl. Na stojánku s hodinkami jedeš po desce a dotek jede po horní ploše. Největší rozdíl je rovnoběžnost horní plochy vůči spodní. Údaj je ovlivněný tím, co je pod dílem, proto musí být deska i spodní plocha čisté a bez otřepu.

Rovinnost je něco jiného. Tady se měří samotná plocha, bez vztahu k té spodní. Díl proto leží na třech stavitelných podpěrách, nastaví se tak, aby tři krajní body ukazovaly stejně, a pak se projede celá plocha. Největší rozdíl je rovinnost. Jednodušší kontrola pravítkem je v kapitole 7.

Měření na stroji

Úchylkoměrem ustavíš svěrák: stůl jede a hodinky jedou po pevné čelisti, rozdíl odstraníš poklepem a dotažením a přeměříš. Díru nebo čep vystředíš hodinkami upnutými ve vřetenu a otáčíš rukou při vypnutém vřetenu. Rozměr dílu ve stroji měř mikrometrem, měřítkem nebo kalibrem, jen když stroj stojí.

> **POZOR**
> Úchylkoměr se dá nastavit tak, že se dotýká dílu za běhu, ale ve škole to nedělej. Dotek se může zachytit o hranu a měřidlo i s držákem může odletět. Házení kontroluj jen s vypnutým vřetenem a otáčej rukou.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Úchylkoměr měří rozdíl, ne délku. Velká ručička má 0,01 mm na dílek, jedna otáčka je 1 mm.
- Dotek kolmo a s předpětím, pak nula. Na konci ověř, že se údaj vrátil na nulu.
- Házení je největší minus nejmenší údaj za otáčku. Posun středu je polovina házení.
- Páčkový úchylkoměr: malý úhel doteku, jinak údaj vynásob korekcí.
- Otáčej rukou, vřeteno vypnuté, klíč ze sklíčidla pryč.

6

POROVNÁVACÍ A PEVNÁ MĚŘIDLA

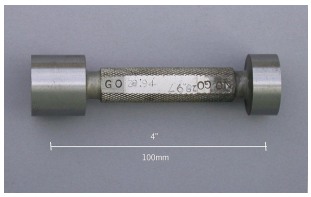
Kalibry, závity, úhly a měrky

Mezní kalibry, měření závitů, úhlů, sinusové pravítko a skládání koncových měrek.

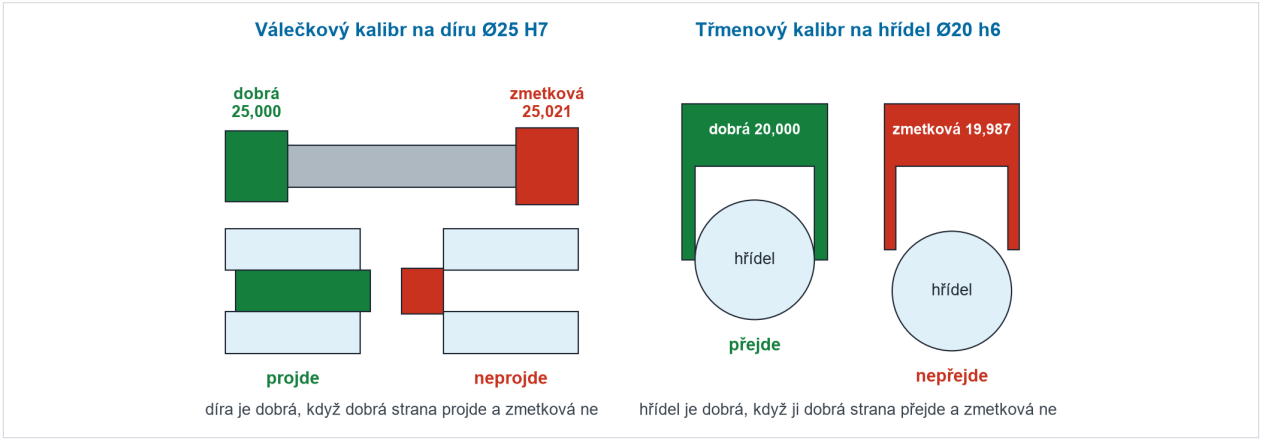
Tato kapitola je o měřidlech bez stupnice nebo s velmi úzkým použitím. Kalibr rychle rozhodne o dobrém a špatném kusu. Závit a úhel mají svá měřidla. Koncové měrky jsou to nejpřesnější v dílně a slouží hlavně ke kontrole ostatních měřidel.

Mezní kalibry

Mezní kalibr má dvě strany. **Dobrá strana** má mít rozměr, kde je v díle nejvíc materiálu, a musí projít. **Zmetková strana** má rozměr, kde je v díle nejméně materiálu, a nesmí projít. Pravidlo se v odborné literatuře jmenuje Taylorova zásada. Dobrá strana kontroluje celý tvar najednou, proto je delší. Zmetková kontroluje jen jeden rozměr.



Obr. 6.1 Válečkový mezní kalibr, dobrá strana je označená GO.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GaugePlugSpecialGoNoGo.jpg



Obr. 6.2 Mezní kalibry. Hodnoty díry H7 a hřídele h6 jsou ze školních materiálů pro 2. ročník.



Obr. 6.3 Co říká kalibr. U díry je malý rozměr opravitelný, u hřídele naopak velký rozměr.

Jak se kalibrem měří

1. Stroj stojí, díl je čistý, odjehlený a vychlazený. Kalibr očisti.
2. Dobrou stranu zasuň bez násilí. Má projít celou délkou díry nebo přes celý čep.
3. Zmetkovou stranu zkus jen lehce. Nesmí projít.
4. Oba výsledky zapiš a kalibr hned ulož do pouzdra.

POZOR

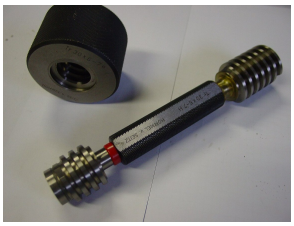
Kalibr se nikdy netlačí silou a neklepe se do něj. Násilím projde i dobrá strana, a zničíš díl i kalibr. Dobrá strana se používáním opotřebovává, a proto se kalibry musí kontrolovat. Výrobci u ní proto dávají přídavek na opotřebení.

Závity

Závit je složitější než válec. Má vnější průměr, malý průměr a střední průměr D2, stoupání a úhel profilu. Pro funkci je rozhodující střední průměr. Stoupání určí závitová šablona, česky hřebínek. Nejjednodušší kontrola je protikus. Přesnost 6H nebo 6g ověří závitový kalibr, střední průměr změří závitový mikrometr a velmi přesně tři dráty.

Závitový kalibr

Dobrý závitový kalibr má plný profil a musí se rukou zašroubovat po celé délce závitu. Zmetkový se smí rukou a bez síly zašroubovat nejvýš o dvě otáčky. Školní materiály uvádějí 1 až 2 otáčky, v dílně se řiď pokynem UOV. Zmetková strana bývá označená červeně.
U závitových kalibrů to tak uvádí například katalog Hoffmann Group.

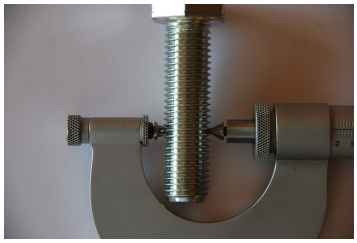


Obr. 6.4 Závitový kalibr pro lichoběžníkový závit a zmetkový kroužek.
Vlastník obrázku: Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thread_Gauge.JPG

Závitový mikrometr

Má výměnné doteky s kuželem a s vybráním do V. Kužel zapadne do zubové mezery a vybrání na protilehlý zub. Doteky se volí podle stoupání. Údaj je přímo střední průměr, když je nula nastavená na odpovídajícím kalibru nebo sevřením doteků podle návodu.

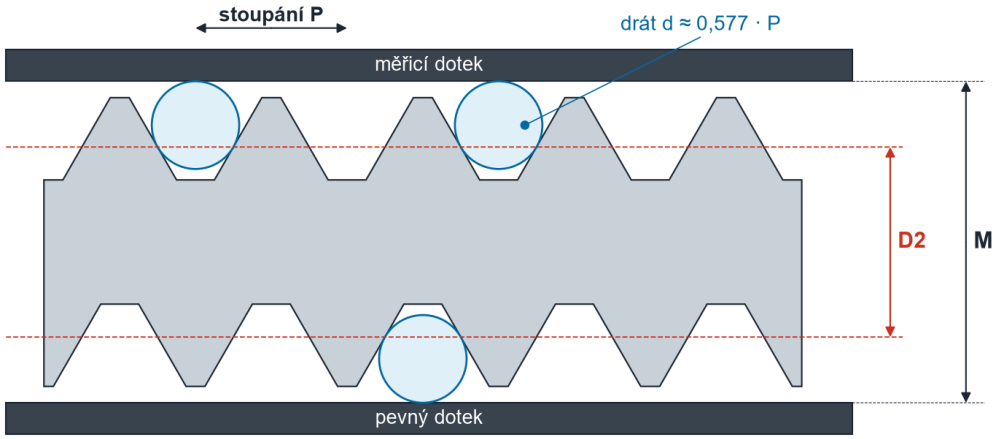
Podle Mitutoyo vznikají největší chyby z odchylky úhlu závitu a z nestejné měřicí síly. Dotahuj proto jen řehtačkou.



Obr. 6.5 Měření šroubu závitovým mikrometrem. Kuželový dotek zapadá do zubové mezery.
Vlastník obrázku: Tanelhaak, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Keerme_mõõtmine_keermemikromeetriga.jpg

Tři dráty

Mezi boky závitu se vloží tři přesné dráty, jeden na jednu stranu a dva na druhou. Mikrometr měří přes dráty rozměr M. Z něj se dopočítá střední průměr. Nejvhodnější drát se dotýká boků právě ve výšce středního průměru.



Obr. 6.6 Měření přes tři dráty. Drát d ≈ 0,577 · P se dotýká boků na středním průměru.

$$M = D2 + 3 \cdot d - 0{,}866 \cdot P$$

platí pro metrický závit 60° · naopak $D2 = M - 3 \cdot d + 0{,}866 \cdot P$

Závit	P	D2	Drát d	M
M8 × 1,25	1,25	7,188	0,722	8,27
M10 × 1,5	1,5	9,026	0,866	10,33
M12 × 1,75	1,75	10,863	1,01	12,38
M16 × 2	2	14,701	1,155	16,43

Příklad 6 Tři dráty M10 × 1,5

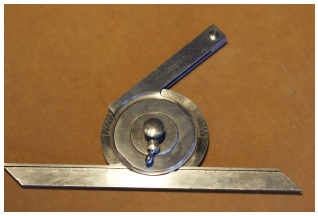
Zadání	Drát d = 0,866 mm. Přes dráty naměříš M = 10,34 mm. Jaký je střední průměr? Jmenovitý D2 je 9,026 mm.
Dosazení	D2 = 10,34 − 3 · 0,866 + 0,866 · 1,5 = 10,34 − 2,598 + 1,299 = 9,041
Rozdíl	9,041 − 9,026 = 0,015 mm
Výsledek	**D2 = 9,041 mm, o 0,015 mm větší než jmenovitá hodnota.**
Poznámka	Výsledek ještě porovnej s tolerancí závitu, například 6g, z tabulek.

Úhly a šablony

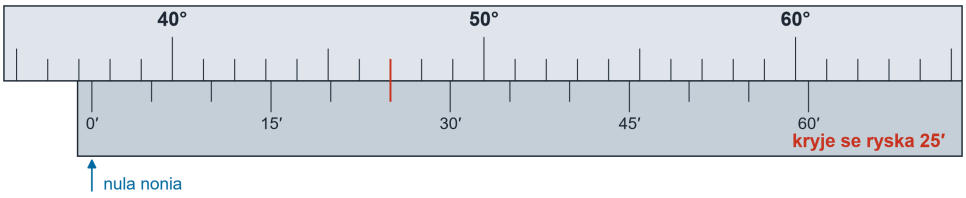
Pravý úhel zkontroluješ úhelníkem proti světlu, zaoblení rádiusovou šablonou a malou mezeru sparoměrem. Libovolný úhel změříš univerzálním úhloměrem, přesný úhel nastavíš sinusovým pravítkem.

Nonius na úhloměru

Univerzální úhloměr má na noniu 12 dílků na délce 23°. Jeden dílek má tedy 23/12 stupně, a to je o 5′ méně než 2°. Čteš stejně jako u posuvného měřítka: celé stupně před nulou nonia a ryska, která se kryje, ti dá násobek 5 minut. Nonius čti ve stejném směru, jakým rostou stupně. Stupnice je na obě strany, proto se nepleť.



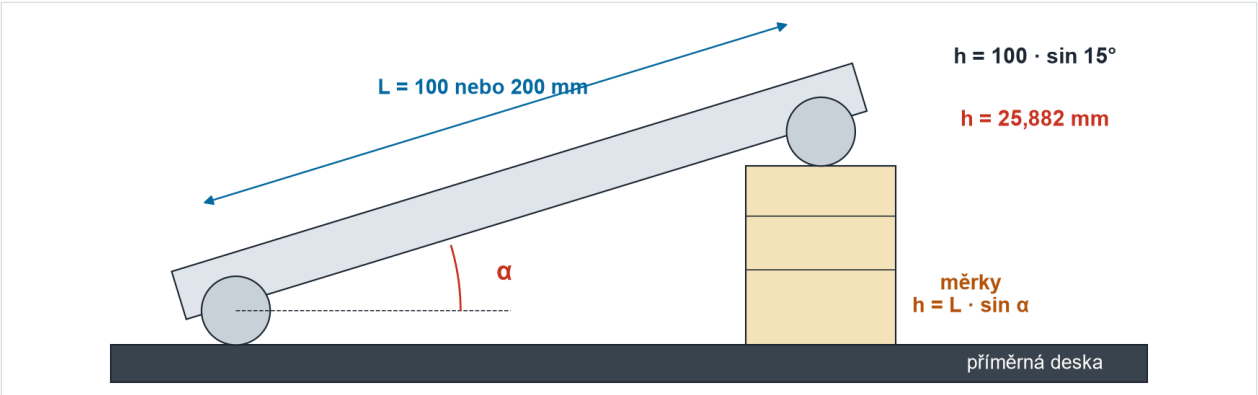
Obr. 6.7 Univerzální úhloměr.
Vlastník obrázku: Rebecca Siegel, Wikimedia Commons, licence CC BY 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Universal_bevel_protractor.jpg



Obr. 6.8 Nula nonia je za 37°. Kryje se ryska označená 25′. Úhel je 37°25′.

Sinusové pravítko

Sinusové pravítko má dva přesné válečky ve vzdálenosti L, obvykle 100 nebo 200 mm. Pod jeden váleček se dá sloupec měrek výšky h. Vznikne pravoúhlý trojúhelník, kde L je přepona a h protilehlá odvěsna.



Obr. 6.9 Sinusové pravítko. Výška měrek určuje úhel. Úhel je pro názornost 17°.

$$h = L \cdot \sin \alpha$$

α = arcsin (h / L) · L je vzdálenost os válečků

Příklad 7 Výška měrek

Zadání	Pravítko L = 100 mm, chceš úhel 15°.
Dosazení	h = 100 · sin 15° = 100 · 0,25882
Výsledek	**h = 25,882 mm**
Poznámka	Sloupec z měrek si složíš podle další části.

Díl položíš na pravítko a hodinkami přejedeš horní plochu. Když je údaj na obou koncích stejný, má plocha správný úhel. Delší pravítko dává při stejné chybě výšky menší chybu úhlu. U strmých úhlů se pravítko hodí méně, protože malá chyba výšky tam dělá velkou chybu úhlu.



Obr. 6.10 Sinusové pravítko s úchylkoměrem na stojánku.
Vlastník obrázku: Rrudzik, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sine_bar_in_use.jpg

Koncové měrky

Koncové měrky jsou přesné ocelové nebo keramické kvádry. Mezinárodní norma ISO 3650 pro ně zná kalibrační třídu K a třídy 0, 1 a 2. Přesnou délku mají při 20 °C. Skládají se do sloupce a slouží ke kontrole a nastavení měřidel, ne k běžnému měření na stroji.



Obr. 6.11 Sada metrických měrek v pouzdře (vlevo). Přetřené měrky drží na sobě tak silně, že unesou svou váhu (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GaugeBlockMetricSet.jpg; vpravo Clarence Leon Goodrich a Frank Arthur Stanley, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gauge_Block_Adhesion.jpg

Jak složit rozměr

Mitutoyo radí tři věci: co nejméně měrek, co nejsilnější měrky a začít od poslední číslice. Běžná sada má 112 kusů:

Měrky	Krok	Počet
1,0005	jediný kus	1
1,001 až 1,009	0,001	9
1,01 až 1,49	0,01	49
0,5 až 24,5	0,5	49
25, 50, 75, 100	25	4

Příklad 8 Složení 58,365 mm

Zadání	Slož rozměr z popsané sady.
Tisíciny	poslední číslice 5: měrka 1,005, zbývá 57,360
Setiny	končí na ,36: měrka 1,36, zbývá 56,000
Zbytek	6 a 50
Výsledek	**1,005 + 1,36 + 6 + 50 = 58,365 mm**

Při přetírání měrky očisti, tlusté přilož křížem a za mírného tlaku pootoč do osy, tenkou přetři na tlustou posouváním přes okraj. Měrky drž co nejméně, teplo z ruky je prodlouží. Po práci sloupec rozeber, měrky očisti a naolej. Podle Wikipedie unesou správně přetřené měrky tah kolem 300 N.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Dobrá strana projde, zmetková ne. Válečkový: dobrá je dolní mez. Třmenový: dobrá je horní mez.
- Kalibr se netlačí silou. Závitový zmetkový se smí zašroubovat nejvýš o dvě otáčky.
- Tři dráty: $M = D2 + 3 \cdot d - 0{,}866 \cdot P$, drát $d \approx 0{,}577 \cdot P$.
- Sinusové pravítko: $h = L \cdot \sin \alpha$. Měrky se skládají od poslední číslice a co nejméně kusů.
- Nonius úhloměru: 12 dílků na 23°, krok 5′.

7

DÍRY, TVAR A POVRCH

Díry, tvar a drsnost

Vnitřní dutinoměr, teleskopický měrák, kuželovitost, ovalita, rovinnost, kruhovitost a drsnost povrchu.

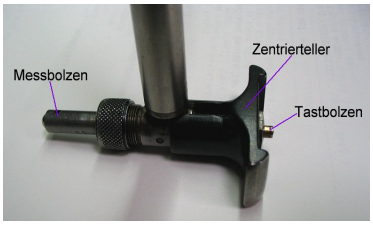
Přesnou díru změříš hůř než čep. Nevidíš dovnitř a měřidlo musí být přesně v průměru. Tato kapitola ukazuje, jak na díry, jak ve škole zkontrolovat tvar a jak se pozná drsnost povrchu.

Čím měřit díru

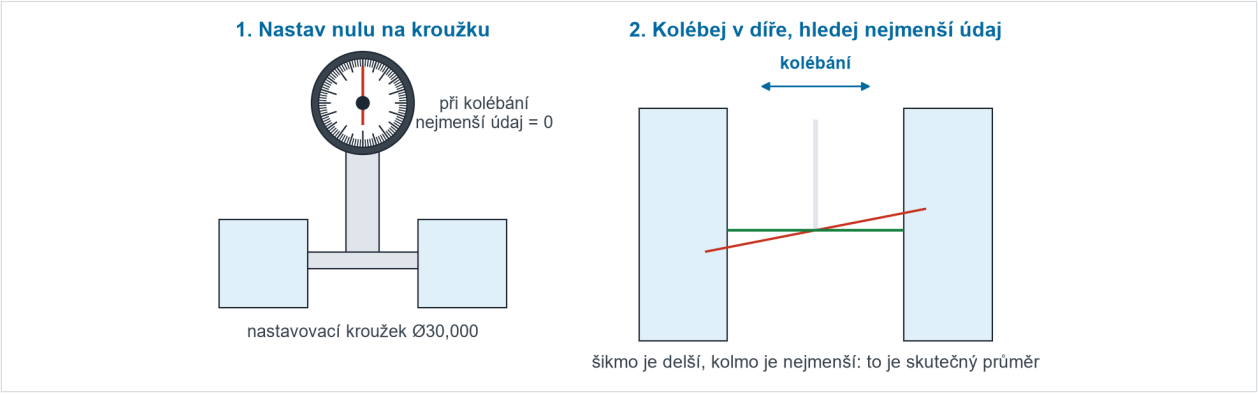
Posuvné měřítko stačí na hrubší tolerance a větší díry. Přesné díry měří vnitřní dutinoměr s hodinkami nebo třídotekový vnitřní mikrometr, který se sám vystředí. Teleskopický měrák přenese rozměr na mikrometr a chce cit. Na díry H7 v sérii je nejrychlejší válečkový kalibr.

Vnitřní dutinoměr

Dutinoměr je úchylkoměr na tyči, dole s dvěma nebo třemi doteky. Neměří rozměr přímo, ale jeho rozdíl proti nastavení. Nulu si nastavíš v kroužku nebo mikrometrem. Díra se pak čte jako plus nebo minus od té nuly.



Obr. 7.1 Spodní část dutinoměru s popisky v němčině: Messbolzen je měřicí dotek, Tastbolzen dotek pro hodinky a Zentrierteller středicí kotouč.
Vlastník obrázku: Solaris2006, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bore_gauge_bottom_section.jpg



Obr. 7.2 Dvoubodový dutinoměr. Správný průměr je nejmenší údaj při kolébání ve směru osy díry.

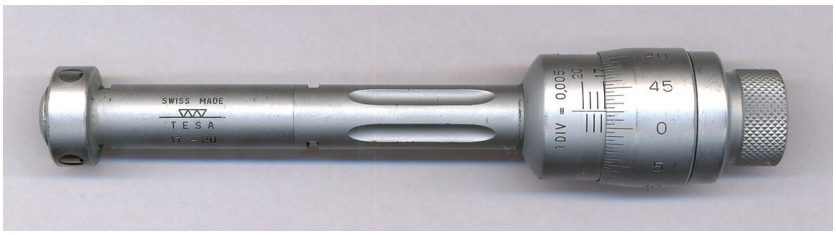
1. Vyber doteky pro daný průměr a dutinoměr sestav podle návodu.
2. Vezmi nastavovací kroužek s rozměrem díry, nebo použij přesně nastavený mikrometr. Zasuň dutinoměr a kolébej ve směru osy.
3. V bodě, kde se ručička obrací, je nejmenší údaj. Tam otoč ciferník na nulu. Dutinoměr vyndej, zasuň znovu a ověř, že nula sedí.
4. V díře opět kolébej a čti údaj v bodě obratu. Rozdíl od nuly přičti k nastavenému rozměru.
5. Měř aspoň ve třech výškách a ve dvou směrech.

TIP

Který směr ručičky je plus? Lehce stlač dotek prstem a podívej se, kam ručička půjde. Stlačený dotek znamená menší díru. Ciferníky se liší, některé jsou obrácené.

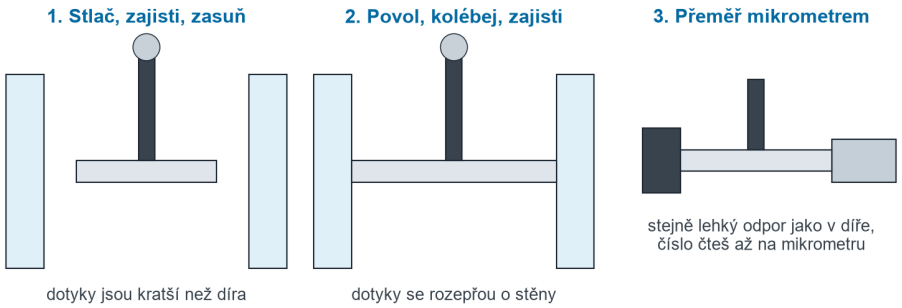
Příklad 9 Čtení dutinoměru

Zadání	Nula je nastavená na kroužku Ø30,000. V díře je nejmenší údaj při kolébání o 18 dílků větší než nula, tedy díra je větší. Dílek je 0,001 mm.
Výpočet	30,000 + 0,018 = 30,018
Tolerance H7	díra Ø30 H7 je 30,000 až 30,021
Výsledek	**Průměr je 30,018 mm, díra je dobrá.**
Poznámka	Tolerance H7 je 0,021 mm podle tabulky IT7 pro průměry 18 až 30 mm ze školních materiálů.



Obr. 7.3 Třídotekový vnitřní mikrometr pro rozsah 17 až 20 mm. Tři doteky ho v díře vystředí.
Vlastník obrázku: Rrudzik, Wikimedia Commons, licence CC0,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3_point_micrometer.jpg

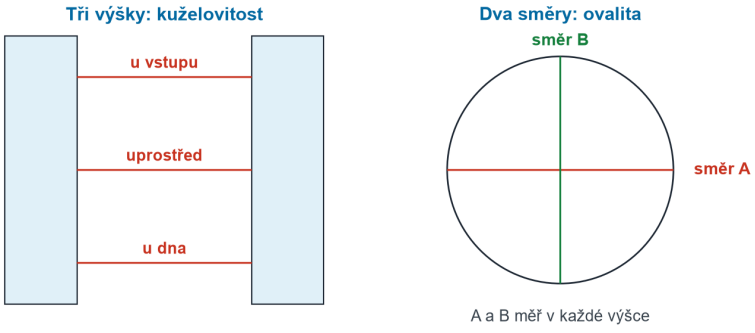
Teleskopický měrák



Obr. 7.4 Teleskopický měrák nemá stupnici. Rozměr z díry přeneseš na mikrometr.

Měrák stlač a zajisti, šikmo zasuň do díry a povol, aby se dotyky rozepřely. Lehce zatáhni šroub, přejdi přes střed díry a zajisti ho. Opatrně vyndej a rozměr změř mikrometrem. Mikrometr nastav tak, aby jím měrák prošel se stejně lehkým odporem, jaký byl v díře. Přesnost tu rozhoduje cit, proto rozměr změř víckrát. Pro velmi malé díry existují kuličkové měráky na stejném principu.

Kuželovitost a ovalita

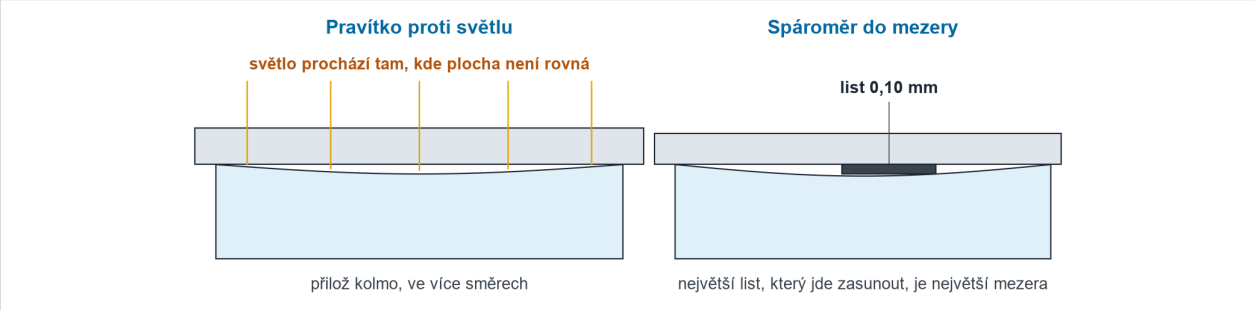


Obr. 7.5 Kde měřit díru. Stejně se měří dlouhý čep.

Díra bývá na začátku a u dna různá a v různých směrech jinak velká. Rozdíl údajů ve stejné výšce je ovalita, rozdíl mezi výškami ve stejném směru je kuželovitost. Velká kuželovitost u vrtání může

znamenat opotřebený nebo prohnutý nástroj.

Rovinnost: pravítko a spárometr



Obr. 7.6 Rychlá kontrola rovinnosti. Prohnutí je pro názornost přehnané.

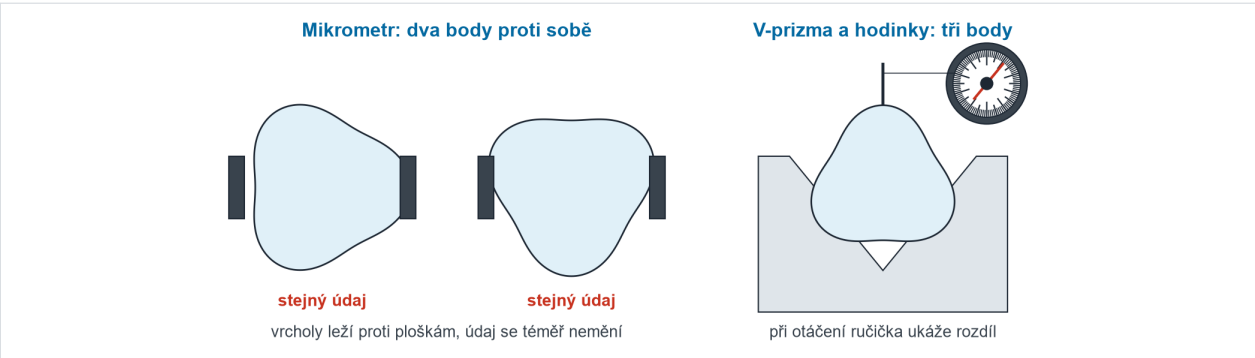
Nejjednodušší kontrola rovinnosti je přesné pravítko přiložené na plochu a pohled proti světlu. Světlo prochází tam, kde plocha nepřiléhá. Přiložit ho musíš v několika směrech, podélně, příčně a křížem. Mezeru změříš spárometrem, největší list, který jde zasunout, ukazuje velikost mezery. Tenké listy se snadno ohnou a pak měří špatně.



Obr. 7.7 List spároměru s vyraženou tloušťkou 0,30 mm.
Vlastník obrázku: Encik Tekateki, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Filler_Gauge.jpg

Házení a kruhovitost ve škole

Házení umíš z kapitoly 5. Kruhovitost je něco jiného. Říká, jak moc se tvar průřezu liší od kružnice. Závisí jen na samotném průřezu, ne na ose. Přesně ji změří speciální přístroj na kruhovitost v měrovně. Ve škole ji můžeš jen odhadnout, ale pozor na past.



Obr. 7.8 Tvar se třemi vrcholy ukazuje mikrometrem stejný údaj, i když není kulatý. Tvar je přehnaný.

- **Dvoubodové měření**, tedy mikrometr nebo posuvné měřítko, odhalí oválný tvar se sudým počtem vrcholů. Tvar s lichým počtem vrcholů, například se třemi, neodhalí. Vrchol totiž leží vždy proti

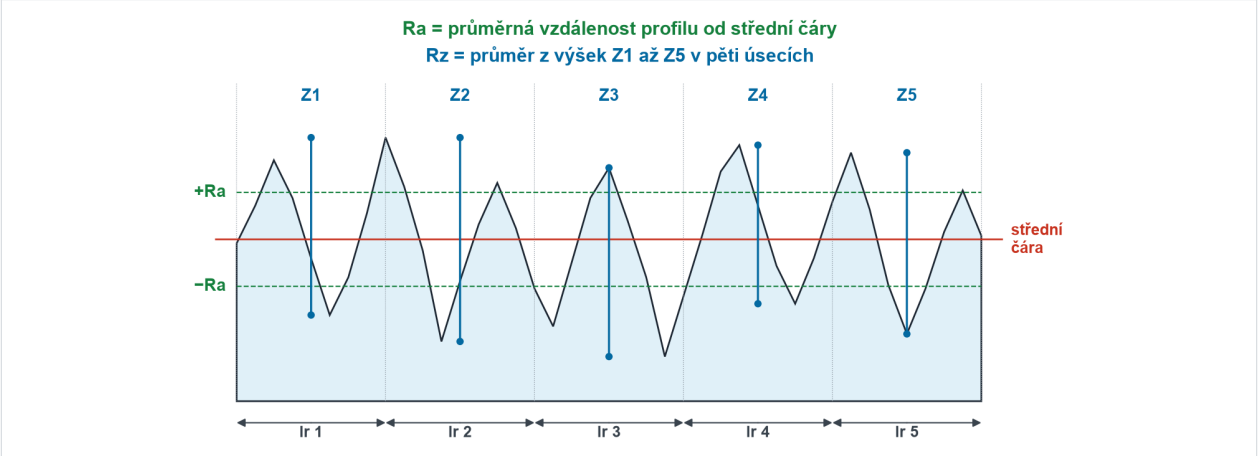
plošce a součet zůstává stejný.

- **Tříbodové měření**, tedy prizma a hodinky nebo třídotekový mikrometr, tvar se třemi vrcholy ukáže. Podle úhlu prizmatu se ale liší, jak moc je vidět.
- Mitutoyo a americké sdružení přesných obráběčů PMPA obojí potvrzují: pro liché vrcholy je potřeba tříbodové měření, pro sudé dvoubodové.

Když mikrometr ukazuje stejný průměr a díl se přesto chová divně, podívej se na něj v prizmatu.

Drsnost povrchu

Povrch není nikdy hladký. Má jemné vrcholy a prohlubně, které zanechal nástroj. Drsnost se udává v mikrometrech, nejčastěji jako Ra nebo Rz.



Obr. 7.9 Střední čára dělí profil. Ra je průměrná vzdálenost od ní, Rz je průměr výšek v pěti úsecích lr. Profil je ilustrační.

Veličina	Co znamená	Jak ji číst
Ra	aritmetický průměr vzdáleností profilu od střední čáry	nejběžnější, málo citlivá na jednotlivý vryp
Rz	výška od nejvyššího vrcholu po nejhlubší prohlubeň v úseku, průměr z pěti úseků	vždy je větší než Ra, citlivá na vrypy
lr, ln	základní délka úseku a celá vyhodnocovaná délka	obvykle je ln pět délek lr

Pro představu podle školních materiálů: Ra 6,3 je hrubší soustružení a frézování, Ra 1,6 dobré dokončení a Ra 0,4 broušení.

Porovnávací vzorky

Nejjednodušší je porovnat povrch se vzorky se známou drsností. Přikládáš vzorek k dílu a porovnáváš zrakem. Vzorek musí být obrobený stejným způsobem jako díl, soustružený se soustruženým, frézovaný s frézovaným. Rychlé to je, ale je to odhad. Vzorky se někde značí třídami N: N6 je Ra 0,8, N7 je 1,6, N8 je 3,2, N9 je 6,3 a N10 je 12,5 µm.

Drsnoměr

Drsnoměr táhne jemný hrot po povrchu a snímač vyhodnotí profil. Typický hrot je kužel s úhlem 60° nebo 90° a poloměrem špičky 2, 5 nebo 10 µm. Podle očekávané drsnosti se volí základní délka. Hodnoty z normy ISO 4288 uvádí příručka Mitutoyo:



Obr. 7.10 Historický drsnoměr Taylor-Hobson Talysurf ze 40. let, vystavený v muzeu. *Vlastník obrázku: Andy Dingley, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Talysurf,_Snibston.jpg*

Ra v µm	Základní délka lr v mm	Vyhodnocovaná délka ln v mm
nad 0,02 do 0,1	0,25	1,25
nad 0,1 do 2	0,8	4
nad 2 do 10	2,5	12,5
nad 10 do 80	8	40

Příklad 10 Teoretická drsnost při soustružení

Zadání	Posuv f = 0,2 mm/ot, rádius špičky r = 0,8 mm. Jaká drsnost z toho vyjde?
Výška	$Rt = f^2 \cdot 1000 / (8 \cdot r) = 0{,}04 \cdot 1000 / 6{,}4 = 6{,}25$ µm
Ra	$Ra \approx Rt / 4 = 1{,}56$ µm
Výsledek	**Ra je asi 1,6 µm.**
Poznámka	Je to geometrický odhad. Skutečnou drsnost ovlivní stav destičky, chvění a řezná rychlost.

Ze vzorce je vidět, proč posuv tak rozhoduje. Dvojnásobný posuv dá čtyřnásobnou drsnost. Větší rádius špičky naopak drsnost zmenší.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Dvoubodový dutinoměr: kolébej ve směru osy a čti nejmenší údaj. Nulu nastav na kroužku.
- Díru měř ve třech výškách a ve dvou směrech. Odhalíš kuželovitost a ovalitu.
- Mikrometr neodhalí tvar se třemi vrcholy. Na to je prizma s hodinkami nebo třídotekový mikrometr.
- Ra je průměrná vzdálenost od střední čáry, Rz průměr největších výšek z pěti úseků.
- Drsnost odhadneš porovnávacími vzorky, přesně změříš drsnoměrem.

8

MĚŘENÍ V DÍLNĚ

Měření při obrábění

Kdy měřit, jak se bezpečně dostat na rozměr, teplota dílu, korekce na soustruhu a frézce a sledování série.

V dílně se měří proto, aby se dalo včas zasáhnout. Dokončený a špatně změřený kus už nikdo nezachrání. Tato kapitola spojuje měření s obráběním a začíná tím nejdůležitějším: bezpečností.

Bezpečnost: neměř na rotujícím díle

POZOR

Nikdy neměř díl, který se točí, a nikdy nesahej do pracovního prostoru za chodu. Čelist měřidla se může zachytit a stáhnout ti ruku k dílu nebo měřidlo vymrštit. Třísky a ostré hrany ti poraní ruku. Měř až tehdy, když vřeteno úplně stojí.

- **Stop znamená stop.** Vypnout nestačí, počkej, až se sklíčidlo nebo nástroj úplně zastaví. Nikdy ho nebrzdi rukou.
- **Posuvy stojí.** Nástroj odjeď do bezpečné polohy, ať se při měření neporaníš o břit.
- **Klíč a nářadí.** Před spuštěním zkontroluj, že ve sklíčidle nezůstal klíč a v prostoru stroje nezůstalo měřidlo ani hadr.
- **Třísky.** Odstraňuj je háčkem nebo smetáčkem, ne rukou a ne stlačeným vzduchem do obličeje.
- **Ostré hrany.** Před měřením odjehli, čerstvě obrobený otřep řeže.
- **Horký díl.** Díl po obrábění může pálit. Přesný rozměr stejně neměř horký.
- **Měřidlo nepatří na stroj.** Odlož ho na podložku nebo do pouzdra, ne na lože, kryty nebo do třísek.

PAMATUJ

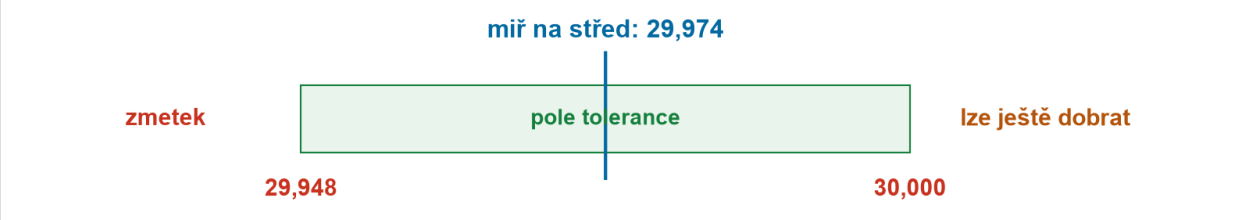
Pravidlo zastavit stroj před měřením je běžné v dílenských bezpečnostních předpisech, například univerzitních dílen v USA, které najdeš v seznamu zdrojů v kapitole 11. U nás platí také pokyny UOV a provozní řád dílny.

Kdy měřit

Kdy	Co	Proč
Před obráběním	polotovar, přídavek, nulu měřidla	víš, s čím pracuješ
Po hrubování	skutečný rozměr a zbývající přídavek	z toho se počítá dokončení
Před dokončením	teplotu dílu a hrany	abys neměřil teplý díl a otřep
Po prvním dokončovacím řezu	přesný rozměr, drsnost	dokud je možné opravit
Po výměně nástroje nebo destičky	první kus znovu	změnila se poloha břitu
V sérii	podle plánu, například každý desátý kus	sleduješ trend
Před vyjmutím z upnutí	všechny rozměry, které jdou změřit	po vyjmutí už díl stejně neupneš

Jak se dostat přesně na rozměr

Přesný rozměr se nedělá na jeden řez. Hrubováním odebereš většinu materiálu a necháš přídavek, ve školních materiálech asi 0,5 mm na průměr. Pak změříš, spočítáš zbytek a dokončíš ho. A miř do středu tolerance, ne na mez.



Obr. 8.1 Čep Ø30 h9. Když miříš na střed, máš rezervu na obě strany.

Příklad 11 Klasický soustruh

Zadání	Čep Ø30 h9 má meze 29,948 a 30,000. Po hrubování naměříš 30,52 mm. Kolik ještě ubrat?
Cíl	střed tolerance = (29,948 + 30,000) / 2 = 29,974
Na průměru	30,52 − 29,974 = 0,546 mm
Na poloměru	0,546 / 2 = 0,273 mm, to je přísuv nože
Výsledek	**Celkem 0,546 mm na průměru. Přísuv 0,273 mm, a to raději na dva řezy.**
Poznámka	Zkontroluj, jestli dílky na kolečku ukazují poloměr, nebo průměr. Stroje se liší. Ověříš si to krátkým zkušebním řezem.

Ani potom neřež rovnou na celou hodnotu. Nech si malý zbytek, proveď krátký zkušební řez na začátku plochy, zastav a změř. Teprve pak dojeď celou délku. Vůli v kolečku vyber tak, že k rozměru

najíždíš vždy jedním směrem.

Teplota dílu

Obrobený díl je teplý od řezu a v létě i od dílny. Přesný rozměr se proto měří po vychladnutí. Výpočet ΔL máš v kapitole 1. Před měřením díl očisti od třísek a kapaliny a hranu odjehli. Otřep zvětší údaj nebo znemožní dosednutí.

Příklad 12 Hřídel za tepla	
Zadání	Ocelový čep Ø25 h6 s mezemi 24,987 až 25,000 naměříš 25,012 mm, je o 30 °C teplejší než měřidlo. Bude po vychladnutí dobrý?
Smrštění	ΔL = 11,5 · 0,025 · 30 = 8,63 µm = 0,0086 mm
Po vychladnutí	25,012 − 0,0086 = 25,0034 mm
Výsledek	**Asi 25,003 mm, což je pořád o 0,003 mm nad horní mezí, je potřeba ještě dobrat.**
Poznámka	U dílu blízko meze počkej a přeměř ho znovu.

Rozměr po korekci

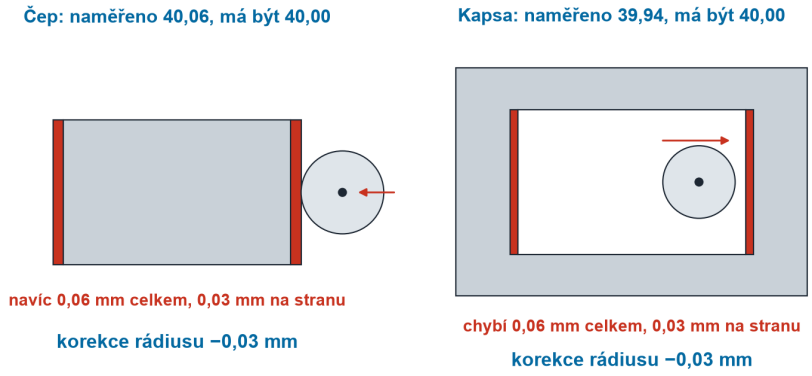
Na CNC stroji se rozměr neopravuje dílky, ale korekcí nástroje. Program zůstává stejný. Změříš díl, spočítáš rozdíl a zapíšeš ho do korekce opotřebení. Pak znovu obrobíš dokončovacím průchodem a změříš.



Obr. 8.2 Soustruh: v ose X se pracuje s průměrem. Nůž se proto pohne o polovinu změny korekce.

Příklad 13	Soustruh, vnější průměr
Zadání	Na výkrese je Ø40. Po dokončení naměříš Ø40,08.
Rozdíl	40,08 − 40,00 = +0,08 mm na průměru
Korekce X	změň o −0,08 mm
Pohyb nože	o 0,04 mm blíž k ose
Výsledek	**Korekce X −0,08, znovu dokonči a změř.**
Poznámka	Stejný příklad najdeš v materiálu CNC soustruh.

U díry je směr opačný. Když má být díra Ø30 a naměříš Ø29,94, změníš korekci X o +0,06 mm a nůž se pohne o 0,03 mm dál od osy.



Obr. 8.3 Frézka: chyba rozměru je na dvou stranách, korekce rádiusu proto změní polovinu. V obou případech zůstal materiál navíc.

Příklad 14	Frézka, čep a kapsa
Zadání	Čep má šířku 40,00, naměříš 40,06. Kapsa má šířku 40,00, naměříš 39,94.
Čep	materiálu je o 0,06 mm navíc, 0,03 mm na každé straně
Kapsa	materiálu je také o 0,06 mm navíc, 0,03 mm na každé straně
Korekce	rádius nástroje v korekci zmenši o 0,03 mm, tím pojede fréza blíž k materiálu
Výsledek	**Korekce rádiusu −0,03 mm v obou případech.**
Poznámka	Platí při frézování s korekcí rádiusu, kde poloměr v tabulce nástroje posouvá dráhu.

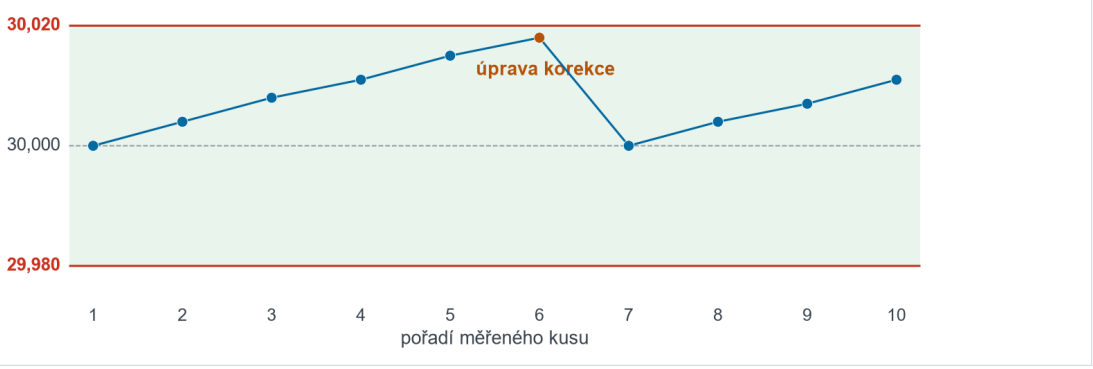
POZOR

Znaménko korekce si vždy ověř u daného stroje a podle jeho návodu. Oprava správnou hodnotou ve špatném směru udělá chybu dvojnásobnou. Dokud si nejsi jistý, nech si to zkontrolovat od UOV a měř po opravě znovu.

Na co myslet u CNC

- **Programový stop.** Přesná měření si plánuj na zastavení v programu, ne na tlačítko v půlce řezu. Vřeteno se při stopu musí zastavit, jinak dveře neotevírej.
- **Pokračování po stopu.** Po měření zavři dveře, zkontroluj, že v prostoru nic nezůstalo, a pokračuj se sníženým posuvem.
- **Upnutí neměň.** Když díl vyjmeš a znovu upneš, přijdeš o přesnou polohu. Co jde změřit v upnutí, změř v upnutí.
- **Korekce opotřebení, ne geometrie.** Rozměr dolaďuj v opotřebení. Nikdy nepřepisuj program kvůli opotřebení nástroje.
- **Nový břit.** Po výměně destičky se korekce opotřebení obvykle vynuluje a první kus znovu změříš.
- **Hrubování nevypovídá.** Korekci uprav podle měření po dokončení, ne po hrubování. Hrubování má jiné síly a jiné odtlačení.

Sledování série



Obr. 8.4 Hodnoty ze série s mezemi 30 ±0,02. Hodnoty jsou ilustrační. Po šestém kuse byla korekce upravena o −0,018 mm.

Měř podle plánu a hodnoty zapisuj. Na grafu vidíš, že se rozměr pomalu zvětšuje, protože se opotřebovává břit. U 6. kusu je hodnota 30,018, což je stále v toleranci. Blíží se ale k mezi, proto je čas upravit korekci. To se dělá dřív, než vznikne zmetek. Jeden kus mimo trend je signál, abys přeměřil a hledal příčinu.

Když je díl mimo toleranci

Díl přeměř a ověř měřidlo. Pak zastav výrobu a oznam to UOV nebo mistrovi. Díl odděl a označ, neposílej ho dál. Najdi příčinu, tedy nástroj, korekci, upnutí, program nebo měřidlo, a zkontroluj i předchozí kusy.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Na rotujícím díle se neměří. Vřeteno úplně stojí, nástroj je v bezpečné poloze.
- Hrubuj s přídavkem, změř, spočítej zbytek a miř na střed tolerance.
- Přesný rozměr měř po vychladnutí, na čistém a odjehleném dílu.
- Soustruh: korekce X je na průměr, nůž se pohne o polovinu. Frézka: rozdíl šířky se dělí dvěma.
- Znaménko si vždy ověř. Program kvůli opotřebení nepřepisuj.

9

MĚŘENÍ V DÍLNĚ

Záznam měření a péče o měřidla

Co patří do měřicího protokolu, jak spočítat úchylku a rozhodnout, jak o měřidla pečovat a kdy je kalibrovat.

Co není zapsané, jako by se nezměřilo. Záznam ukáže, že je díl v pořádku, a kdyby nebyl, pomůže najít příčinu. Stejně důležité je měřidlo samotné. Špatně uložené nebo zapomenuté měřidlo ti bude lhát.

Měřicí protokol

Protokol prvního kusu obsahuje číslo výkresu, zakázku, datum a obsluhu. Ke každému rozměru je jmenovitá hodnota, tolerance, naměřená hodnota a měřidlo. Výhodné je přidat meze, úchylku a výsledek. Rozměr, který výkres uvádí, má v protokolu svůj řádek a pořadové číslo.

Jak protokol vyplnit

1. Do hlavičky napiš číslo výkresu, název dílu, kus, datum a své jméno.
2. Přepiš rozměry z výkresu a očísluj je, nejlépe přímo na kopii výkresu.
3. Dopočítej dolní a horní mez. U značek H7 nebo h6 si je vyhledej v tabulkách.
4. Měř a **hned** zapisuj skutečný údaj. Nezaokrouhluj ho na rozměr, který chceš vidět.
5. Spočítej úchylku: naměřeno minus jmenovitý rozměr. Znaménko je důležité.
6. Rozhodni: je hodnota mezi mezemi? Když ne, kterou překročila?
7. Podepiš protokol a neshodu hned oznam.

Ukázka vyplněného protokolu

Výkres č. 2-OZ-014, čep s dírou. Kus č. 1, datum a obsluha podle skutečnosti, teplota 21 °C. Hodnoty jsou ukázkové.

Č.	Rozměr	Dolní mez	Horní mez	Naměřeno	Úchylka	Měřidlo	Výsledek
1	Ø30 h6	29,987	30,000	**29,992**	−0,008	mikrometr 0,001	dobrý
2	Ø20 H7	20,000	20,021	**20,024**	+0,024	dutinoměr	nad horní mezí
3	délka 80 ±0,1	79,900	80,100	**80,040**	+0,040	posuvné měřítko 0,02	dobrý
4	osazení 25 ±0,05	24,950	25,050	**24,930**	−0,070	hloubkový mikrometr	pod dolní mezí
5	Ø40 h9	39,938	40,000	**40,010**	+0,010	mikrometr 0,01	nad horní mezí
6	drážka 8 ±0,02	7,980	8,020	**8,012**	+0,012	vnitřní mikrometr	dobrý

Vyhodnocení ukázky. Řádek 2 je díra. Je nad horní mezí, takže je větší, než smí, a materiál se nedá přidat. To je **zmetek**. Řádek 4 je osazení pod dolní mezí. Záleží na tom, co je vlastně chyba: pokud chybí materiál, je to zmetek, pokud je osazení moc krátké proto, že zbyl materiál, dá se dobrat. Řádek 5 je čep nad horní mezí, tady materiál zbývá a **dá se dobrat**.

> **POZOR**
> Chybu nezakrývej. Údaj si neupravuj, aby seděl. Zmetek, který nikdo nenajde včas, stojí mnohem víc než zastavení stroje. Oprava v protokolu se dělá přeškrtnutím tak, aby původní hodnota zůstala čitelná, a novým zápisem s důvodem.

Péče o měřidla

Kdy	Co udělat
Před měřením	otřít měřicí plochy čistým hadrem, ověřit nulu, zkontrolovat, jestli je měřidlo celé a neohnuté
Při měření	měřit jen zastavený a čistý díl, netlačit, nezvedat za vřeteno, nepoužívat jako kladivo, rýsovací jehlu ani klíč
Po měření	otřít, u kovových ploch lehce naolejovat, vrátit do pouzdra
Když spadne	nahlásit a nechat zkontrolovat. Bez kontroly nepoužívat, i když na něm nic nevidíš
Při poruše	označit a odložit stranou, neopravovat si měřidlo sám

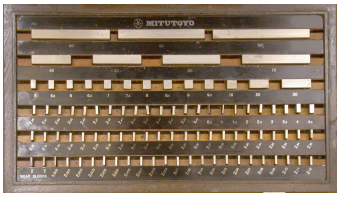
Skladování

- Měřidla ukládej do pouzdra, na suché a větrané místo s malou prašností, ne na zem a ne na přímé slunce.
- Mikrometr nenechávej sevřený. Mitutoyo doporučuje mezeru mezi doteky 0,1 až 1 mm. Sevřený by se mohl poškodit a v místě styku korodovat.

- Čelisti posuvného měřítka nech lehce pootevřené a aretaci povolenou.
- Digitální měřidlo, které nebudeš dlouho používat, skladuj bez baterie. Mitutoyo to uvádí u výškoměrů pro období nad tři měsíce.
- Když měřidlo dlouho leželo a nemá ochrannou vrstvu oleje, otři ho hadříkem s antikorozním olejem.
- Na stupnice a displej nic nepiš a nerozrývej do nich značky, poškrábaný povrch se špatně čte.

Kalibrace

Kalibrace je porovnání měřidla s přesnějším měřidlem známé hodnoty. Výsledkem je záznam o tom, jak velká je chyba. Kalibrace sama o sobě měřidlo neseřizuje. Seřízení je jiná činnost. Řetěz od tvého mikrometru přes měrky až po státní etalon se jmenuje návaznost.



Obr. 9.1 Sada koncových měrek, s nimiž se kontrolují jiná měřidla.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GaugeBlockMetricSet.jpg

Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii, dělí měřidla na etalony, stanovená měřidla a pracovní měřidla. Stanovená měřidla stanoví vyhláška k povinnému ověřování. Běžné dílenské měřidlo je zpravidla **pracovní měřidlo**. U něj si způsob návaznosti stanoví sám uživatel a kalibraci si může zajistit sám nebo u jiného subjektu.

Pojem	Co znamená	Kdo
Kalibrace	zjištění chyby proti přesnějšímu měřidlu	uživatel nebo kalibrační laboratoř
Ověření	státem předepsaná kontrola stanoveného měřidla	podle zákona o metrologii
Seřízení	nastavení měřidla, například nuly	pověřená osoba
Kontrola nuly	běžné ověření před prací	každý, kdo měří

Jak často kalibrovat, určuje plán školy nebo firmy. Výrobce měřicí techniky Keyence uvádí u mikrometru interval od 3 měsíců do 1 roku. Záleží na tom, jak moc se měřidlo používá. Datum poslední kalibrace nebo platnost bývá na štítku. Měřidlo s prošlou kalibrací nebo bez označení nepoužívej a řekni o něm UOV.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Protokol: číslo výkresu, datum, obsluha, ke každému rozměru meze, naměřená hodnota, úchylka, měřidlo a výsledek.
- Úchylka je naměřeno minus jmenovitý rozměr. Dobrý je díl jen mezi mezemi.
- Hodnotu zapisuj hned a nepřikrášluj ji. Chybu nezakrývej.
- Mikrometr skladuj s mezerou 0,1 až 1 mm, měřidla v pouzdře. Spadlé měřidlo nahlas.
- Pracovní měřidla se kalibrují podle plánu uživatele. Štítek ukazuje platnost.

10 OVĚŘENÍ ZNALOSTÍ

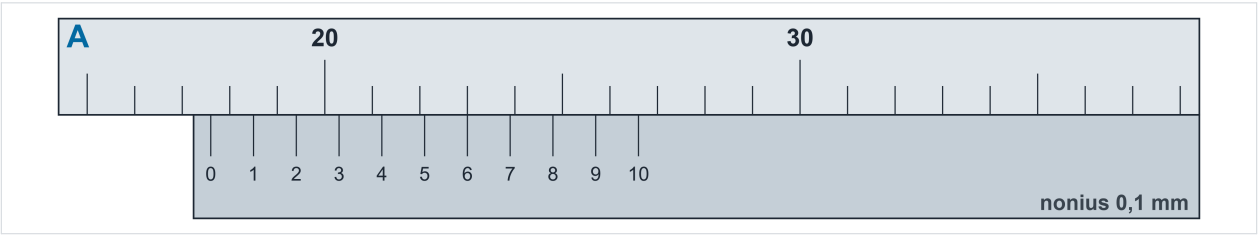
Cvičení, test a řešení

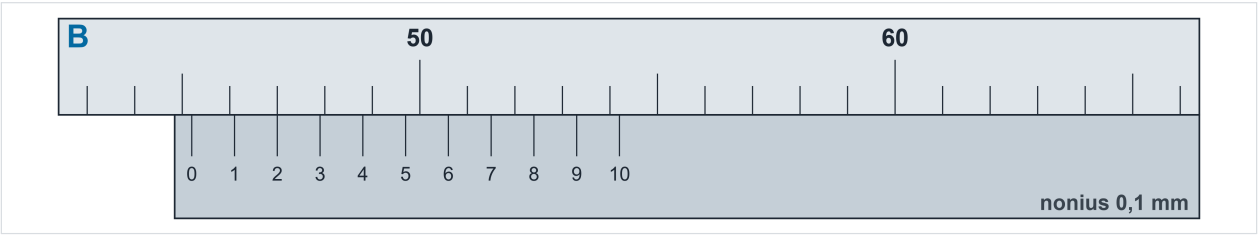
Odečty ze schémat, výpočty, situace a test. Řešení je na konci kapitoly.

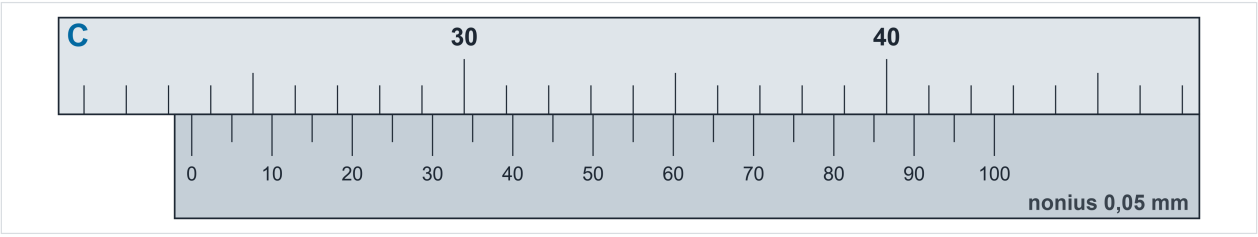
Nejdřív zkus všechno sám. Odečítání schémat trénuj bez listování zpět, výpočty si piš na papír. Řešení je na konci kapitoly. Hodnoty ve schématech jsou opravdu vypočítané, takže ti vyjdou přesně.

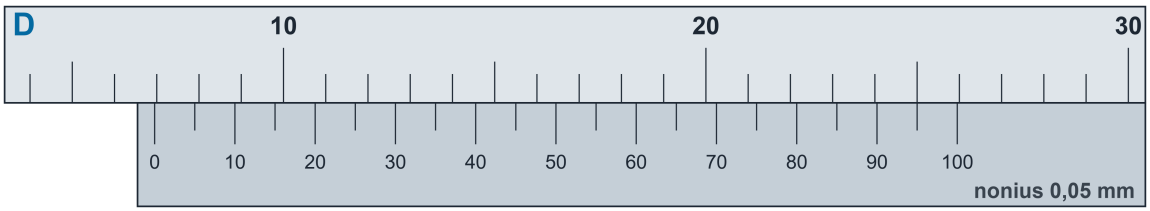
Odečty z nonia

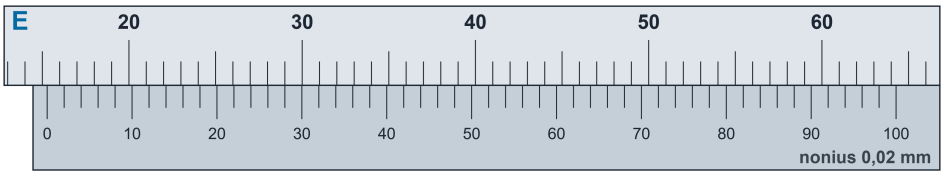
Přečti rozměr. U nonia 0,02 ti pomůže lupa pod schématem. Schémata P a R patří k testu.



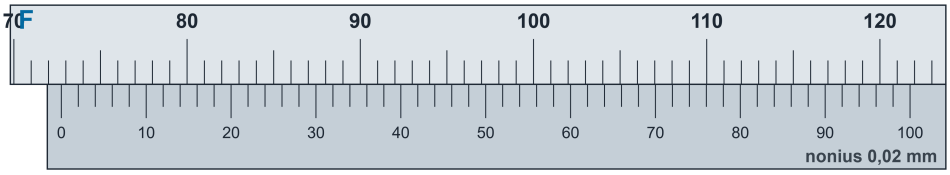


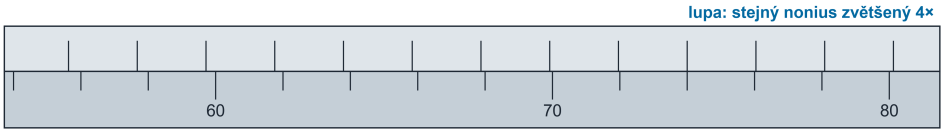


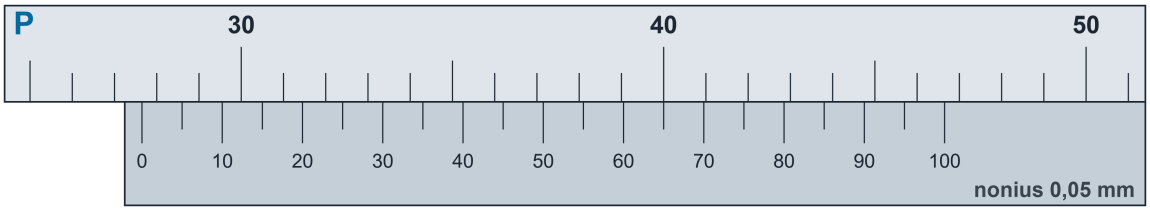






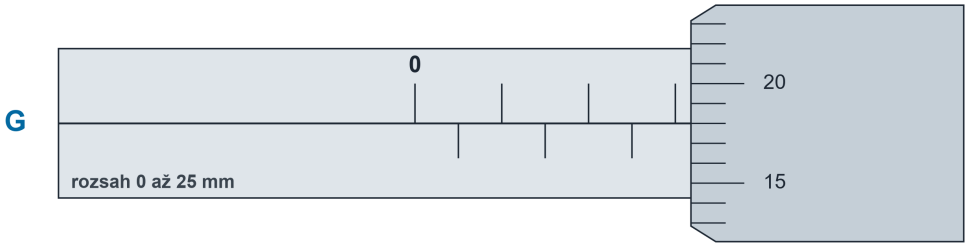




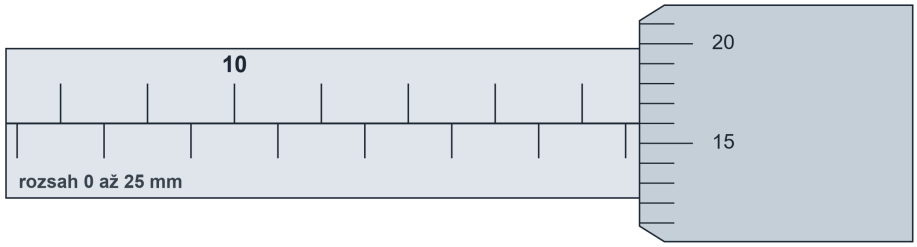


Odečty z mikrometru

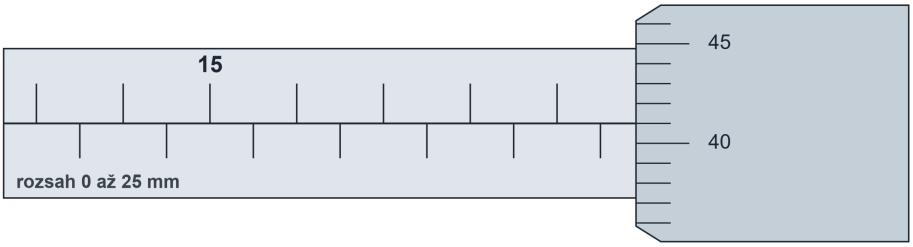
Přečti rozměr. Pozor na půlmilimetr a na rozsah.



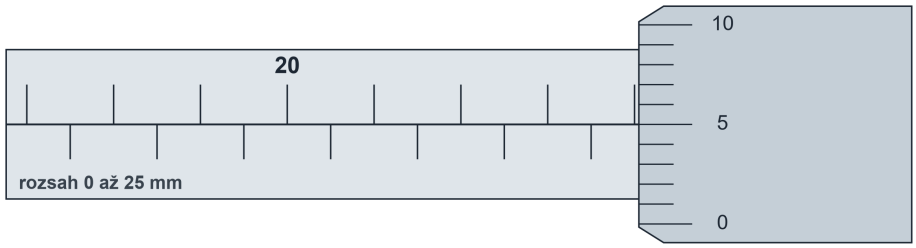
H


10
20
15
rozsah 0 až 25 mm

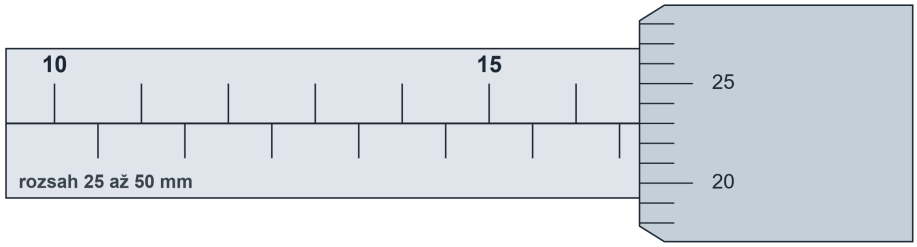
I


15
45
40
rozsah 0 až 25 mm

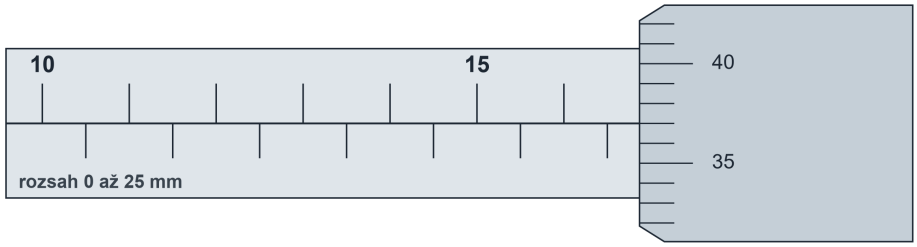
J


20
10
5
0
rozsah 0 až 25 mm

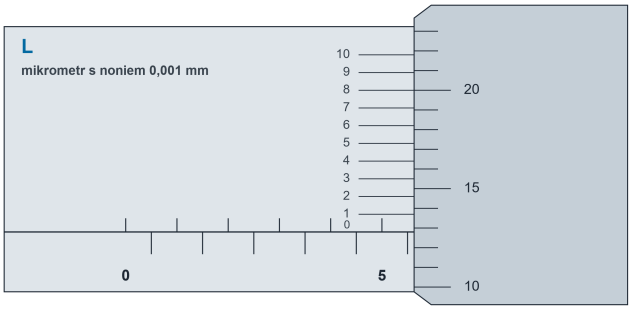
K

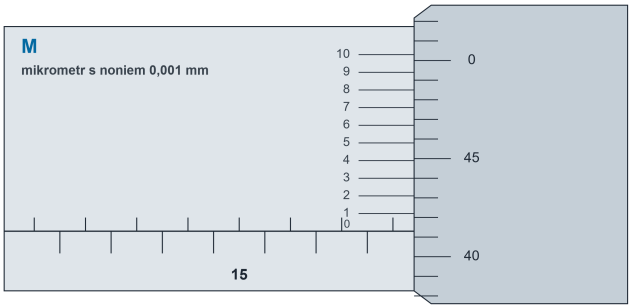

10
15
25
20
rozsah 25 až 50 mm

R

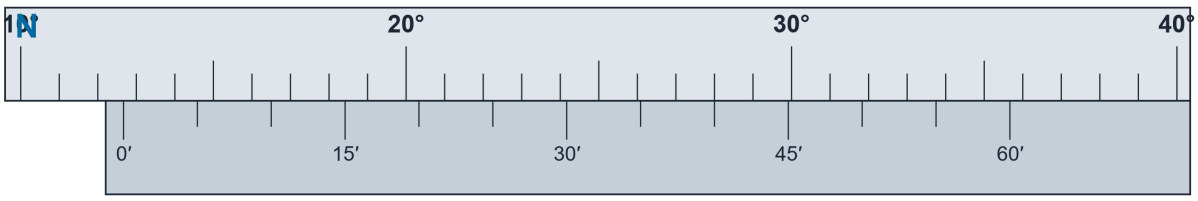

10
15
40
35
rozsah 0 až 25 mm

S noniem 0,001 mm





Nonius úhloměru



Výpočty

1. Ocelový hřídel délky 200 mm je o 25 °C teplejší než 20 °C. O kolik je delší?
2. Rozměr je 45 ±0,08. Jaká je tolerance a stačí na něj nonius 0,02?
3. Rozměr je Ø16 ±0,015. Stačí mikrometr 0,01?
4. Za otáčku jsou údaje úchylkoměru od −0,03 do +0,05. Jaké je házení a posun středu?
5. Sinusové pravítko L = 200 mm, úhel 12°. Jaká je výška měrek?
6. Slož z 112dílné sady rozměr 41,237 mm.
7. Závit M12 × 1,75 má D2 = 10,863 mm. Dráty d = 1,01 mm. Jaký má být rozměr M?
8. Čep Ø30 h9 má meze 29,948 a 30,000. Po hrubování je 30,48. Kolik ubrat na průměru, aby byl ve středu tolerance, a jaký bude přísuv?
9. Na CNC soustruhu má být Ø36, naměříš Ø36,06. Jak změníš korekci X a o kolik se pohne nůž?
10. Dutinoměr je vynulovaný na kroužku Ø40,000. V díře je nejmenší údaj 0,012 mm nad nulou, tedy díra je větší. Jaký je průměr?

11. Posuv f = 0,15 mm/ot, rádius špičky 0,4 mm. Spočítej teoretické Rt a Ra.
12. Čep Ø30 h6 má meze 29,987 až 30,000. Naměříš 29,981. Jaká je úchylka a jaký je výsledek?

Situace

Podle zadání najdi chyby a napiš, co by se mělo udělat jinak.

1. Honza spěchá. Dokončil čep, otevřel dveře, ještě se točící díl změřil posuvným měřítkem, odložil ho na lože a pak řekl: „Je to 30,1.“ Najdi aspoň čtyři chyby.
2. Petra naměřila mikrometrem 12,31 a po chvíli 12,81. Co se asi stalo a co udělá?
3. Kalibr se do díry nedostal, tak ho Pepa dotlačil paličkou. Co je špatně?
4. Ondra má v sérii rostoucí rozměry. Poslední je stále v toleranci, ale blízko meze. Co udělá?

Test

U každé otázky je správně jedna odpověď. První dvě otázky patří ke schématům P a R z odečtů výše.

1. **Jaký rozměr ukazuje nonius na schématu P?**
   a) 27,65 mm
   b) 27,13 mm
   c) 65,27 mm

2. **Jaký rozměr ukazuje mikrometr na schématu R?**
   a) 16,37 mm
   b) 16,87 mm
   c) 17,87 mm

3. **Co je soustavná chyba?**
   a) Pokaždé stejná velikost a směr, například špatná nula.
   b) Přehlédnutý půlmilimetr.
   c) Rozházené hodnoty kolem správné.

4. **Kolik je tolerance rozměru 20 ±0,1?**
   a) 0,1 mm
   b) 0,2 mm
   c) 20,1 mm

5. **Jak je to s rozlišením a přesností?**
   a) Je to totéž.
   b) Čím jemnější displej, tím vždy přesnější.
   c) Displej ukazující setiny může mít větší chybu.

6. **Proč je mikrometr přesnější podle Abbeho principu?**
   a) Stupnice leží v ose měření.
   b) Má delší stupnici.
   c) Je těžší.

7. **Jak se čte díra posuvným měřítkem?**
   a) Největší údaj.
   b) Nejmenší údaj.
   c) První údaj.

8. **Nonius 0,02 má:**
   a) 10 dílků na 9 mm
   b) 20 dílků na 19 mm
   c) 50 dílků na 49 mm

9. **Jedna otáčka bubínku běžného mikrometru je:**
   a) 0,5 mm
   b) 1 mm
   c) 0,01 mm

10. **Co ukazuje úchylkoměr?**
    a) Rozdíl vůči nule, kterou sis nastavil.
    b) Přesný průměr.
    c) Teplotu.

11. Čím otočíš dílem při kontrole házení?
a) Motorem na nízké otáčky.
b) Rukou při vypnutém vřetenu.
c) Rukou při běžícím vřetenu.

12. Co znamená, když zmetková strana válečkového kalibru projde díru?
a) Díra je větší, než smí. Zmetek.
b) Díra je dobrá.
c) Díra je malá, lze dobrat.

13. Třmenový kalibr h6: která mez je dobrá strana?
a) Horní.
b) Dolní.
c) Střed.

14. Jak se smí zašroubovat zmetkový závitový kalibr?
a) Celou délkou.
b) Rukou nejvýš o dvě otáčky.
c) Silou až na doraz.

15. Co říká vzorec M = D2 + 3d − 0,866P?
a) Přepočet tří drátů na střední průměr závitu.
b) Výpočet řezné rychlosti.
c) Hmotnost závitu.

16. Jak skládáš měrky?
a) Co nejvíc tenkých.
b) Od poslední číslice a co nejméně kusů.
c) Od největší po zbytek.

17. Správný průměr v dutinoměru při kolébání je:
a) nejmenší údaj
b) největší údaj
c) první údaj

18. Který tvar běžný mikrometr neodhalí?
a) Ovál.
b) Tvar se třemi vrcholy.
c) Kužel.

19. Co udává Ra?
a) Největší výšku profilu.
b) Aritmetický průměr vzdáleností profilu od střední čáry.
c) Stoupání stop nástroje.

20. Kdy se smí měřit na stroji?
a) Když se vřeteno točí pomalu.
b) Jen když vřeteno i posuvy úplně stojí.
c) Kdykoli se dveřmi otevřenými.

21. Naměříš Ø40,08 místo Ø40. Co změníš?
a) Přepíšu program.
b) Korekci X o −0,08 a nůž se pohne o 0,04 k ose.
c) Korekci X o +0,08.

22. Spadlý mikrometr:
a) Otřeš a měříš dál.
b) Sám si ho seřídíš.
c) Nahlásíš a necháš zkontrolovat.

Řešení

Odečty mají stejný postup jako v řešených ukázkách. U nonia jsou celé milimetry před nulou a ryska, která se kryje, krát rozlišení. U mikrometru je to objímka a bubínek.

Schéma	Měřidlo	Řešení
A	nonius 0,1	Nula nonia je za ryskou 17. Kryje se 6. ryska nonia. Rozměr je 17 + 6 × 0,1 = **17,6 mm**.
B	nonius 0,1	Nula nonia je za ryskou 45. Kryje se 2. ryska nonia. Rozměr je 45 + 2 × 0,1 = **45,2 mm**.
C	nonius 0,05	Nula nonia je za ryskou 23. Kryje se 11. ryska nonia. To je pozice označená 55. Rozměr je 23 + 11 × 0,05 = **23,55 mm**.
D	nonius 0,05	Nula nonia je za ryskou 6. Kryje se 19. ryska nonia. To je pozice označená 95. Rozměr je 6 + 19 × 0,05 = **6,95 mm**.
E	nonius 0,02	Nula nonia je za ryskou 15. Kryje se 14. ryska nonia. To je pozice označená 28. Rozměr je 15 + 14 × 0,02 = **15,28 mm**.
F	nonius 0,02	Nula nonia je za ryskou 72. Kryje se 37. ryska nonia. To je pozice označená 74. Rozměr je 72 + 37 × 0,02 = **72,74 mm**.

Schéma	Měřidlo	Řešení
G	mikrometr 0,01	Poslední viditelná ryska je 3,0 (horní, celé milimetry). Na podélné čáře je dílek 18, tedy 0,18 mm. Rozměr je 3,0 + 0,18 = **3,18 mm**.
H	mikrometr 0,01	Poslední viditelná ryska je 14,5 (dolní, půlmilimetr). Na podélné čáře je dílek 16, tedy 0,16 mm. Rozměr je 14,5 + 0,16 = **14,66 mm**.
I	mikrometr 0,01	Poslední viditelná ryska je 19,5 (dolní, půlmilimetr). Na podélné čáře je dílek 41, tedy 0,41 mm. Rozměr je 19,5 + 0,41 = **19,91 mm**.
J	mikrometr 0,01	Poslední viditelná ryska je 24,0 (horní, celé milimetry). Na podélné čáře je dílek 5, tedy 0,05 mm. Rozměr je 24,0 + 0,05 = **24,05 mm**.
K	mikrometr 0,01	Poslední viditelná ryska je 16,5 (dolní, půlmilimetr). Na podélné čáře je dílek 23, tedy 0,23 mm. Rozměr je 25 + 16,5 + 0,23 = **41,73 mm**.
L	mikrometr 0,001	Objímka 5,5. Pod podélnou čárou je dílek 12, tedy 0,12 mm. S ryskou bubínku se kryje ryska nonia 8, tedy 0,008 mm. Rozměr je 5,5 + 0,12 + 0,008 = **5,628 mm**.
M	mikrometr 0,001	Objímka 18,0. Pod podélnou čárou je dílek 41, tedy 0,41 mm. S ryskou bubínku se kryje ryska nonia 3, tedy 0,003 mm. Rozměr je 18,0 + 0,41 + 0,003 = **18,413 mm**.
N	úhloměr	Nula nonia je za 12°, kryje se ryska 40′. Úhel je **12°40′**.

Výpočty

Č.	Řešení
1	ΔL = 11,5 · 0,2 · 25 = 57,5 µm = **0,0575 mm**
2	T = 45,08 − 44,92 = 0,16 mm. Poměr 0,16 / 0,02 = 8. **Stačí.**
3	T = 0,03 mm. Poměr 0,03 / 0,01 = 3. **Nestačí**, je potřeba mikrometr 0,001 nebo kalibr.
4	Házení = 0,05 − (−0,03) = **0,08 mm**. Posun středu = **0,04 mm**.
5	h = 200 · sin 12° = **41,582 mm**
6	**1,007 + 1,23 + 14 + 25 = 41,237 mm**
7	M = 10,863 + 3 · 1,01 − 0,866 · 1,75 = 10,863 + 3,03 − 1,516 = **12,38 mm**
8	Střed 29,974. Na průměru 30,48 − 29,974 = **0,506 mm**, přísuv **0,253 mm**.
9	Korekce X **−0,06 mm**, nůž o **0,03 mm** blíž k ose.
10	40,000 + 0,012 = **40,012 mm**
11	Rt = 0,0225 · 1000 / 3,2 = **7,03 µm**, Ra ≈ 7,03 / 4 = **1,76 µm**
12	Úchylka 29,981 − 30 = **−0,019 mm**. Pod dolní mezí, čep je malý. **Zmetek.**

Situace

1. Honza měřil točící se díl, sahal do stroje s otevřenými dveřmi za chodu, neodjehlil ani nenechal díl vychladnout, odložil měřítko na lože a výsledek zaokrouhlil na desetiny. Má zastavit stroj a počkat, díl očistit, odjehlit a nechat vychladnout, změřit vhodným měřidlem, zapsat přesnou hodnotu a měřidlo odložit na podložku.
2. Rozdíl je přesně 0,50 mm, to je přehlédnutý půlmilimetr, tedy hrubá chyba. Změří to potřetí a ověří posuvným měřítkem.
3. Kalibr se netlačí. Pepa zničil kalibr i díl. Dobrá strana neprošla, díra je malá a dá se dobrat. Kalibr musí někdo zkontrolovat.
4. Trend. Upraví korekci dřív, než vznikne zmetek, nebo vymění nástroj, a zapíše to. Rozměr hned ověří na dalším kuse.

Správné odpovědi v testu

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	a	b	c	a	a	c	a	a	b	a	a

14	15	16	17	18	19	20	21	22
b	a	b	a	b	b	b	b	c

TIP

Odečty ti nešly? Vrať se k řešeným schématům v kapitolách 3 a 4 a pak trénuj na skutečném měřidle: nastav si libovolný rozměr, přečti ho a ověř přesnějším měřidlem.

NA ZÁVĚR

11 Slovníček, tahák a zdroje

Vysvětlení pojmů, tahák se vzorci, použité zdroje a vlastníci obrázků.

Všechny vzorce na jednom místě

Co počítáš	Vzorec	Příklad
Tolerance	T = horní mez − dolní mez	20,1 − 19,9 = 0,2 mm
Úchylka	naměřeno − jmenovitý rozměr	20,04 − 20 = +0,04 mm
Volba měřidla	T / rozlišení ≥ 5	0,2 / 0,02 = 10
Poměr přesnosti	TAR = ± tolerance / ± chyba	0,015 / 0,001 = 15
Teplota	$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$	11,5 · 0,1 · 30 = 34,5 µm
Paralaxa	$\Delta X = H \cdot \tan \varphi$	0,3 · tan 20° = 0,109 mm
Chyba naklopení	$f = h \cdot a / \ell$	40 · 0,01 / 50 = 0,008 mm
Rozlišení nonia	dílek hlavní − dílek nonia	1 − 0,98 = 0,02 mm
Házení a výstřednost	max − min, e = házení / 2	0,12 mm, e = 0,06 mm
Tři dráty	M = D2 + 3d − 0,866P, d ≈ 0,577P	M12: 12,38 mm
Sinusové pravítko	$h = L \cdot \sin \alpha$	100 · sin 15° = 25,882 mm
Teoretická drsnost	$Rt = f^2 \cdot 1000 / (8 \cdot r)$, Ra ≈ Rt / 4	f = 0,2, r = 0,8: Rt = 6,25 µm
Korekce průměru	rozdíl průměrů, nůž o polovinu	−0,08 mm, nůž 0,04 mm

Slovníček

Pojem	Vysvětlení	Pojem	Vysvětlení
Abbeho princip	přesnost je největší, když stupnice leží v ose měření	**Nonius**	pomocná stupnice pro jemné čtení
Aretace	zajištění měřidla v nastavené poloze	**Paralaxa**	chyba čtení při šikmém pohledu
D2	střední průměr závitu	**Přetírání**	přisátí měrek k sobě
Dutinoměr	měřidlo průměru díry s hodinkami	**Řehtačka**	omezí sílu mikrometru
Házení	rozdíl největšího a nejmenšího údaje za otáčku	**Rozlišení**	nejmenší krok, který měřidlo ukáže
Hřebínek	závitová šablona, určí stoupání	**TAR**	poměr tolerance a chyby měřidla
Kalibrace	zjištění chyby proti přesnějšímu měřidlu	**Úchylka**	naměřeno minus jmenovitý rozměr
Koncové měrky	přesné kvádry, skládají se do sloupce	**Úchylkoměr**	číselníkové hodinky, měří rozdíl
Návaznost	řetěz porovnání až po státní etalon	**UOV**	učitel odborného výcviku

Zdroje

- Vlastní školní materiály: Teorie odborného výcviku pro 1., 2. a 3. ročník a CNC soustruh. Pojmy, pravidlo pětinásobného rozlišení, meze H7, h6 a h9, přídavek 0,5 mm, ocel 11,5 µm/m/°C a příklady s korekcí.
- Mitutoyo, Quick Guide to Precision Measuring Instruments. Nonius, zdroje chyb měřítka, Abbeho princip, tepelné vlivy, skladování mikrometru, tři dráty, přetírání a volba měrek, kosinová korekce, hrot a základní délky drsnosti podle ISO 4288, https://res.cloudinary.com/iwh/image/upload/q_auto,g_center/assets/1/26/Mitutoyo_536-161_Mitutoyo_Quick_Guide.pdf
- Mitutoyo America, EDU-15005A Decision Rules, TAR, and TUR. Historie pravidla 10 : 1, poměr 4 : 1 a příklad TAR = 15, https://www.mitutoyo.com/webfoo/wp-content/uploads/15005A.pdf
- Mitutoyo, katalogové údaje: mikrometr 103-137 (5 až 10 N, ±2 µm), řada 102, https://www.machine-dro.co.uk/products/mitutoyo-micrometer-0-25mm-103-137, https://baoanjsc.com.vn/TaiLieu/Outside-micrometers-MITUTOYO-102-series-CATALOG-2618.pdf; měřítka řady 530 a 500, https://www.transcat.com/brand/mitutoyo-store/calipers/530-102-530-102-211508, https://www.generaltechshop.ae/product/mitutoyo-500-196-20-absolute-digimatic-caliper-0-150mm-0-6
- NIST, ISO 1:2016 a vztažná teplota 20 °C, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7339725
- Součinitele roztažnosti: Engineers Edge, https://engineersedge.com/materials/coefficients_linear_thermal_expansion_13165.htm; Misumi, https://us.misumi-ec.com/blog/thermal-expansion-coefficients/; Mitutoyo Quick Guide, kde je

u oceli (10,2 ± 1) µm/m/°C.

- Keyence, měření mikrometrem, Abbeho princip a interval kalibrace, https://www.keyence.com/ss/products/measure-sys/measurement-selection/type/micrometer.jsp
- A&D, Causes of error of calipers, https://blog.aandd.co.jp/en/ad-5767/error
- Česká výuková literatura k nejistotám: ČVUT Fakulta stavební, Postup výpočtu nejistot, https://k123.fsv.cvut.cz/media/subjects/files/123ZAZK/postup-vypoctu-nejistot.pdf
- Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii, § 3 a § 5, konsolidované znění, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, https://unmz.gov.cz/wp-content/uploads/Z505_01072021.pdf
- ISO 3650:1998 Geometrické specifikace výrobků, Koncové měrky, třídy K, 0, 1 a 2, https://www.iso.org/standard/1241.html; Gauge block, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Gauge_block; složení sady 112 kusů Mitutoyo, https://penntoolco.com/516-437-26
- Závitové kalibry: Quality Magazine, Choosing and using the right thread gage, https://www.qualitymag.com/articles/90996-choosing-and-using-the-right-thread-gage; Hoffmann Group, katalogový list závitového kalibru, https://cdn.hoffmann-group.com/dsh/cs-CZ/dsh_cs-cz_51757.pdf; mezní kalibry, https://organametrisis.gr/en/pages/gauges
- Univerzální úhloměr 5′: Starrett, https://docs.msi-viking.com/media/Starrett/359%20Series%20Precision%20Universal%20Protractors.pdf. Sinusové pravítko: CNC Cookbook, https://www.cnccookbook.com/sine-bar-sine-plate-sine-vise-complete-guide
- Dutinoměr a teleskopický měrák: návod Dorsey Metrology, https://dorseymetrology.com/sites/default/files/2024-11/standard-bore-gage-instruction.pdf; Penn Tool Co., https://www.penntoolco.com/blog/-how-to-use-a-telescoping-gauge-for-accurate-bore-measurements/
- Liché vrcholy a tříbodové měření: Mitutoyo E15019 RA-10, https://www.mitutoyo.com.br/download/02folhetos/03%20Forma/E15019_2_RA-10.pdf; PMPA, https://www.pmpa.org/tag/pseudoround/
- Předpětí a kosinová chyba: AIMS Industrial, https://aimsindustrial.com.au/blogs/product-guides/tagged/cosine-error. Teoretická drsnost: Tribonet, https://www.tribonet.org/calculators/turning-surface-finish-feed-tool-nose-radius/
- Zastavit stroj před měřením: University of Washington, Lathe SOP, https://www.ehs.washington.edu/system/files/resources/lathe-sop.docx; LSU, https://lsu.edu/eng/mie/cuf/ammf/safetyrules/Lathes.php; Rowan University, https://engineering.rowan.edu/current_students/machine_shop/safety
- Normy samotné jsme neměli k dispozici. Tvrzení o normách jsou převzatá z výše uvedených zdrojů. Všechny příklady a odečty jsou vypočtené programem.
- Skutečné obrázky mají vlastníka uvedeného pod obrázkem a v tabulce níže. Schémata bez uvedeného vlastníka jsou vlastní zpracování.

Kde	Vlastník a zdroj obrázku
Obálka	ArtMechanic, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Messschieber.jpg
Obálka	Lucasbosch, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mahr_Micromar_40A_0–25_mm_Micrometer.jpg
Obr. 1.4	Stephanie cheks, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Micrometer_screw_gauge.jpg
Obr. 2.2	Jacek Halicki, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2020_Suwmiarka_cyfrowa.jpg
Obr. 3.2	ArtMechanic, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Messschieber.jpg
Obr. 3.11	Lucasbosch, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TESA_CCMA-P_150_mm_0.02_mm_dial_caliper.jpg
Obr. 3.12	Mkronsteiner, Wikimedia Commons, licence CC0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:45er_2.jpg
Obr. 4.2	Lucasbosch, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, oříznuto, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mahr_Micromar_40A_0–25_mm_Micrometer.jpg
Obr. 4.11 vlevo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MicrometerDepth916947.jpg
Obr. 4.11 vpravo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MicrometerInside5-30_25-50.jpg
Obr. 5.2 vlevo	Lucasbosch, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mahr_MarCator_810_A_dial_indicator.png
Obr. 5.2 vpravo	Solaris2006, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dial_Gauge_Puppitast.jpg
Obr. 5.4	David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dial_Test_Indicator_in_Use.jpg
Obr. 6.1	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GaugePlugSpecialGoNoGo.jpg
Obr. 6.4	Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thread_Gauge.JPG
Obr. 6.5	Tanelhaak, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Keerme_mõõtmine_keermemikromeetriga.jpg
Obr. 6.7	Rebecca Siegel, Wikimedia Commons, licence CC BY 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Universal_bevel_protractor.jpg
Obr. 6.10	Rrudzik, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sine_bar_in_use.jpg
Obr. 6.11 vlevo, 9.1	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GaugeBlockMetricSet.jpg

Kde	Vlastník a zdroj obrázku
Obr. 6.11 vpravo	Clarence Leon Goodrich a Frank Arthur Stanley, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gauge_Block_Adhesion.jpg
Obr. 7.1	Solaris2006, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bore_gauge_bottom_section.jpg
Obr. 7.3	Rrudzik, Wikimedia Commons, licence CC0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3_point_micrometer.jpg
Obr. 7.7	Encik Tekateki, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Filler_Gauge.jpg
Obr. 7.10	Andy Dingley, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Talysurf,_Snibston.jpg

KONTROLNÍ SEZNAM PŘED KAŽDÝM MĚŘENÍM

- Stroj stojí, vřeteno i posuvy jsou v klidu, nástroj je v bezpečné poloze.
- Díl je očištěný od třísek a kapaliny, odjehlený a u přesného rozměru vychlazený.
- Měřidlo je správné pro danou toleranci, čisté, s platnou kalibrací a s ověřenou nulou.
- Měřidlo přikládáš kolmo, se stejnou silou a na stupnici se díváš kolmo.
- Naměřenou hodnotu hned zapíšeš, porovnáš s mezemi a měřidlo vrátíš do pouzdra.

PAMATUJ

Tento materiál vysvětluje obecné základy a nenahrazuje školení, návod k měřidlu ani pokyny UOV. Hodnoty přesnosti vždy ověř u konkrétního měřidla.

TIP

Obrázky jsou použité podle licencí uvedených u každého z nich a patří svým vlastníkům. Před použitím mimo výuku si ověř podmínky jejich licence.