



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

MOŽNOSTI MĚŘENÍ GEOMETRICKÉ PŘESNOSTI OBROBKU

WORKPIECE GEOMETRICAL ACCURACY MEASUREMENT POSSIBILITIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL TVARDEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Tvardek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Možnosti měření geometrické přesnosti obrobku

v anglickém jazyce:

Workpiece geometrical accuracy measurement possibilities

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student provede rešerši v oblasti postupů měření geometrické přesnosti obrobku a dostupného přístrojového vybavení. Dále popíše a porovná současné měřicí systémy a metodiky.

Cíle bakalářské práce:

Provést rešerši v oblasti geometrické přesnosti obrobku.

Provést rešerši stavu techniky v oblasti inprocesních a postprocesních měřicích systémů a zařízení.

Provést popis a roztřídění měřicích systémů a zařízení.

Sestavit přehled standardů zaměřených na kontrolu geometrické přesnosti.

Seznam odborné literatury:

Marek, J.; Konstrukce CNC obráběcích strojů, 2. rozšířené vydání, ISBN 978-80-254-7980-3
www stránky výrobců měřicích přístrojů
www.unmz.cz - normativy
www.infozdroje.cz

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

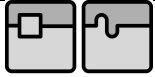
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 23.11.2010



doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je provést rešerši v oblasti měření geometrické přesnosti obrobku. V úvodní části se věnuji popisu a grafické interpretaci geometrických tolerancí a parametrů struktury povrchu, včetně jejich znázorňování ve výkresové dokumentaci. Dále jsem stručně shrnul základní metodiky měření vybraných geometrických veličin a ozubených kol. Rovněž jsem popsal současná zařízení a přístroje na měření geometrické přesnosti a struktury povrchu jak pro inprocesní, tak pro postprocesní využití, přičemž jsem se snažil vyzdvihnout jejich hlavní vlastnosti a výhody.

Klíčová slova

Měření, geometrická přesnost, obrobek, inprocesní, postprocesní

ABSTRACT

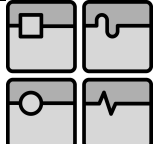
The aim of this bachelor thesis is to do a research in the field of measurement of geometrical accuracy of workpiece. In the introduction I deal with the description and graphic interpretation of geometrical tolerances and parameters of the surface texture, including their illustration in the drawing documentation. Then I briefly summarized the major measuring methods of the chosen geometrical features and gear wheels. I also described the current equipment for measuring geometrical accuracy and surface texture for both inprocess and postprocess usage; meanwhile I tried to accentuate their main features and advantages.

Key words

Measurement, geometric accuracy, workpiece, inprocess, postprocess

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TVARDEK, M. *Možnosti měření geometrické přesnosti obrobku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 85 s., 1 příloha. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D..

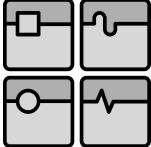
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Prohlášení autora o původnosti práce

Prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování bakalářské práce a že jsem celou bakalářskou práci na téma *Možnosti měření geometrické přesnosti obrobku* vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Petra Blechy, Ph.D.. Při psaní této bakalářské práce jsem použil pouze odbornou literaturu a zdroje, jež jsou uvedeny v seznamu použitých pramenů.

V Brně dne 16.5.2011

.....
Michal Tvardek

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

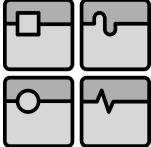
Poděkování

Děkuji tímto panu doc. Ing. Petru Blechovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce. Také děkuji všem zaměstnancům firmy Renishaw, spol. s r. o. , zvláště pak panu Ing. Josefu Slámovi za vstřícnost a ochotu, jež mi byly poskytnuty. V poslední řadě rovněž děkuji rodině, přítelkyni a přátelům, kteří mě při psaní bakalářské práce nemálo podporovali.

Obsah

1	METROLOGIE	12
1.1	HISTORIE	12
1.2	TECHNICKÁ KONTROLA	13
1.2.1	Inprocesní měření.....	14
1.2.2	Postprocesní měření.....	17
2	STRUKTURA POVRCHU	19
2.1	POPIS JEDNOTLIVÝCH PARAMETRŮ STRUKTURY POVRCHU	19
2.2	OZNAČOVÁNÍ NA VÝKRESECH	26
3	TOLERANCE GEOMETRICKÉ PŘESNOSTI	27
3.1	PŘÍMOST	28
3.2	ROVINNOST.....	28
3.3	KRUHOVITOST	28
3.4	VÁLCOVITOST.....	29
3.5	TVAR ČÁRY.....	29
3.6	TVAR PLOCHY	29
3.7	SKLON	30
3.8	KOLMOST.....	30
3.8.1	Referenční element osa	30
3.8.2	Referenční element rovina.....	30
3.9	ROVNOBĚŽNOST	31
3.10	SOUOSOST.....	31
3.11	SOUSTŘEDNOST	31
3.12	UMÍSTĚNÍ.....	32
3.13	SOUMĚRNOST	32
3.14	OBVODOVÉ HÁZENÍ	32
3.15	ČELNÍ HÁZENÍ.....	33
3.16	CELKOVÉ OBVODOVÉ HÁZENÍ.....	33
3.17	CELKOVÉ ČELNÍ HÁZENÍ	33
4	GEOMETRICKÁ PŘESNOST OBRÁBĚCÍCH STROJŮ.....	34
5	ZJEDNODUŠENÉ METODY MĚŘENÍ VYBRANÝCH GEOMETRICKÝCH TVARŮ.....	35
5.1	KRUHOVITOST	35
5.2	PŘÍMOST	38
5.3	ROVINNOST.....	39
5.4	VÁLCOVITOST.....	40
6	SCHÉMATA ZÁKLADNÍCH METOD MĚŘENÍ OZUBENÝCH KOL	41
7	INPROCESNÍ MĚŘICÍ SYSTÉMY A ZAŘÍZENÍ.....	43
7.1	RENISHAW EQUATOR 300.....	43
7.2	DOTYKOVÉ SONDY PRO OBRÁBĚCÍ STROJE	45
7.3	LASEROVÉ SKENOVAČÍ MIKROMETRY	48
7.3.1	Princip.....	48
7.3.2	Mitutoyo LSM-516S	49
7.4	SLEDOVACÍ MĚŘIDLO AMEST EC-3	51
8	POSTPROCESNÍ MĚŘICÍ SYSTÉMY A ZAŘÍZENÍ.....	53
8.1	OPTICKÉ DESTIČKY	53
8.2	NOŽOVÁ PRAVÍTKA.....	54
8.3	PŘÍLOŽNÉ ÚHELNÍKY	54
8.4	KALIBRY	55
8.5	DOTYKOVÉ MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU - SURFTEST SJ-400	56
8.6	UNIVERZÁLNÍ MĚŘENÍ POMOCÍ TALYMASTER	58
8.7	BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU - TALYSURF CCI LITE	59

8.8	PROFILOMĚR CONTRACER 3100	61
8.9	MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI – RONDCOM 54	63
8.10	RONDCOM 75.....	65
8.11	KRUHOMĚR ROUNDTTEST RA-H5100 AH	66
8.12	F25 PRO MĚŘENÍ MIKROSOUČÁSTÍ.....	68
8.13	MĚŘENÍ OZUBENÝCH KOL POMOCÍ ND300.....	69
8.14	SPECIÁLNÍ MĚŘICÍ STANICE FIRMY AMEST	70
8.15	MĚŘENÍ OBVODOVÉHO HÁZENÍ POMOCÍ PŘÍPRAVKU FIRMY MAHR	72
8.16	OPTICKÉ MĚŘENÍ HRÍDELŮ	73
8.17	SOUŘADNICOVÉ MĚŘICÍ STROJE	74
8.17.1	Leitz Infinity	76
8.18	LASEROVÉ SKENOVÁNÍ.....	78
9	ROZTŘÍDĚNÍ MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ A ZAŘÍZENÍ	79
10	ZÁVĚR.....	80
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	81
12	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	83
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	85

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Úvod

V dnešní uspěchané době, plné inovací, nových technologií a konkurenčního boje, hraje významnou roli čas. Bohužel je to veličina, kterou nedokážeme zastavit, zpomalit a ani zdaleka ne koupit. Můžeme jej však získat. Tohle samozřejmě platí i ve strojírenském průmyslu. Zkracování výrobních časů snižuje náklady a peníze jsou rovněž faktorem hrajícím značně důležitou roli. V současné strojírenské výrobě jsou na většinu produktů kladeny velmi vysoké nároky na přesnost, trvanlivost či zaměnitelnost, spolu se snahou minimalizovat zmetkovitost a maximalizovat produktivitu. Aby se těchto cílů dosahovalo, je třeba neustále provádět před, během i po výrobním procesu různá měření. V této bakalářské práci se zaměřím na možnosti, způsoby a současné trendy v inprocesním a postprocesním měření obrobků, převážně tedy na měření jejich geometrických rozměrů.

1 Metrologie

Metrologie je nauka o měření a kontrole.

Měření je soubor činností, jejichž cílem je stanovit hodnotu veličiny. Je nutné uvědomit si, že skutečnou, neboli pravou, hodnotu veličiny není možné přesně zjistit, neboť nemáme absolutně přesná měřidla a nemůžeme zajistit ani referenční podmínky měření. Ve strojírenských podnicích je nejčastěji měřenou veličinou délka. Měří se jak absolutními, tak i komparačními neboli rozdílovými měřidly. Aplikace při měření délek se používá například při kontrole závitů, ozubených kol, jakosti povrchu nebo tvarů a polohy.

Předpokladem správného měření je znalost a respektování všech zákonů a vyhlášek, které jsou v České republice pro oblast metrologie vydávány Ministerstvem průmyslu a obchodu. Podmínky správného měření definované v zákonech a vyhláškách by měli ovládat nejen pracovníci metrologie, ale i jejich nadřízení. Základním požadavkem je přímá návaznost měřidel nepřerušovaným řetězcem na mezinárodní etalon (standard, normál) nejvyššího řádu pro reprodukci hodnot dané veličiny.

Kontrola přesnosti výrobních strojů má v našem průmyslu velkou tradici, základ představuje kontrola geometrické přesnosti, jejíž základ byl ustaven téměř před sto lety. Moderní kontrolní prostředky pozvedly kontrolu na kvalitativně vyšší úroveň. Pomocí výsledků kontroly dnes můžeme přesnost stroje řízeného počítačem zlepšit významným způsobem i bez zásahu do mechanické části stroje. [3]

1.1 Historie

Počátky cílevědomého měření délek sahají podle archeologů až do pravěku. Primitivní člověk tehdy porovnával délkové rozměry s rozměry částí svého těla. Tak vznikly první jednotky délky, z nichž některé se používaly donedávna: dlaň, palec, píd', stopa, loket, krok, kročej (dvojkrok) atd.

Metrický systém byl zaveden ve Francii zákonem v roce 1795, prototyp z platiny obdélníkového průřezu byl uložen v Louvru.

Definice:

1 metr = desetimiliontá část kvadrantu poledníku zemského.

V roce 1870 byl vyroben nový prototyp metru o průřezu tvaru X vepsaného do čtverce o straně 20 mm a došlo ke změně definice na:

1 metr = vzdálenost koncových rysek prototypu metru

1960 – nová definice:

Metr je délka rovnající se 1 650 763,73-násobku vlnové délky záření šířícího se ve vakuu, které přísluší přechodu mezi energetickými hladinami 2_{P10} a 5_{d5} atomu kryptonu 86.

1983 – nová definice, užívaná dodnes:

Metr je délka, kterou uběhne ve vakuu světlo za dobu 1/299 792 458 sekundy. [1]

1.2 Technická kontrola

Obecně platí, že chyby v rozměrech se vyskytují u všech vyráběných součástí, jelikož žádné výrobní zařízení a člověk nedokáže tyto chyby zcela eliminovat. To znamená, že se skutečný rozměr liší od toho jmenovitého (požadovaného). Jmenovité rozměry funkčních částí součástí jsou zpravidla opatřeny tolerančním polem (dolní a horní tolerancí), do kterého musí měřený rozměr spadat, aby vyhovoval a byla tak zajištěna jakost výrobku.

Technická kontrola je důležitou částí podnikového systému řízení jakosti. Jejím cílem není pouze vyřazování nekvalitních výrobků, ale především předcházení vzniku těchto chyb. [3]

Technická kontrola se dělí na:

- vstupní
- výrobní (Inprocesní)
- výstupní (Postprocesní)
- kontrolu pracovních prostředků

Podmínky správného měření je možné shrnout do následujících bodů:

- legislativní zajištění pracoviště
- vhodné měřicí prostředky
- kvalifikace pracovníků
- správný postup měření
- zajištění vhodných prostor s vyhovujícím prostředím
- záznamy o měření, které se podle důležitosti archivují [3]

1.2.1 Inprocesní měření

Inprocesní měření je měření, jež probíhá **v průběhu výrobního procesu**. Tento způsob měření zvyšuje produktivitu a snižuje náklady například při zpracování velkých součástí, majících dlouhý výrobní cyklus a vysoké náklady na materiál. Umožňuje rovněž předcházet znehodnocení nástroje. [4]

Stávající metody inprocesního měření lze rozdělit na **přímé** a **nepřímé**, v závislosti na principu měření. [4]

Přímá metoda – rozměr obrobku je měřen adekvátním nástrojem, zatímco je obrobek na obráběcím stroji. V úvahu se musí vzít i účinky opotřebení nástroje a chyby stroje. [4]

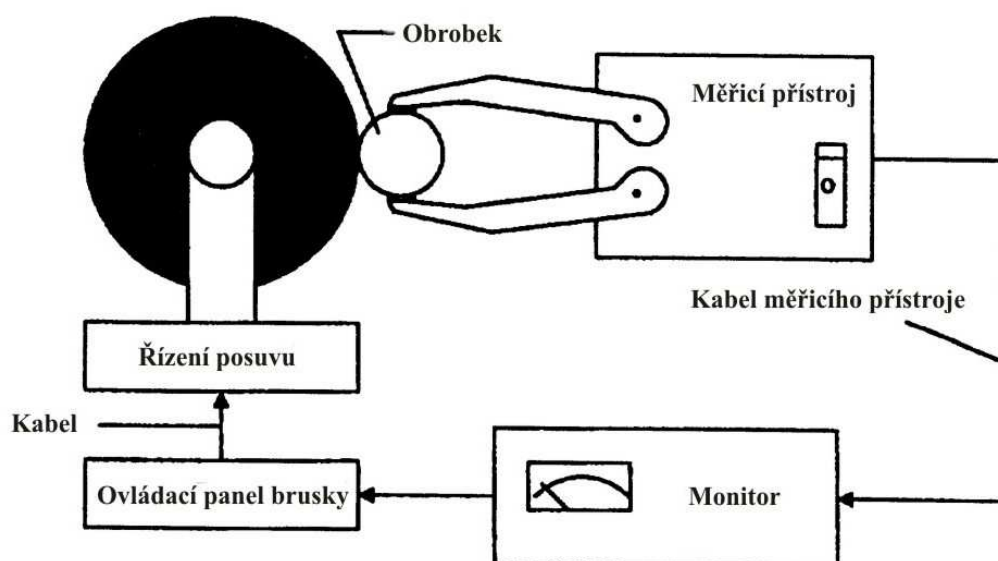
Nepřímá metoda – přesnost obrobku lze vyhodnotit také nepřímým způsobem, monitorováním pohybu suportu, nesoucího řezný nástroj, nebo zaznamenáváním polohy špičky tohoto řezného nástroje. [4]

Metody inprocesního měření:

Mechanické metody

Třmenová metoda

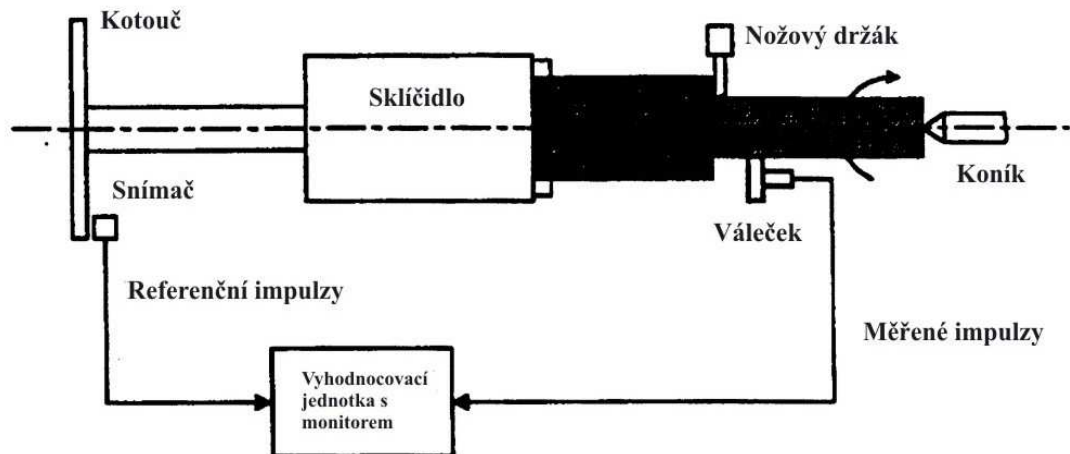
Kontaktní plochy nebo čelisti jsou v neustálém kontaktu s obrobkem. Touto metodou je možno měřit součásti o průměru 5 až 190 mm, s rozlišitelností 0,5 μm . Používá se především **při soustružení či broušení** (Obr. 1.1). [4]



Obr. 1.1: Schéma třmenové metody měření obrobku [4]

Válečková metoda

Tato metoda měří průměr obrobku na základě počtu otáček měřicího válečku. [4]



Obr. 1.2: Schéma válečkové metody měření obrobku [4]

Optické metody

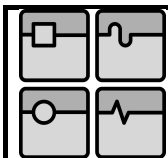
Optická metoda inprocesního měření je takový způsob měření, kdy vysílací modul vytváří a vyzařuje světlo, jež je shromažďováno a fotoelektricky snímáno skrz měřený objekt pomocí přijímacího modulu. Ten vytváří signál, jenž může být převeden do vhodné formy a zobrazen na informace o rozměru. [4]

Hlavní výhody optických metod:

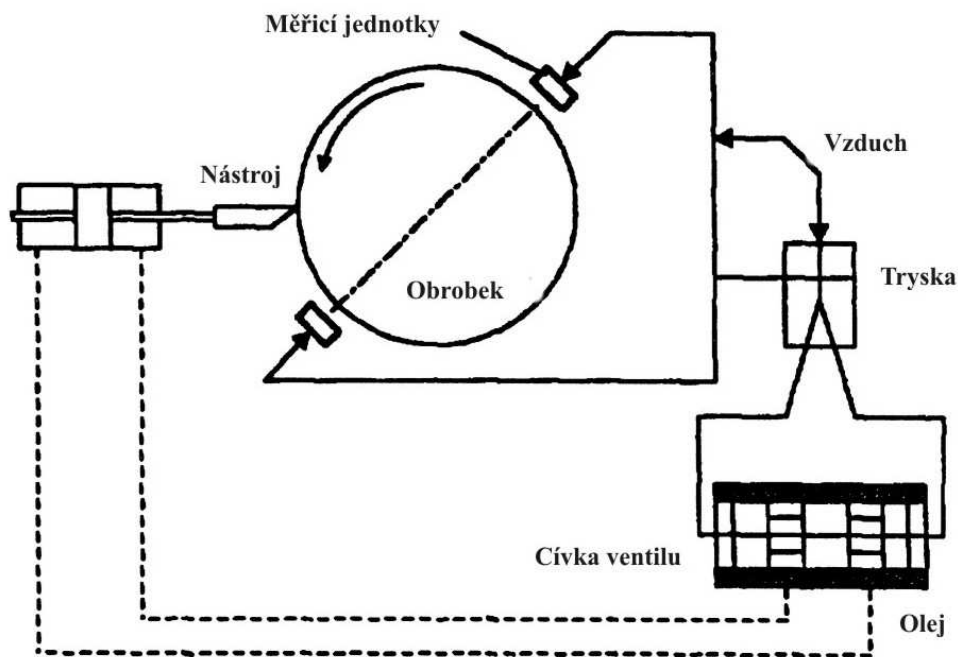
- není zde nutnost přímého mechanického kontaktu mezi senzorem a měřeným objektem
- velké vzdálenosti mezi senzorem a měřeným objektem
- dobu odezvy limituje pouze použitá elektronika v senzoru
- světlo může být přímo převedeno na elektrický signál

Hlavní optickou metodou inprocesního měření je **skenovací světelný paprsek**:

Tento způsob používá pro měření laserové paprsky. Vysílací modul vyzařuje vysokorychlostní skenovací laserový paprsek, většinou prostřednictvím zrcadla a synchronního motoru. Měřený objekt přerušuje tento paprsek a vytvoří časově závislý stín. Tento stín je detekován přijímačem a řídicí jednotkou převeden do rozměrových veličin. [4]

**Pneumatická metoda**

Tato metoda spočívá ve změření poklesu tlaku mezi měřidlem a obrobkem a následným převedením na elektrický signál (Obr. 1.3). [4]



Obr. 1.3: Schéma pneumatické metody měření obrobku [4]

Ultrazvukové metody

Ultrazvuk se šíří k obrobku, následně se odráží zpět do vysílače, jenž pracuje i jako přijímač. Doba přenosu závisí na odchylce od dané vzdálenosti mezi pracovní plochou a přijímačem. Stanovením doby přenosu se jednoduše určí i rozměr. [4]

Rádiová metoda

Při snímání se sonda dotýká řady nespojitých bodů na povrchu obrobku. Každý kontakt doteku sondy s povrchem obrobku generuje spínací signál. Tento signál je předáván do řídicího systému stroje, kde dojde k zaznamenání a vyhodnocení polohy stroje v daném okamžiku. [6]

1.2.2 Postprocesní měření

Postprocesní měření je měření, jež se provádí na součásti až po výrobním procesu. Ke zvýšení produkce se využívá především u menších součástí. Kontrola se provádí tradičními metodami. Jestliže některý z rozměrů měřené součásti není v požadovaném tolerančním poli, provedou se potřebné změny ve výrobním procesu, aby další kusy byly přesnější. Do postprocesního měření můžeme zahrnout také měření délky.

Měření délek

Měření délek patří k nejčastěji používaným metrologickým operacím ve strojírenských podnicích, kde představují až 70% všech měření.

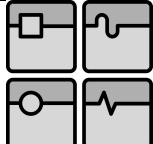
- měření přímé
- měření nepřímé

Základní rozdělení měřidel délky:

1. podle způsobu snímání
 - a) dotykové
 - b) bezdotykové
2. podle způsobu zjištění délkové veličiny
 - a) absolutní
 - b) komparační
3. podle vlastností výstupního signálu
 - a) analogová
 - b) digitální
4. podle vztahu obsluhy k procesu měření
 - a) manuální
 - b) automatická
5. podle úrovně zpracování naměřených hodnot
 - a) pasivní
 - b) aktivní
6. podle měřicího rozsahu
 - a) jednohodnotová
 - b) vícehodnotová

Základní mechanická měřidla pro měření délky:

- posuvná měřidla (klasická, digitální)
- mikrometrická měřidla (na měření vnějších rozměrů, na měření vnitřních rozměrů (dvojbodové, třibodové))
- hloubkoměry
- výškoměry
- číselníkové úchylkoměry (se stavitelným číselníkem, digitální)
- zhmotněné míry (jednohodnotová (koncové měrky, rozměrové kalibry), vícehodnotová (ocelová plochá měřítka, měřicí pásma))

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Základní elektrická měřidla pro měření délek, polohy apod.:

- elektrické snímače s analogovým výstupem (kapacitní, indukční)
- elektrické snímače s digitálním výstupem (inkrementální snímače polohy, snímače absolutní polohy)

Základní optická měřidla:

- optické měřicí přístroje (měřicí lupy, měřicí mikroskopy, měřicí projektory)
- laserové měřicí systémy (laserové scannery) [1],[3]

2 Struktura povrchu

Funkce ploch součástí závisí také na nerovnostech, které na povrchu zanechává jakákoliv technologická metoda. Na obrobeném povrchu jsou tyto nerovnosti stopami, které zanechává řezný nástroj, popř. brusivo nebo jiskrový výboj.

Struktura povrchu jsou opakované nebo náhodné úchyly od geometrického povrchu, které tvoří trojrozměrnou topografii povrchu. Struktura povrchu se člení na složky podle velikosti rozteče příslušných nerovností. Složka s nejmenší roztečí nerovností tvoří **drsnost povrchu**, další složka se nazývá **vlnitost povrchu** a složka s největší roztečí nerovností je určena **základním profilem**.

Pro účely měření a vyhodnocování struktury povrchu byla zvolena profilová metoda hodnocení, kdy profil povrchu vzniká jako průsečnice nerovností skutečného povrchu s rovinou vedenou kolmo k tomuto povrchu. Profil povrchu je základním zdrojem informací pro posuzování struktury povrchu. Z profilu povrchu se pomocí přístrojů odvodí profil drsnosti (**R-profil**), profil vlnitosti (**W-profil**) a profil základního profilu (**P-profil**). [5]

2.1 Popis jednotlivých parametrů struktury povrchu

Všechny zde uvedené popisy jsou na základě normy **DIN EN ISO 4287**, pokud u nich není uvedeno jinak.

Profil povrchu – celková výška profilu P_t , W_t , R_t

P_t – Hloubka profilu

- nejmenší vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými mezními přímkami z nefiltrovaného profilu povrchu uvnitř měřené délky l_n
- P_t je silně závislý na délce měřené délky l_n
- P_t slouží k vyhodnocování jednotlivých chyb povrchu

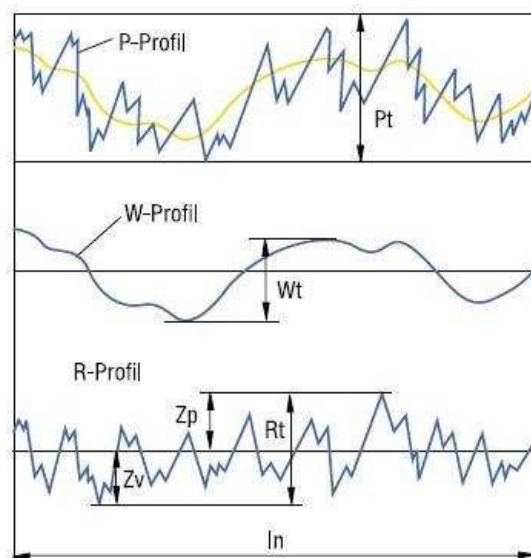
W_t – Hloubka vln

- vzdálenost mezi nejvyšším a nejhlubším bodem vyrovnaného profilu vlnitosti (drsnost odfiltrována) uvnitř měřené délky l_n
- značka W_t se používá ke kontrole výrobního postupu, u kterého vlnitost představuje funkční kritérium

R_t – Největší hloubka drsnosti

- svislá vzdálenost od nejvyšší špičky k nejhlubší rýze filtrovaného profilu drsnosti uvnitř měřené délky l_n

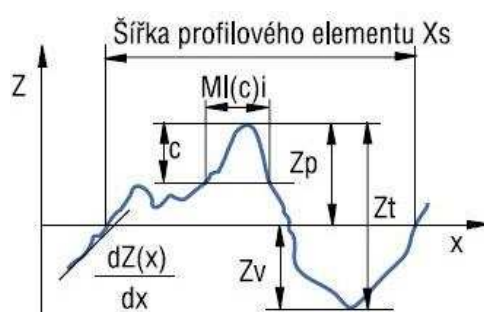
Vztažnou čarou pro definici parametrů je uvnitř základní délky **l_p**, **l_r**, **l_w** střední čára. Pokud není stanoveno jinak, je dovoleno měření pro zjištění parametrů drsnosti a vlnitosti přes **l_n = 5 l_r** resp. **l_n = 5 l_w (l_p)**. [7]



Obr. 2.1: Grafická interpretace P_t , W_t , R_t [7]

Povrchový element

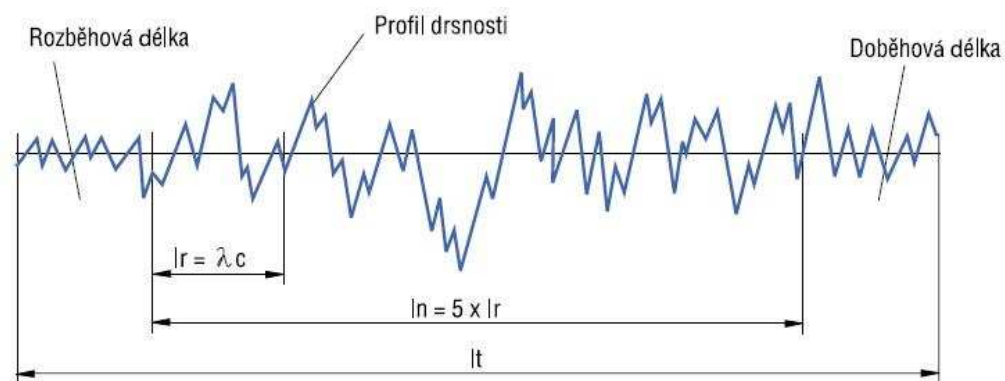
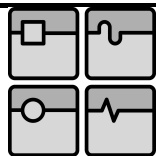
Část profilu, která sestává z jednoho profilového hrotu a jedné profilové rýhy. Charakteristické jsou výška **Z_p** hrotu profilu (peak), hloubka **Z_v** profilové rýhy (valley), šířka **X_s** (spacing). Výškový rozdíl **Z_t** je suma výšky hrotu profilu a hloubky profilové rýhy daného profilového elementu, **dZ(x)/dx** je místní stoupání profilu v daném řezu. Délka materiálu **MI(c)_i** je podíl materiálu, který vznikne odříznutím hrotu v určité hladině řezu **c**. [7]



Obr. 2.2: Grafická interpretace povrchového elementu [7]

Měřené délky – Mezní vlnové délky **l_t**, **l_n**, **l_r** – λ_c

Profil drsnosti se skládá z elementů oddělených podle vlnové délky profilovým filtrem λ_c (cut-off). Mezní vlnová délka charakterizuje způsob filtrace k oddělení vlnitosti a drsnosti. Celková délka **l_t** je délka pohybu snímače, během kterého se snímají úchylnky tvaru povrchu. Ta je delší než měřená délka **l_n** (vyhodnocovaná délka), z které se pomocí filtru získá profil drsnosti. S výjimkou parametrů **R_t** a **R_{mr}(c)** jsou všechny parametry drsnosti definovány na základní délce **l_r**. Zjišťovány však budou pravidelně jako střední hodnota 5 základních délek **l_r**. Základní délka **l_r** odpovídá mezní vlnové délce λ_c . [7]

Obr. 2.3: Grafická interpretace l_t , l_n , $l_r - \lambda_c$ [7]**Veličiny nosného podílu R_k , R_{pk} , R_{vk} , Mr_1 , Mr_2 dle DIN EN ISO 13565** **R_k – Základní hloubka**

- hloubka profilu jádra drsnosti (zóna s největším nárůstem podílu materiálu nad určitou hloubku)

 R_{pk} – Redukovaná výška špiček

- střední výška špiček profilu, vyčnívající z profilu drsnosti jádra

 R_{vk} – Redukovaná hloubka rýh

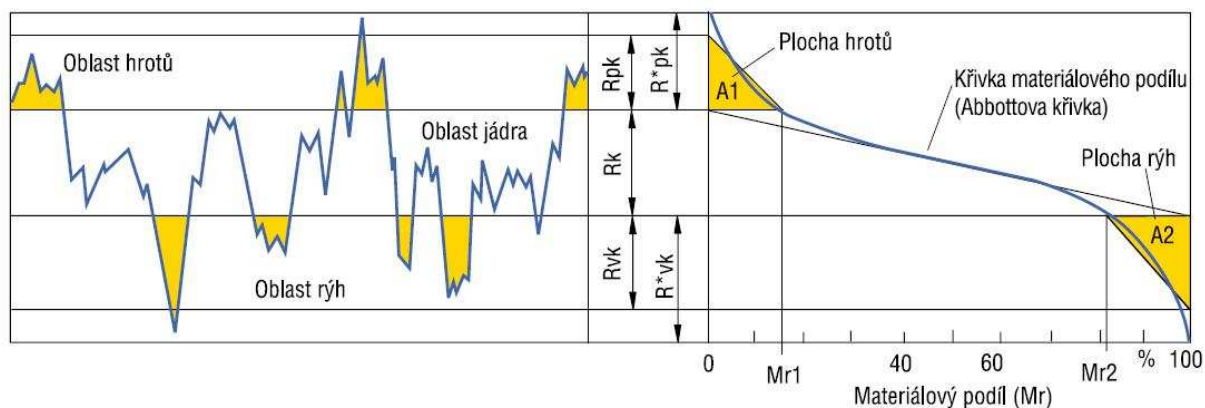
- střední hloubka rýh profilu, zasahujících z profilu jádra drsnosti do materiálu

 Mr_1 – Podíl materiálu nad profilem jádra

- je určován linií řezu, která vymezuje profil jádra drsnosti ke straně bez materiálu

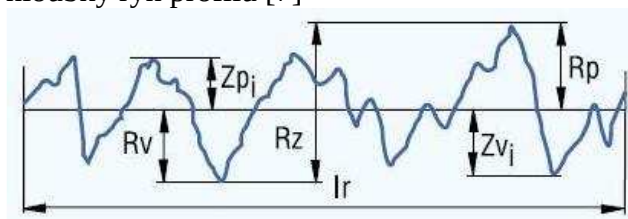
 Mr_2 – Podíl materiálu pod profilem drsnosti

- je určován linií řezu, která vymezuje profil jádra drsnosti ke straně materiálu [7]

Obr. 2.4: Grafická interpretace R_k , R_{pk} , R_{vk} , Mr_1 , Mr_2 [7]

Střední aritmetická hodnota drsnosti R_a

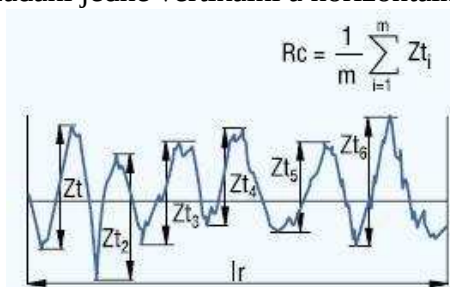
- aritmetický střed absolutních odchylek filtrovaného profilu drsnosti od střední čáry uvnitř základní délky l_r
- vypovídací schopnost parametru je nízká, R_a nereaguje citlivě na extrémní výšky hrotů profilu a hloubky rýh profilu [7]



Obr. 2.5: Grafická interpretace R_a [7]

Střední vzdálenost výšek elementů profilu R_c

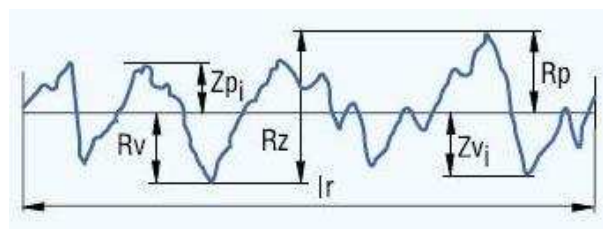
- aritmetický střed výšek elementů drsnosti profilu Z_t uvnitř základní délky l_r
- měření R_c požaduje zadání jedné vertikální a horizontální hladiny řezu [7]



Obr. 2.6: Grafická interpretace R_c [7]

Maximální výška profilu R_z

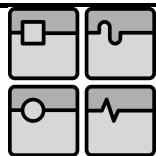
- součet výšky nejvyššího výstupku R_p a hloubky nejnižší rýhy R_v uvnitř základní délky l_r [7]



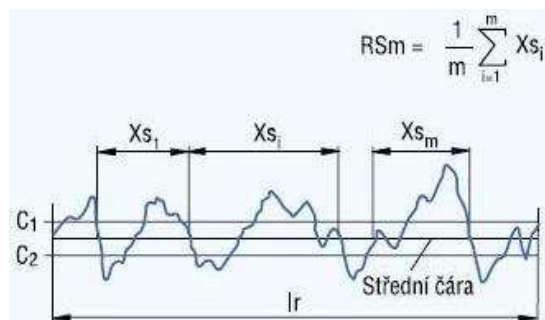
Obr. 2.7: Grafická interpretace R_z [7]

Střední vzdálenost rýh R_{Sm}

- střední hodnota roztečí nerovností profilu v rozsahu vyhodnocované délky l_r (analogicky P_{sm} , W_{sm})
- vyhodnocení veličiny požaduje zadání hladiny řezu C_1 , C_2 [7]



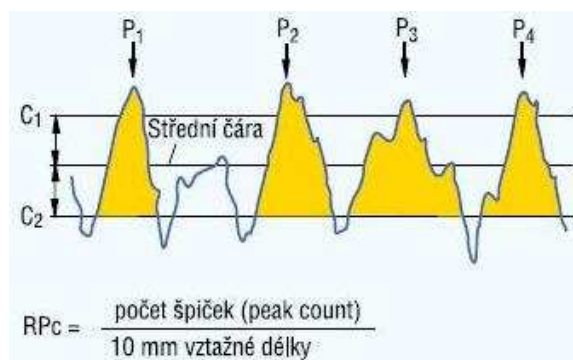
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr. 2.8: Grafická interpretace RSm [7]

Počet výstupků RPc

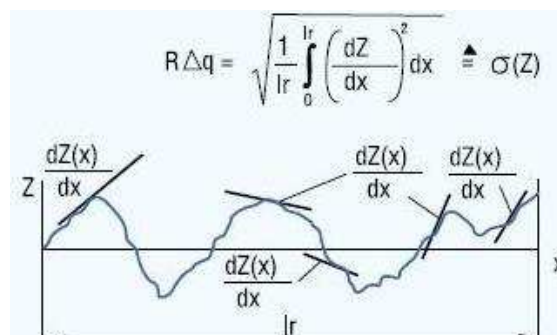
- podle **STAHL -EI SEN** - zkušební list (**SEP 1940**)
- počet výstupků **P** na 10 mm vztažné délky
- požaduje pro vyhodnocení zadání hladin řezu **C1, C2** [7]



Obr. 2.9: Grafická interpretace RPc [7]

Střední kvadratické stoupání profilu RΔq

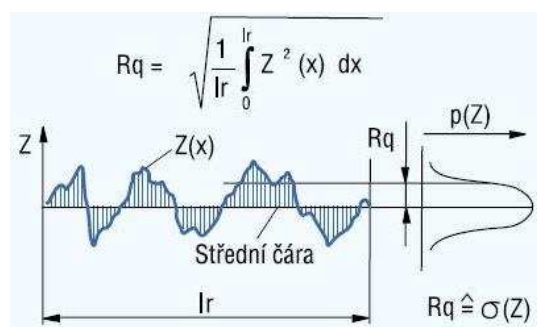
- střední kvadratická hodnota jednotlivých stoupání profilu **dZ(x)/dX** uvnitř základní délky **lr**
- parametr **RDq** má význam při hodnocení tribologických vlastností, odrazu světla, galvanickém povlakování [7]



Obr. 2.10: Grafická interpretace RΔq [7]

Střední kvadratická hodnota drsnosti R_q

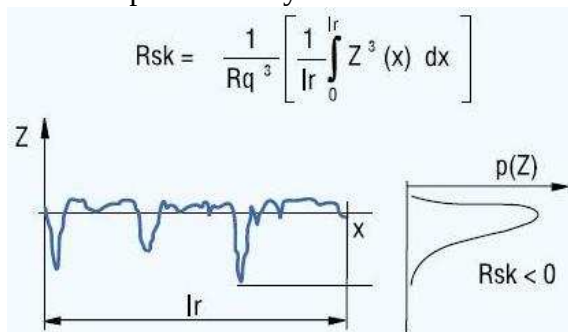
- střední kvadratická hodnota odchylek filtrovaného profilu drsnosti uvnitř základní délky l_r
- parametr R_q má význam při statistickém pozorování profilu povrchu, neboť R_q zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic [7]



Obr. 2.11: Grafická interpretace R_q [7]

Vyosení (nesymetrie) R_{sk}

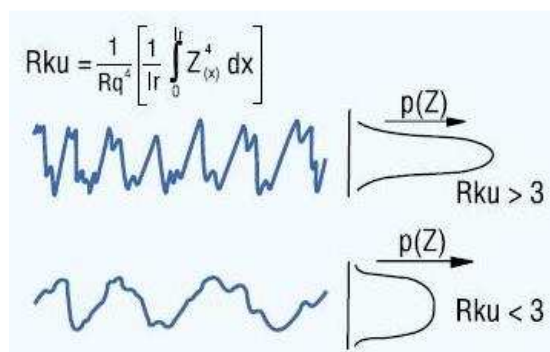
- měřítko pro asymetrii křivky hustoty rozdělení amplitud filtrovaného profilu
- negativní odchylka R_{sk} odpovídá dobrým vlastnostem nosnosti profilu [7]



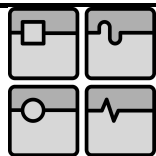
Obr. 2.12: Grafická interpretace R_{sk} [7]

Příkrost / Špičatost R_{ku}

- hodnota pro míru špičatosti křivky hustoty rozdělení amplitud filtrovaného profilu
- při normálním rozdělení souřadnic profilu $R_{ku} = 3$, ostřejší výstupky a rýhy $R_{ku} > 3$ a naopak [7]

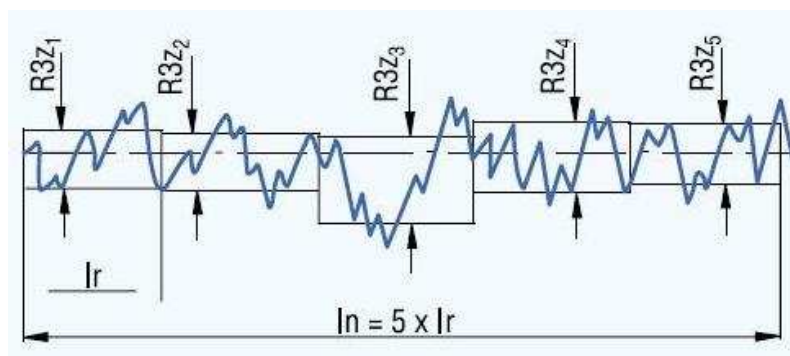


Obr. 2.13: Grafická interpretace R_{ku} [7]



Základní drsnost R3z

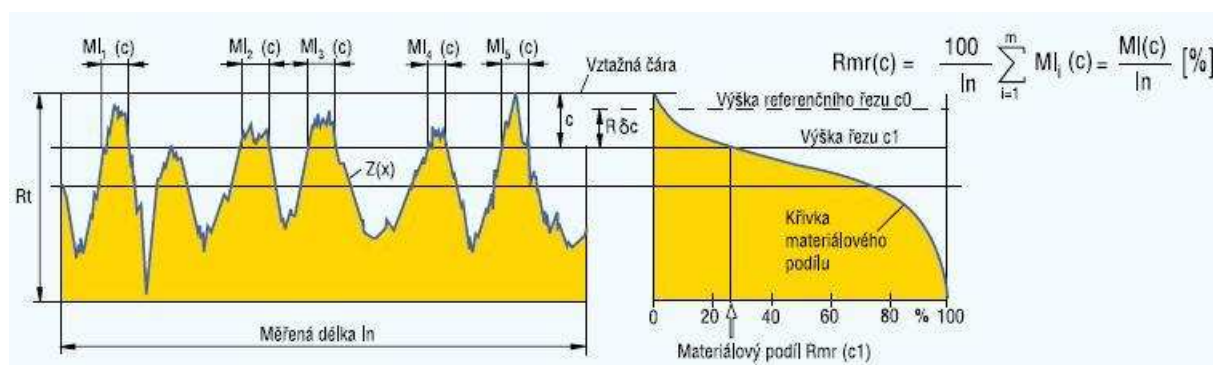
- dle **Daimler Benz** podniková norma **N31007**
- aritmetický průměr pěti jednotlivých drsností **R3z1** až **R3z5** jako vyhodnocení vzdálenosti třetích nejvyšších špiček a rýh uvnitř jednotlivých základních délek **lr**
- měření **R3z** požaduje zadání jedné vertikální a horizontální hladiny řezu [7]



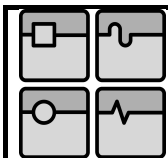
Obr. 2.14: Grafická interpretace R3z [7]

Materiálový podíl drsnosti profilu Rmr (c)

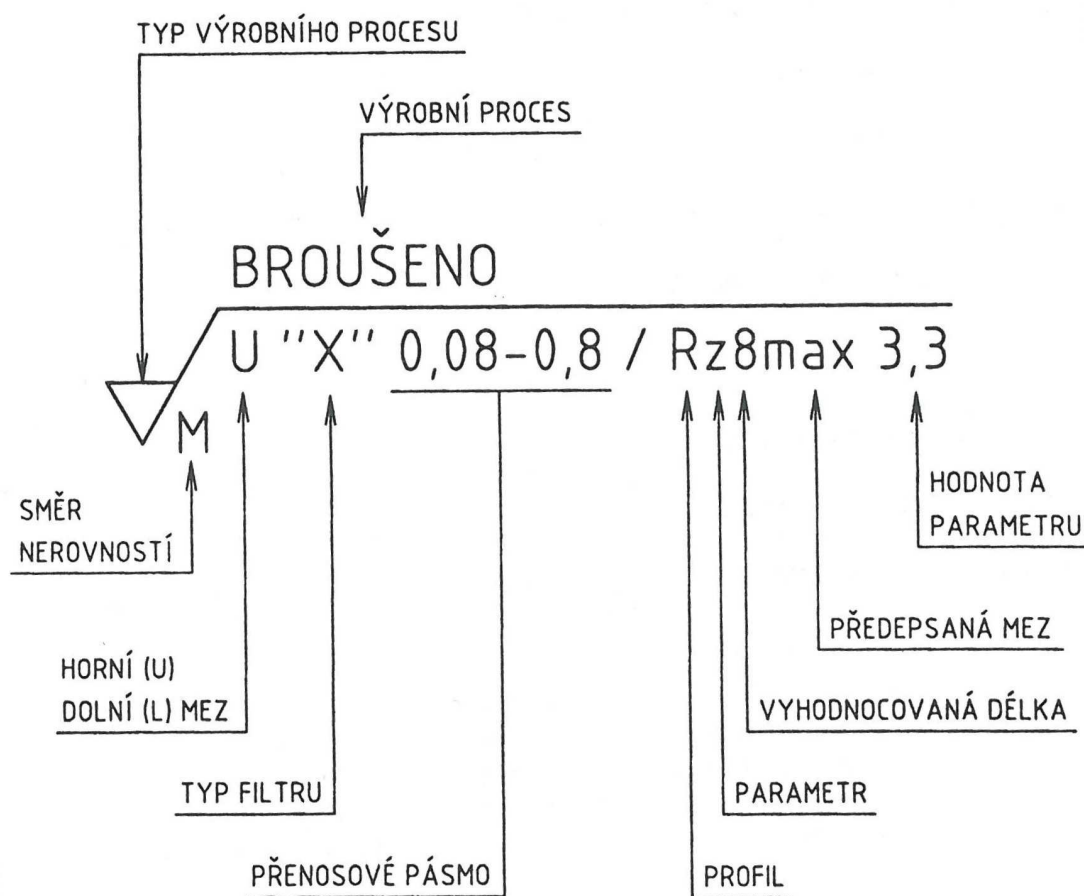
- procentuální podíl součtu délek materiálových přímek **MI (c)** v dané výšce profilu k měřené délce **ln**
- křivka podílu materiálu udává podíl materiálu jako funkci hladiny (výšky) řezu
- je doporučeno měřit nosný podíl v jedné výšce řezu relativně k výšce referenčního řezu **c0**. Výška referenčního řezu je dána posunutím vztahné čáry do profilu k definovanému materiálovému podílu („umělý záběh“) [7]



Obr. 2.15: Grafická interpretace Rmr (c) [7]



2.2 Označování na výkresech



Obr. 2.16: Kontrolní prvky předpisu požadavků na strukturu povrchu [5]

3 Tolerance geometrické přesnosti

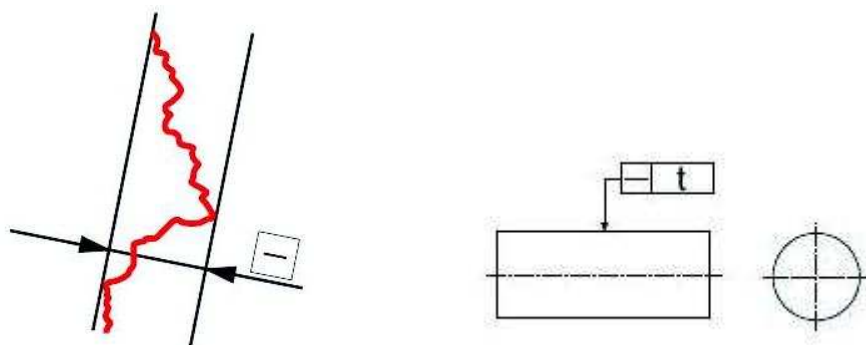
V následující tabulce *Tab. 3.1* je uveden přehled geometrických tolerancí podle normy. Sloupce ČSN a ISO uvádějí zkratku pro označování tolerance v textu, poslední sloupec znázorňuje značku jednotlivých tolerancí pro označování na výkrese. Značky v *Tab. 3.1* a definice v další kapitole jsou dle **ČSN EN ISO 1101 : 2007**. [2]

Tab. 3.1: Tolerance geometrické přesnosti [2]

Název		ČSN	ISO	Značka
Tolerance vztahující se k jednomu prvku				
Tvaru	Přímosti	TFL	ST, STR	—
	Rovinnosti	TFE	FL, FLA	
	Kruhovitosti	TFK	CR, CIR	
	Válcovitosti	TFZ	CY, CYL	
	Profilu podélného řezu	TFP	-	≡
Tolerance vztahující se k jednomu prvku nebo dvěma (a více) prvkům				
Tvaru	Tvaru čáry	TCL	PL, PFL	
	Tvaru plochy	TCE	PS, PFS	
Tolerance vztahující se ke dvěma nebo více prvkům				
Směru	Sklonu	TPN	AN, ANG	
	Kolmosti	TPR	PE, PER	
	Rovnoběžnosti	TPA	PA, PAR, PRL	
	Různoběžnosti	TPX	-	
Polohy	Souososti	TPC	CA, CAX, COA	
	Soustřednosti	-	CO, CON	
	Umístění	TPP	PO, POS	
	Souměrnosti	TPS	SY, SYM	≡
Házení	Kruhového házení obvodového	TCR	CR, CRO	
	Kruhového házení čelního	TCA	AR, ARO	
	Házení v daném směru	TCD	-	
	Celkového házení obvodového	TCTR	TR, TRO	
	Celkového házení čelního	TCTA		

3.1 Přímost

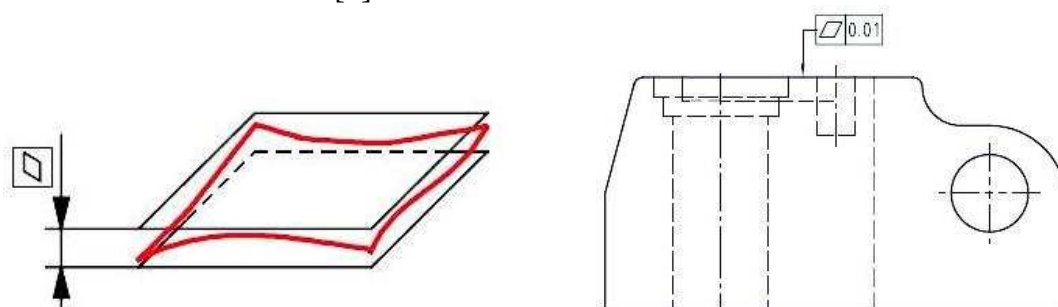
Toleranční pole je omezeno **dvěma rovnoběžnými přímkami** ve vyznačeném směru vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance přímosti. [9]



Obr. 3.1: Toleranční pole přímosti a znázornění na výkrese [9]

3.2 Rovinnost

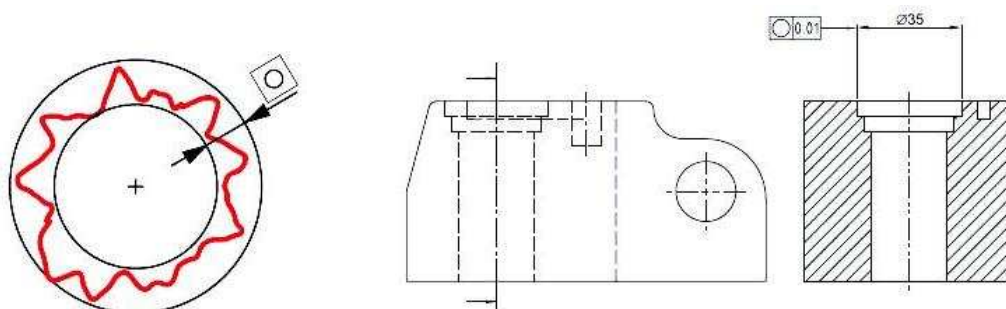
Toleranční prostor je omezen **dvěma rovnoběžnými rovinami** vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance rovinnosti. [8]



Obr. 3.2: Toleranční pole rovinnosti a znázornění na výkrese [8]

3.3 Kruhovitost

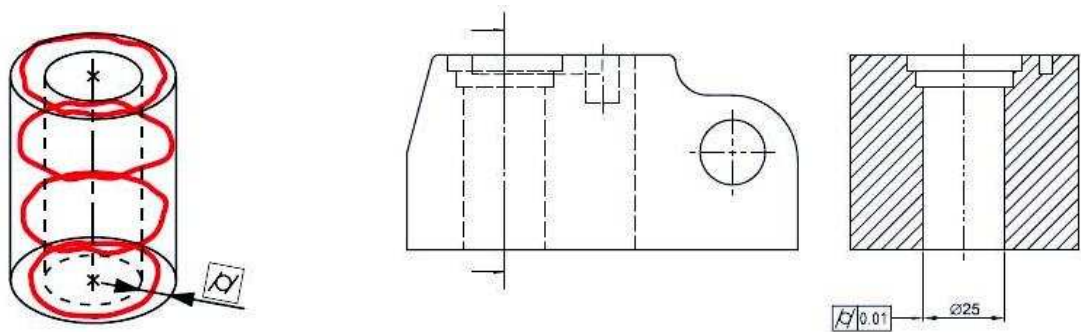
Toleranční pole je omezeno v dané rovině průřezu **dvěma soustřednými kružnicemi** vzdálenými od sebe o šířku mezikruží rovnou toleranci kruhovitosti. [8]



Obr. 3.3: Toleranční pole kruhovitosti a znázornění na výkrese [8]

3.4 Válcovitost

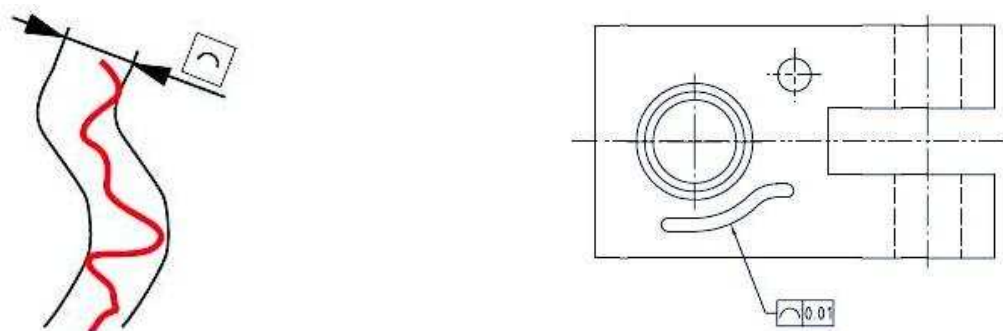
Toleranční prostor je omezen **dvěma souosými válci** vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance válcovitosti. [8]



Obr. 3.4: Toleranční pole válcovitosti a znázornění na výkrese [8]

3.5 Tvar čáry

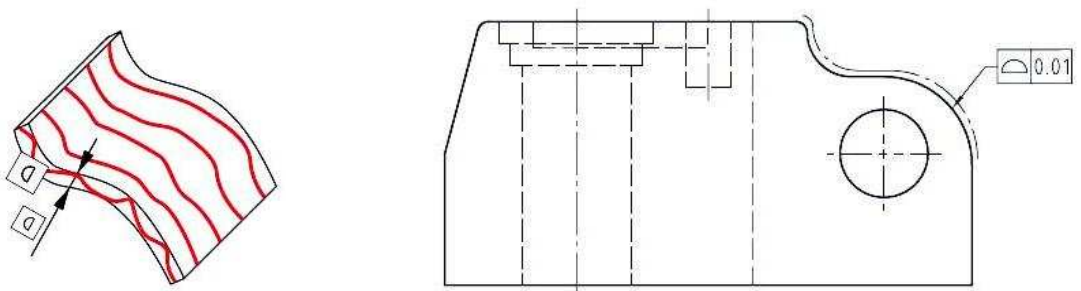
Toleranční pole tvaru čáry je omezeno v rovině **dvěma čarami** ekvidistantními ke jmenovitému tvaru čáry. [8]



Obr. 3.5: Toleranční pole tvaru čáry a znázornění na výkrese [8]

3.6 Tvar plochy

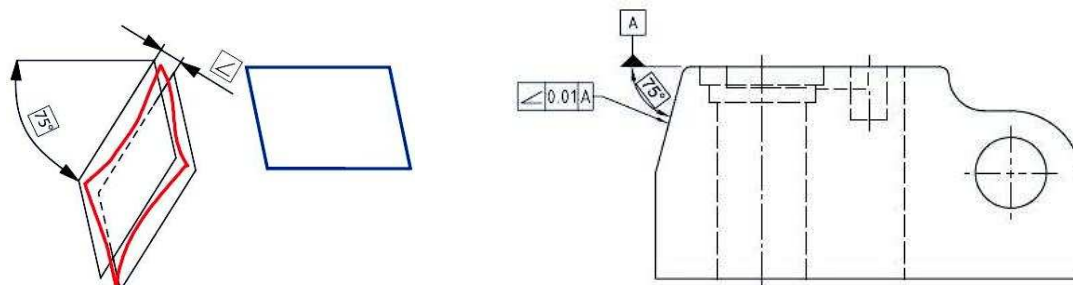
Toleranční pole tvaru plochy je omezeno v prostoru **dvěma plochami** ekvidistantními ke jmenovitému tvaru plochy. [8]



Obr. 3.6: Toleranční pole tvaru plochy a znázornění na výkrese [8]

3.7 Sklon

Toleranční prostor je omezen **dvěma rovnoběžnými rovinami** vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance sklonu a svírající se základní rovinou nebo se základní přímkou jmenovitý úhel. [8]

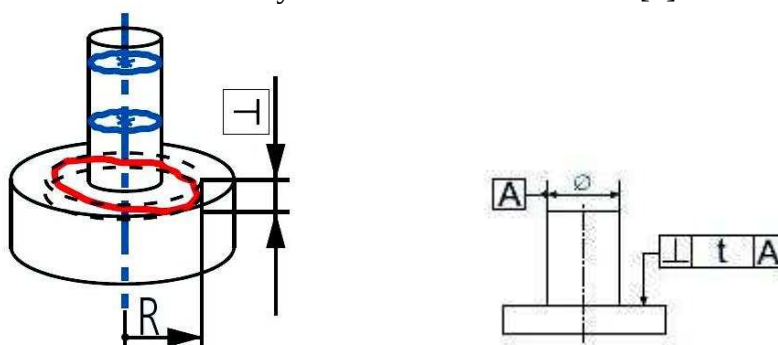


Obr. 3.7: Toleranční pole sklonu a znázornění na výkrese [8]

3.8 Kolmost

3.8.1 Referenční element osa

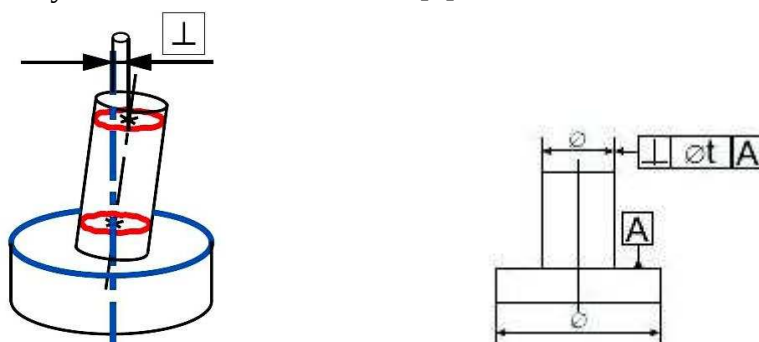
Toleranční prostor je omezen **dvěma rovnoběžnými rovinami** vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance kolmosti a kolmými k základní vztažné ose. [9]



Obr. 3.8: Toleranční pole kolmosti k ose a znázornění na výkrese [9]

3.8.2 Referenční element rovina

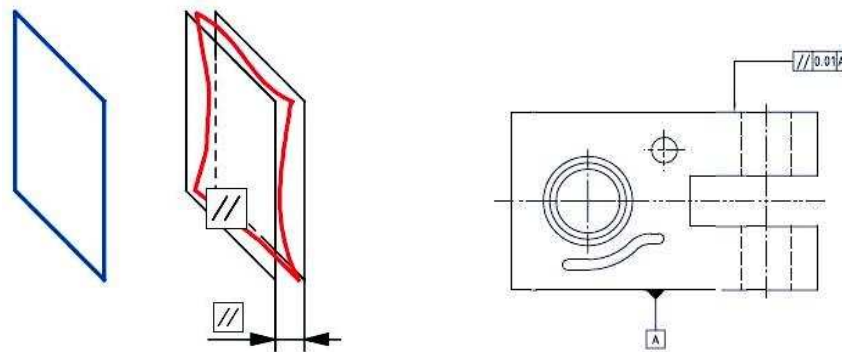
Toleranční prostor je omezen **válcem**, jehož průměr se rovná hodnotě tolerance kolmosti a je kolmý k základní vztažné rovině. [9]



Obr. 3.9: Toleranční pole kolmosti k rovině a znázornění na výkrese [9]

3.9 Rovnoběžnost

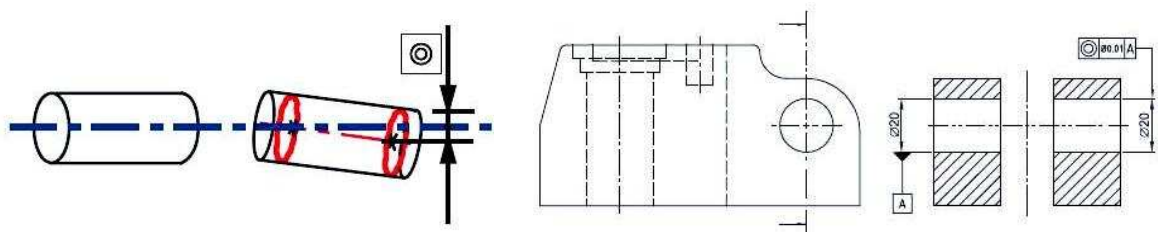
Toleranční prostor je omezen **dvěma rovnoběžnými rovinami** vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance rovnoběžnosti a rovnoběžnými se základní rovinou. [8]



Obr. 3.10: Toleranční pole rovnoběžnosti a znázornění na výkrese [8]

3.10 Souosost

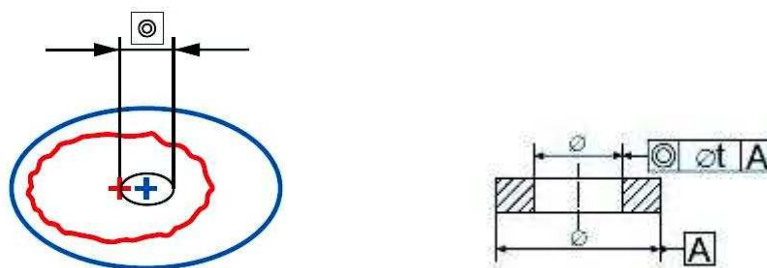
Je-li hodnota tolerance předznamenána značkou průměru, je toleranční prostor omezen **válcem** o průměru rovném toleranci souososti a jeho osa se shoduje se základní osou. [8]



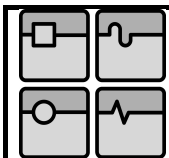
Obr. 3.11: Toleranční pole souososti a znázornění na výkrese [8]

3.11 Soustřednost

Toleranční pole, v němž může ležet střed tolerovaného prvku, je **kruhové** o průměru rovném předepsané toleranci soustřednosti. Střed kruhu je přitom ve středu základního prvku. [9]

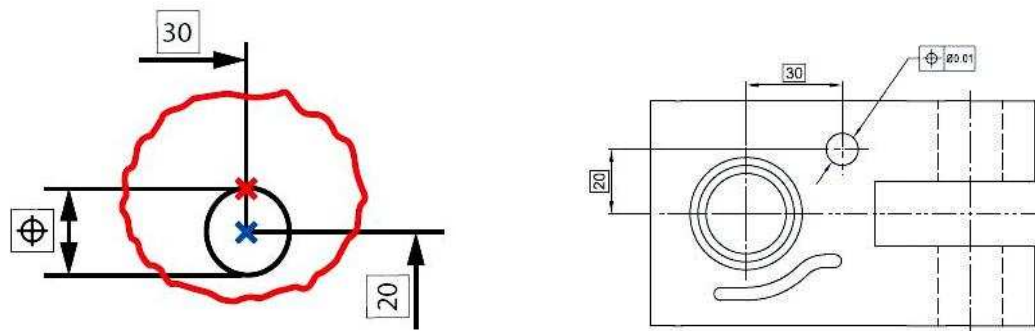


Obr. 3.12: Toleranční pole soustřednosti a znázornění na výkrese [9]



3.12 Umístění

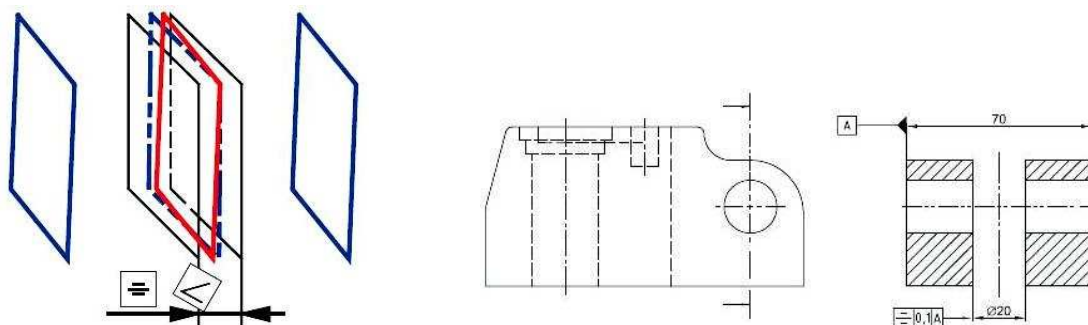
Je-li hodnota tolerance předznamenána značkou průměru, je toleranční prostor omezen **kružnicí** o průměru rovném toleranci umístění. [8]



Obr. 3.13: Toleranční pole umístění a znázornění na výkrese [8]

3.13 Souměrnost

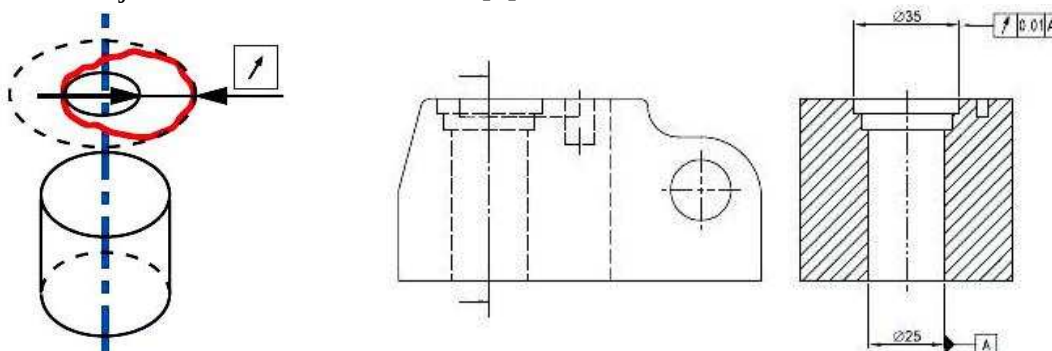
Toleranční prostor je omezen **dvěma rovnoběžnými rovinami** vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance rovnoběžnosti a rovnoběžnými se základní rovinou. [8]



Obr. 3.14: Toleranční pole souměrnosti a znázornění na výkrese [8]

3.14 Obvodové házení

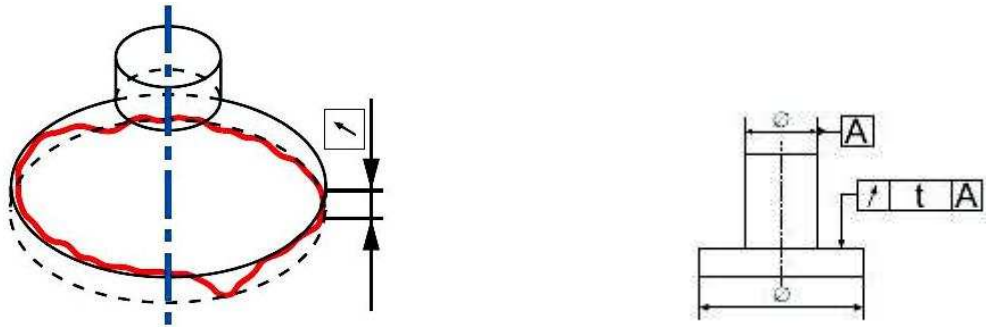
Toleranční pole v kterékoliv rovině kolmé k ose je omezeno **dvěma soustřednými kružnicemi** vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance házení v kterékoliv radiální poloze na válci, jehož osa je totožná se základní osou. [8]



Obr. 3.15: Toleranční pole obvodového házení a znázornění na výkrese [8]

3.15 Čelní házení

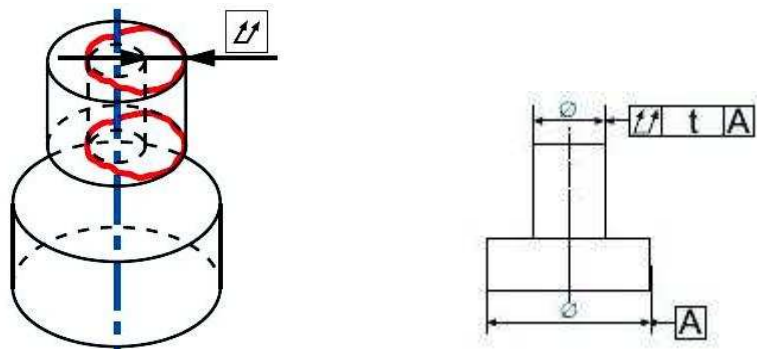
Toleranční pole je omezeno **dvěma kružnicemi** vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance házení v kterékoliv radiální poloze na válci, jehož osa je totožná se základní osou. [9]



Obr. 3.16: Toleranční pole čelního házení a znázornění na výkrese [9]

3.16 Celkové obvodové házení

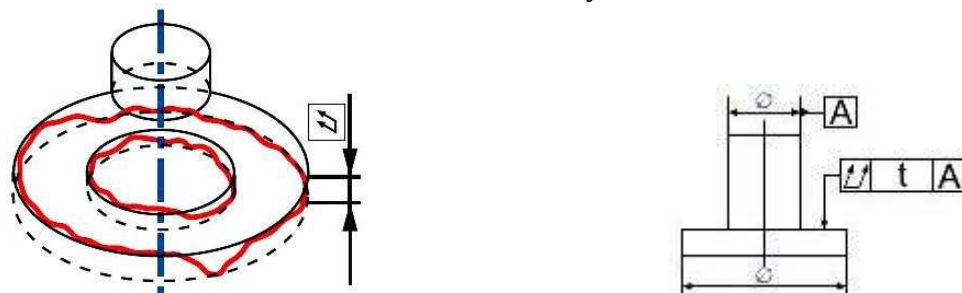
Toleranční prostor je omezen **dvěma souosými válci** vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance celkového obvodového házení a jejichž osa je totožná se základní osou. [9]



Obr. 3.17: Toleranční pole celkového obvodového házení a znázornění na výkrese [9]

3.17 Celkové čelní házení

Toleranční prostor je omezen **dvěma rovnoběžnými rovinami** vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance celkového čelního házení a kolmými k základní ose. [9]



Obr. 3.18: Toleranční pole celkového čelního házení a znázornění na výkrese [9]

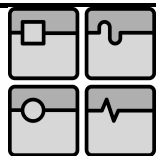
4 Geometrická přesnost obráběcích strojů

Na výsledné geometrické přesnosti obrobku má velký podíl kromě opotřebení nástroje a jiných nežádoucích vlivů také samotná geometrická přesnost a teplotní stálost obráběcího stroje. Špatně nastavené vzájemné polohy funkčních částí stroje mohou mít negativní vliv na kvalitu vyráběné součásti.

Proto se také u obráběcích strojů zavádí **geometrické zkoušky přesnosti**, konkrétně přímosti, rovinnosti, rovnoběžnosti, kolmosti, kruhové interpolace apod. Na *Obr. 4.1* je vyobrazen systém na diagnostiku obráběcího centra prostřednictvím **kruhové interpolace**.

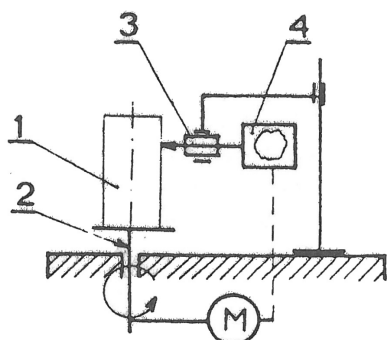


Obr. 4.1: Bezdrátový systém Renishaw Ballbar QC20-W [10]

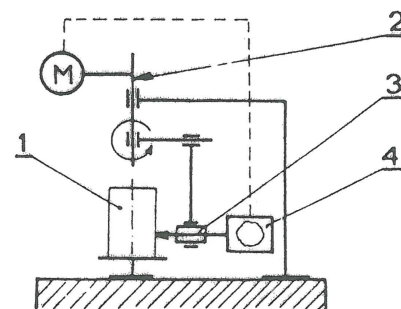


5 Zjednodušené metody měření vybraných geometrických tvarů

5.1 Kruhovitost



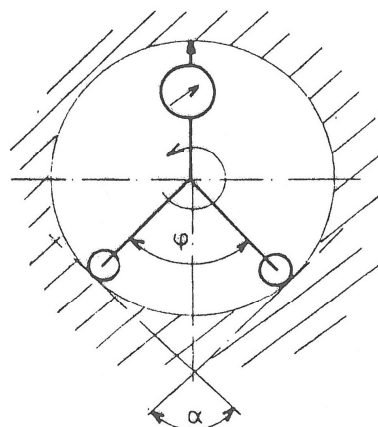
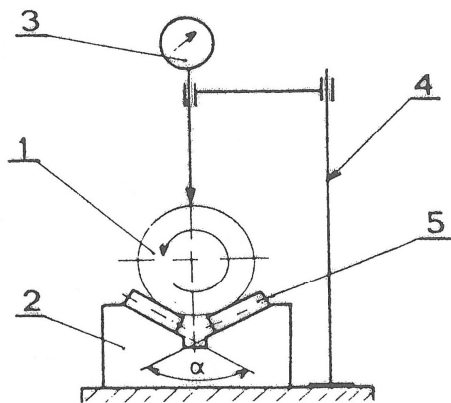
1 – měřená součást
2 – přesné vřeteno
3 – snímač
4 – polární zapisovač
M - motor



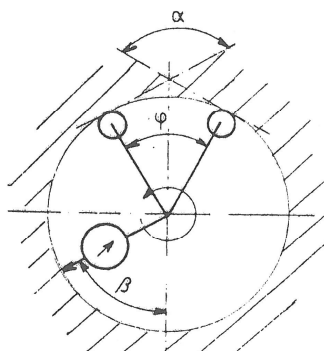
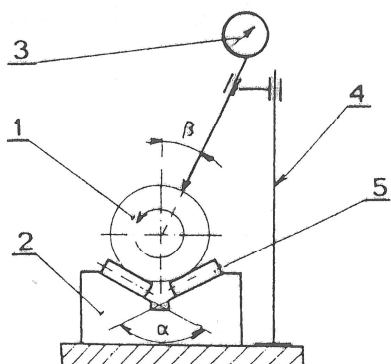
Obr. 5.2: Princip měření kruhovitosti s použitím speciálního přístroje s otočným snímačem [2]

Obr. 5.1: Princip měření kruhovitosti s použitím speciálního přístroje s otočným stolem [2]

Princip měření kruhovitosti pomocí **kruhoměrů** (Obr. 5.1 a Obr. 5.2) spočívá ve vystředění a ustavení měřeného objektu na stole měřicího zařízení, následným spojitým snímáním a zobrazení průběhu na diagramu. [2]



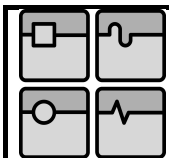
Obr. 5.3: Princip měření kruhovitosti v prizmatické podložce – symetrické uspořádání [2]



kde:

- 1 – měřená součást
- 2 – prizma
- 3 – úchylkoměr
- 4 – měřicí stojan
- 5 – válečky

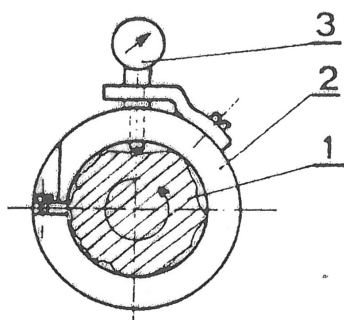
Obr. 5.4: Princip měření kruhovitosti v prizmatické podložce – nesymetrické uspořádání [2]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

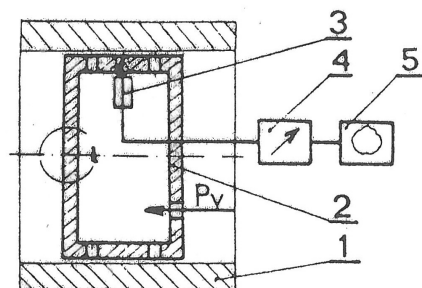
Princip měření kruhovitosti v prizmatické podložce (Obr. 5.3 a Obr. 5.4) spočívá v uložení součásti do prizmatu a následném snímání povrchu úchylkoměrem. Dále se určí hodnota $A = d_{\max} - d_{\min}$. Úchylka kruhovitosti se vypočítá pomocí vztahu $E_{FK} = A/F_a$, kde F_a je opravný koeficient, jenž je funkcí počtu nerovností po obvodu měřené součásti a úhlů α a φ nebo α , φ a β . [2]

Na obrázcích níže jsou vyobrazeny další postprocesní metody měření kruhovitosti pomocí speciálními přístroji.



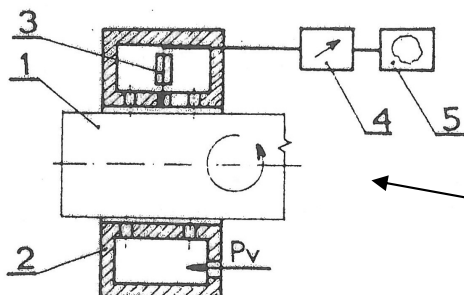
- 1 – měřená součást
- 2 – etalonový kroužek
- 3 – úchylkoměr

Obr. 5.5: Princip měření kruhovitosti s použitím etalonu kruhovitosti a úchylkoměru [2]



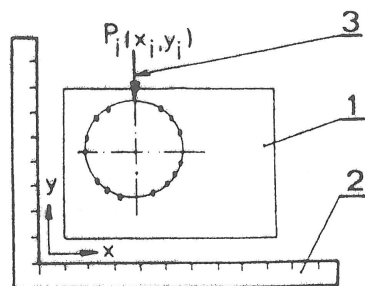
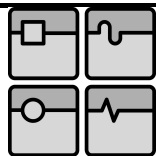
Měření vnitřní rotační plochy

- 1 – měřená součást
- 2 – snímací hlava
- 3 – snímač
- 4 – indikační přístroj
- 5 – polární zapisovač



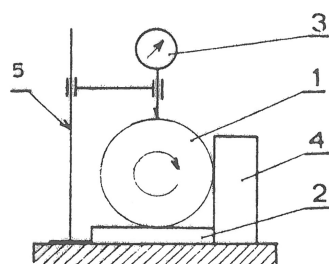
Měření vnější rotační plochy

Obr. 5.6: Princip měření kruhovitosti měřidlem s aerostatickým středěním a indikačním přístrojem [2]



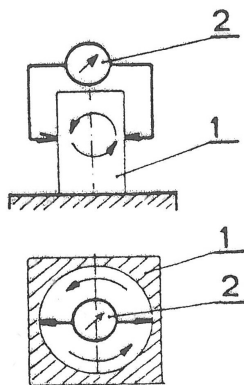
- 1 – měřená součást
- 2 – souřadnicový měřicí stroj
- 3 – snímací hlava souřadnicového měřicího stroje

Obr. 5.7: Princip měření kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji [2]



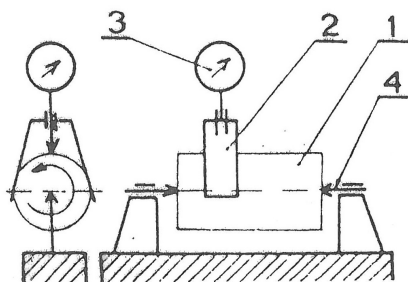
- 1 – měřená součást
- 2 – pevná podložka
- 3 – indikační přístroj
- 4 – boční doraz
- 5 – měřicí stojan

Obr. 5.8: Princip měření kruhovitosti na základě měření průměru spojitě (dvoubodovým měřením) [2]



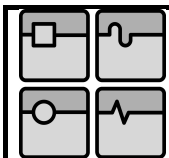
- 1 – měřená součást
- 2 – měřidlo na průměry

Obr. 5.9: Princip měření kruhovitosti na základě měření průměru nespojitě (dvoubodovým měřením) [2]



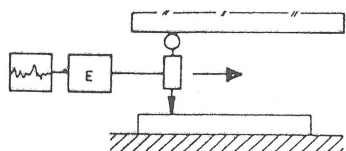
- 1 – měřená součást
- 2 – nasazovací přípravek
- 3 – úchylkoměr
- 4 – hrotový přístroj

Obr. 5.10: Princip měření kruhovitosti nasazovacím přípravkem [2]

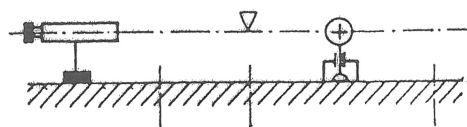


5.2 Přímost

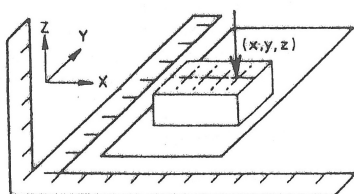
Měření přímosti se většinou provádí různými kombinacemi jednoduchých přístrojů, například **úchylkoměry s průměrnými pravítky**. Stranou však nejdou ani klasické **souřadnicové měřicí stroje** či **laserové interferometry**. Schémata těchto metod jsou zobrazena níže.



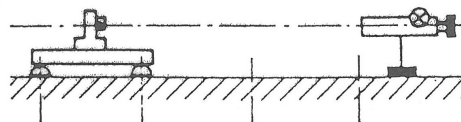
Obr. 5.11: Princip měření přímosti speciálními přístroji [2]



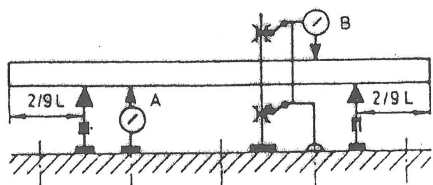
Obr. 5.16: Princip měření přímosti zaměřovacím dalekohledem a záměrným terčem [2]



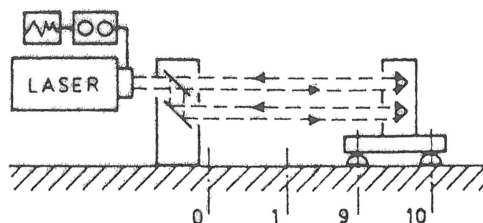
Obr. 5.12: Princip měření přímosti na souřadnicovém měřicím stroji [2]



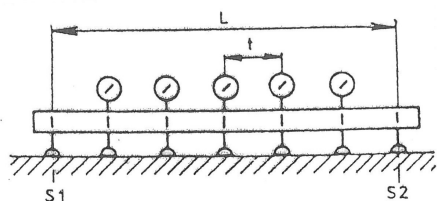
Obr. 5.17: Princip měření přímosti dvoubodovým měřicím můstkem a autokolimátorem [2]



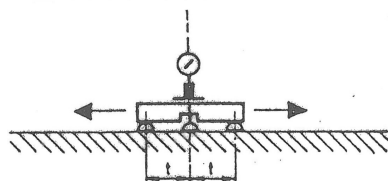
Obr. 5.13: Princip měření přímosti úchylkoměrem od průměrného pravítka [2]



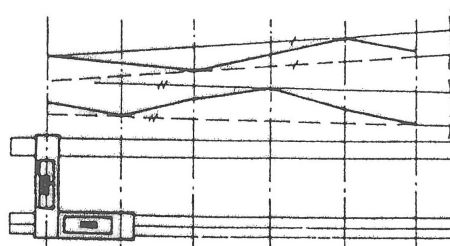
Obr. 5.18: Princip měření přímosti dvoubodovým měřicím můstkem a laserovým interferometrem pro měření sklonu [2]



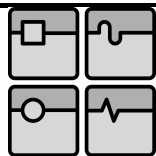
Obr. 5.14: Princip měření přímosti komparačním měřidlem s několika úchylkoměry [2]



Obr. 5.15: Princip měření přímosti dvoubodovým měřicím můstkem s úchylkoměrem ve střední poloze [2]

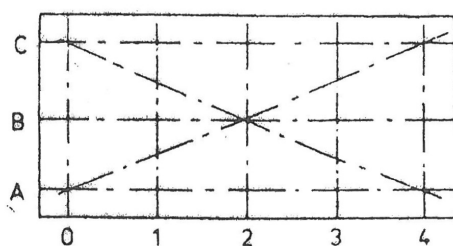


Obr. 5.19: Princip měření přímosti tříbodovým měřicím můstkem s libelou [2]

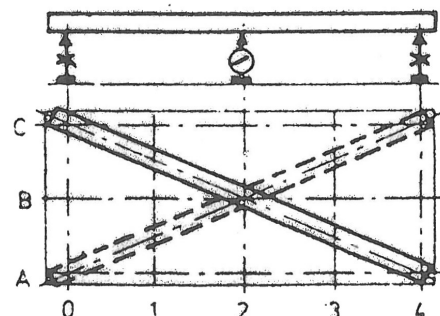


5.3 Rovinnost

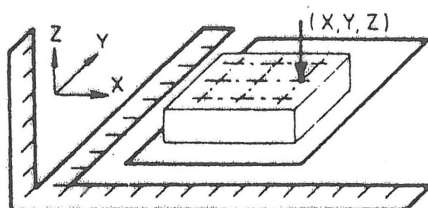
Následující obrázky znázorňují základní metody postprocesního měření rovinnosti obrobku. Je u nich využíváno **úchylkoměrů** (Obr. 5.23, Obr. 5.24), **koncových měrek** (Obr. 5.22), **optiky** (Obr. 5.25) a **souřadnicových měřicích strojů** (Obr. 5.21).



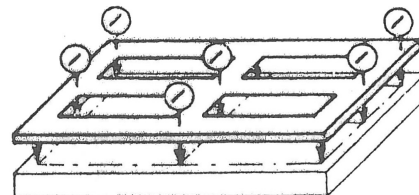
Obr. 5.20: Princip měření rovinnosti využitím metod měření přímosti [2]



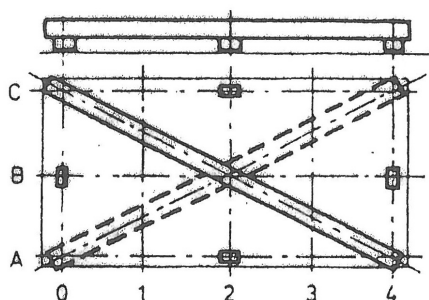
Obr. 5.23: Princip měření rovinnosti úchylkoměrem od průměrného pravítka [2]



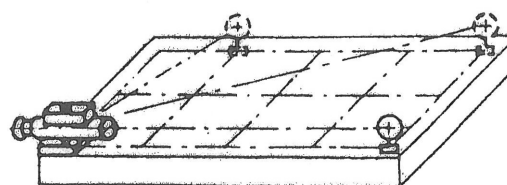
Obr. 5.21: Princip měření rovinnosti na souřadnicovém měřicím stroji [2]



Obr. 5.24: Princip měření rovinnosti rámem s úchylkoměry [2]



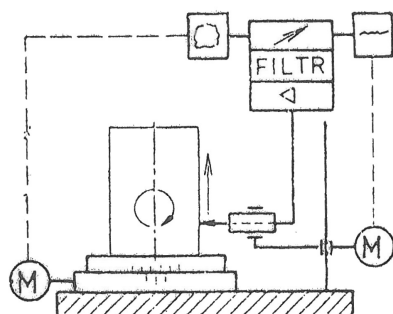
Obr. 5.22: Princip měření rovinnosti koncovými měrkami od průměrného pravítka [2]



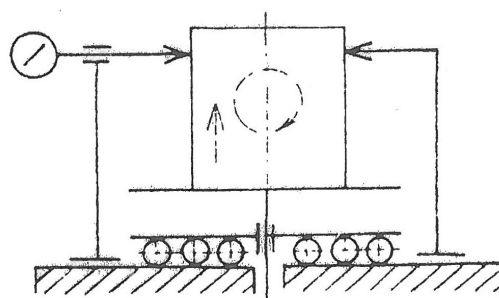
Obr. 5.25: Princip měření rovinnosti zaměřovacím dalekohledem s libelou a se záměrným terčem [2]

5.4 Válcovitost

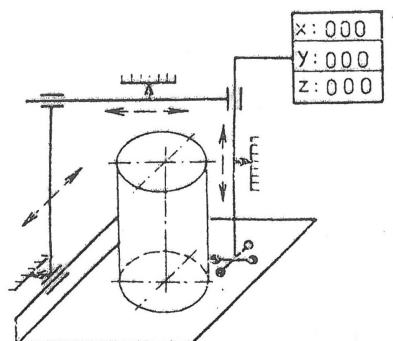
Na následujících obrázcích jsou vyobrazena schémata základních postprocesních metod měření válcovitosti obrobku. Tyto metody jsou nejčastěji aplikovány na **hřídelích, čepech** a dalších rotačních součástích.



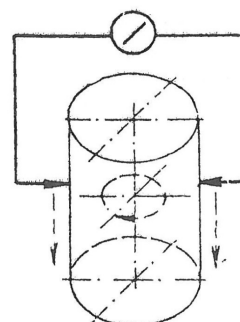
Obr. 5.26: Princip měření válcovitosti přístrojem pro měření úchylek tvaru [2]



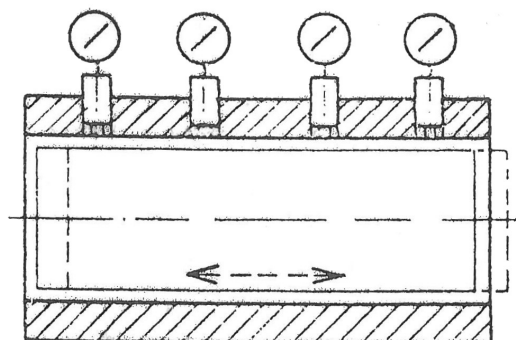
Obr. 5.28: Princip měření válcovitosti na stacionárním dvoubodovém měřicím přístroji [2]



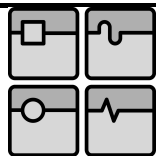
Obr. 5.27: Princip měření válcovitosti na souřadnicovém měřicím stroji [2]



Obr. 5.29: Princip měření válcovitosti ručním dvoubodovým měřidlem průměru [2]



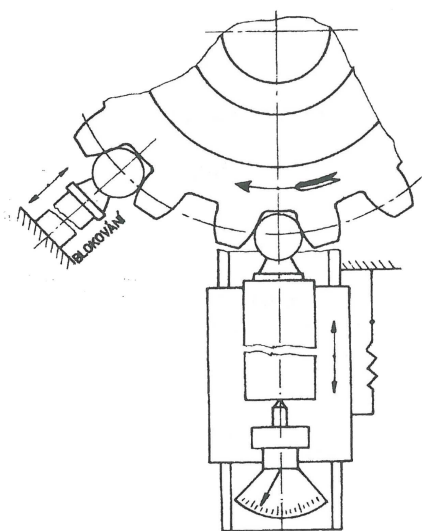
Obr. 5.30: Princip měření válcovitosti měřidlem s aerostatickým středěním [2]



6 Schémata základních metod měření ozubených kol

Přístroje na měření ozubených kol lze rozdělit například podle třídy jejich přesnosti, podle velikosti měřených rozměrů a dalších kritérií. Další kritéria nám je mohou rozdělit např. na přístroje na měření čelních ozubených kol, šnekových kol, šneku, na stolní a příložené přístroje apod. [2]

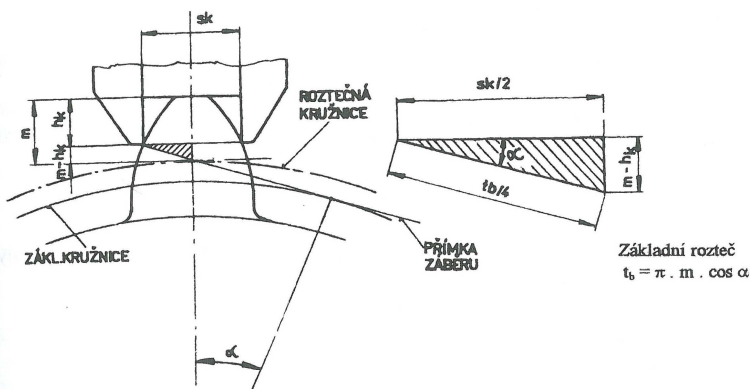
Kromě souřadnicových měřicích strojů existuje v dnešní době řada speciálních přístrojů, které jsou schopny měřit ozubení již z komplexního hlediska a vynikají především ve své rychlosti a přesnosti měření. Avšak ne každý výrobce ozubení si tento způsob kontroly může z finančního hlediska dovolit. Proto hodně firem měří ozubení na souřadnicových měřicích strojích a hlavně zůstává u starších, ale osvědčených metod. Část těchto základních metod je shrnuta níže.



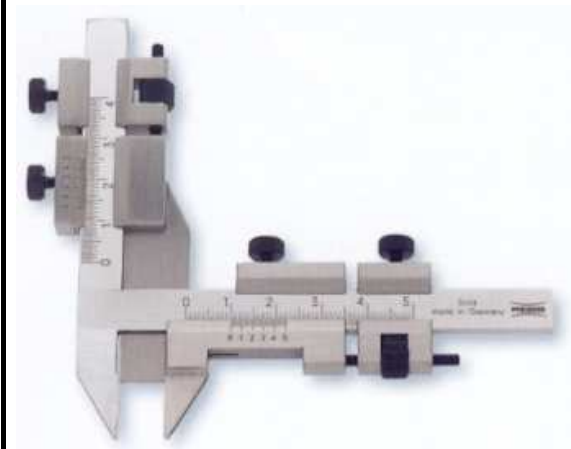
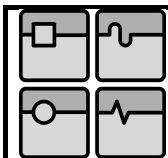
Měření obvodového házení roztečné kružnice je jinými slovy měření polohy roztečné kružnice vůči ose. Jestliže se u ozubení objeví obvodové házení, projevuje se nejčastěji rázy a zvýšenou hlučností. Princip měření na univerzálním zuboměru (Obr. 6.1) spočívá v měření jednotlivých zubových mezer kulovým dotekem na úchylkoměru vzhledem k referenční zubové mezeře. Průměr kulového doteku se volí na základě velikosti modulu ozubeného kola. Jednotlivé úchytky se následně zpracují do polárního diagramu, kde je maximální úchytky dána největší a nejmenší naměřenou hodnotou. [1]

Obr. 6.1: Měření házení na zuboměru ZEISS [1]

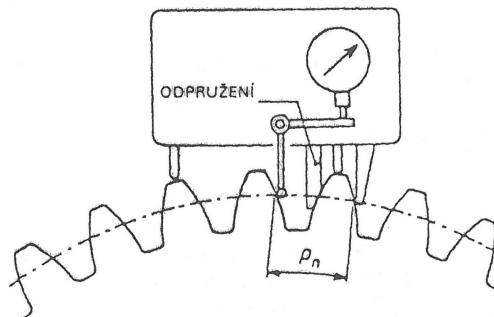
Měření tloušťky zubu v konstantní výšce se provádí pomocí zuboměru (Obr. 6.2), který pracuje na principu dvou posuvných měřítek. Svislým se odměří konstantní výška a podélným jednotlivé tloušťky zubu. Postup spočívá ve výpočtu jmenovitých hodnot, následném měření skutečných hodnot a v porovnání s tolerančním polem. Kromě klasického zuboměru je možno použít také speciální optický zuboměr s vyšší přesností. Nevýhodou této metody je závislost na přesnosti hlavové kružnice ozubení. Mezi výhody lze zařadit jednoduchost a možnost měření přímo na stroji při výrobě. [1]



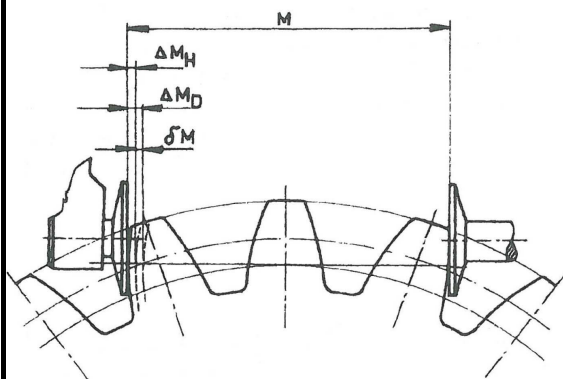
Obr. 6.2: Měření tloušťky zubu v konstantní výšce [1]



Obr. 6.3: Zuboměr PREISSER [23]

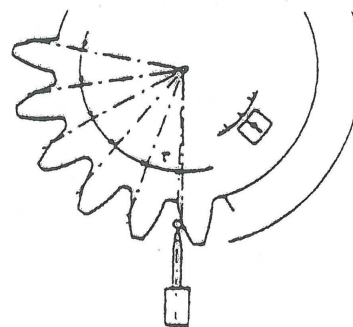


Obr. 6.4: Přenosný komparátor na měření úchylky normální rozteče [2]

Obr. 6.5: Princip měření M [1]

Kontrola míry přes zuby je nejrozšířenější metodou pro stanovení boční vůle ozubení. Kontroluje se buďto *posuvným měřítkem*, *tolerančním kalibrem*, nebo dalšími *speciálními přístroji*. Nejklasičtější je však kontrola pomocí **mikrometru s talířovými doteky** (Obr. 6.5). Jmenovitý rozměr míry přes zuby M je délka společné kolmice při jmenovité poloze základního profilu a vzdálenosti os. Princip měření spočívá především ve stanovení počtu zubů, přes které se měří (minimálně však dva) a několika základních výpočtech. Dále se na tečně k základní kružnici poblíž roztečné kružnice proměří 4x – 6x po obvodě kola rozměr míry přes zuby. Z počtu měření se vypočítá průměr a porovná s vypočtenými hodnotami dle tabulek. [1]

Měření roztečí se provádí většinou buď *komparátorem* se dvěma doteky, nebo *úhlovým indexovacím přístrojem* s jedním dotekem. U ozubení se nejčastěji měří čelní, normální a základní rozteč. Při měření čelní rozteče indexovou metodou (Obr. 6.6) se pomocí měřicí hlavy stanoví rozdíl mezi skutečnou a teoretickou polohou doteku, jenž představuje úchylku boku zubu. [2]



Obr. 6.6: Měření čelní rozteče úhlovou indexovou metodou [2]

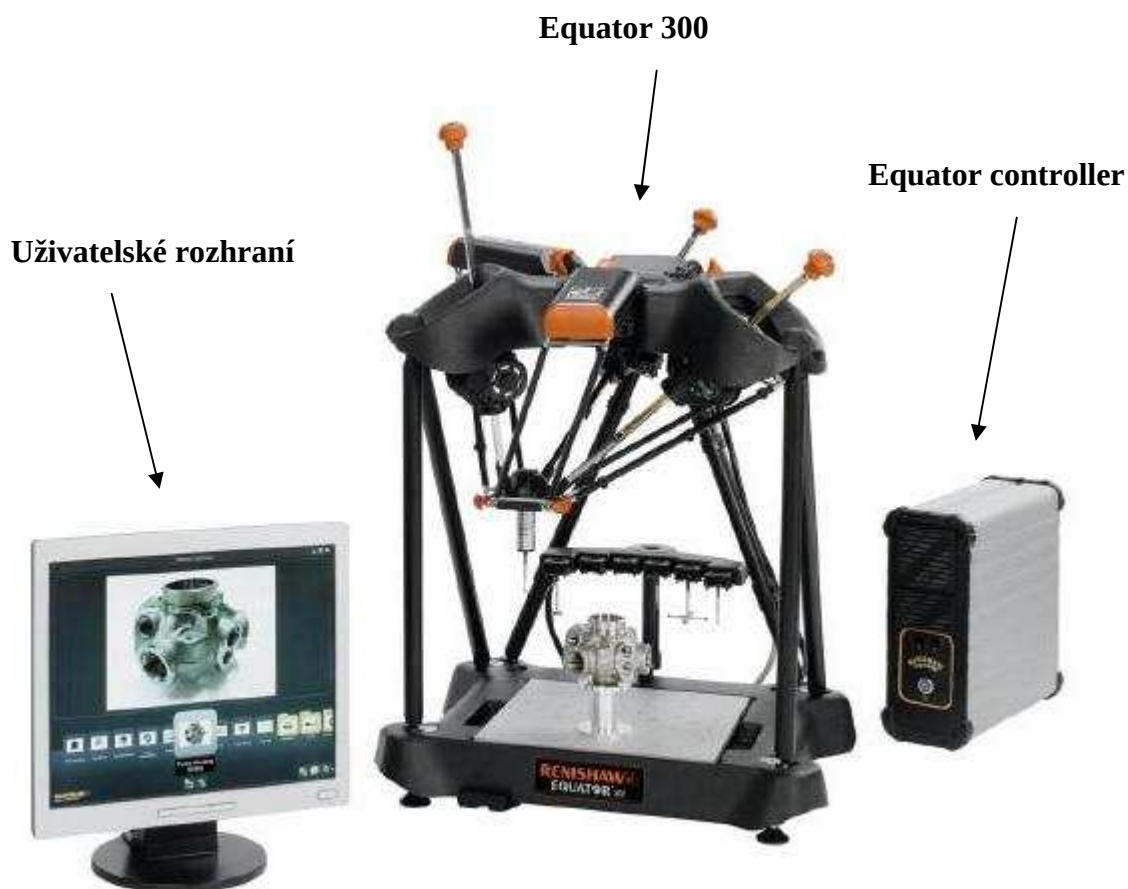
7 Inprocesní měřicí systémy a zařízení

Možnost komplexního měření součástí vždy usnadňuje a především urychluje výrobní proces, což má za následek rovněž úsporu nákladů na výrobu, obsluhu i energie. Současnou novinkou na trhu v této oblasti je unikátní měřicí systém **Equator** anglické firmy **Renishaw**.

7.1 Renishaw Equator 300

Jedná se o **porovnávací zařízení**, které je schopno měřit širokou škálu součástí. Equator může být aplikován přímo do výrobní linky či obráběcího centra a v kombinaci s robotizovanou manipulací je výsledkem plně automatizovaný proces. Výsledky měření lze rovněž použít pro korekci nástroje, což zpřesňuje samotnou výrobu.

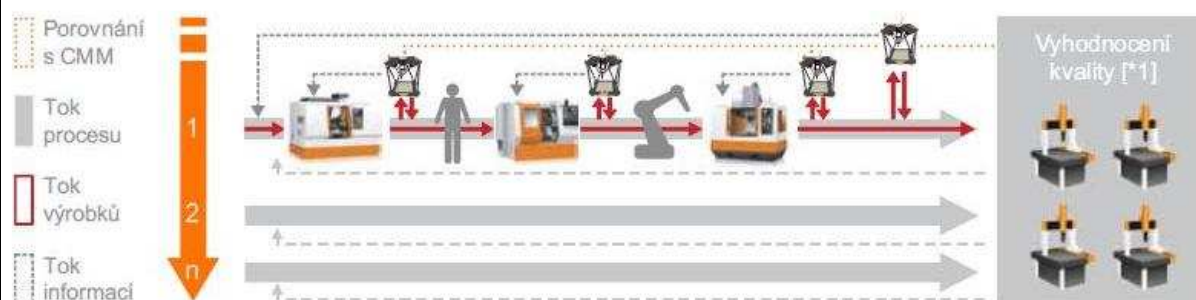
Přístroj se vyznačuje skvělou tuhostí, jež zaručuje vysokou opakovatelnost i při vysokorychlostním skenování a rychlých přejezdech z bodu do bodu. K měření se používá kompaktní skenovací sonda Renishaw **SP25** a uživatelské rozhraní **MODUS Organizer**. Flexibilita je zajištěna výměnným zásobníkem, který pojme až šest různých konfigurací dotyků. Pro definici referenčního dílu není třeba vyrábět velmi přesné a nákladné díly, Equator je kompatibilní s výsledky měření z jakéhokoliv souřadnicového měřicího stroje. [10]



Obr. 7.1: Renishaw Equator 300 [10]

Tab. 7.1: Technické parametry – Renishaw Equator 300 [10]

Pracovní prostor	X Y Ø 300 mm Z 150 mm
Nejistota porovnání	±0,002 mm
Maximální rychlost skenování	100 mm/s
Maximální rychlost pohybu	500 mm/s
Počet sejmutých bodů	1000 bodů/s
Rozlišení měřítka	0,0002 mm
Požadavek na upnutí	±1 mm
Požadavek na přívod vzduchu pro zařízení	Vzduch není zapotřebí
Rozsah pracovních teplot	+10 °C ÷ +40 °C
Rozsah skladovacích teplot	-25 °C ÷ +70 °C
Provozní rozsah relativní vlhkosti	20 ÷ 80 %
Požadavky na elektrické napájení stroje	100 ÷ 240 V AC ±10%, 50 ÷ 60 Hz
Maximální spotřeba elektrické energie	750 W
Typická spotřeba elektrické energie	110 W
Typ sondy	Tříosá skenovací sonda Renishaw SP25
Upínací deska	305 mm x 305 mm hliníková
Maximální hmotnost obrobku	25 kg
Hmotnost přístroje	25 kg
Rozměry přístroje (š x h x v)	(570 mm x 500 mm x 700) mm



Obr. 7.2: Možnost zabudování do výroby [10]

Výhody:

- vysoká opakovatelnost a vysokorychlostní skenování
- snadná instalace a ovládání
- možnost plné automatizace ve výrobním procesu
- flexibilita
- tepelná stabilita
- kompatibilita s výsledky měření na souřadnicovém měřicím stroji
- jednotka Equator controller – není potřeba PC
- rychlá výměna dotyků [10]

7.2 Dotykové sondy pro obráběcí stroje

Měření pomocí dotykových sond, upevněných přímo na obráběcím stroji, přináší spoustu výhod. Tyto sondy jsou schopny změřit rozměry samotného obrobku během výrobního procesu i po něm, správně ustavit dílec, a také automaticky opravit vzniklé chyby již během výrobního procesu, což rapidně zvyšuje výrobní časy, snižuje zmetkovitost a šetří peníze. Vývojem těchto sond se zabývá velké množství světových firem. Z nich je třeba zmínit především **Heidenhain** nebo **Renishaw**.

Firma Renishaw patří mezi světovou špičku ve vývoji spínacích nebo skenovacích dotekových sond jak pro obráběcí stroje, tak pro souřadnicové měřicí stroje. Firma vyrábí vysoce výkonné sondy pro nejrozličnější typy aplikací obráběcích strojů. Jedná se především o sondy s **optickým** a **rádiovým přenosem signálu**.

Nevýhodou optického přenosu signálu je fakt, že mezi sondou a přijímačem musí být zabezpečena přímá viditelnost. Tuto nevýhodu eliminují sondy s rádiovým přenosem signálu. Mezi ty nejnovější na trhu patří sonda **RMP600**. [10]



Obr. 7.3: Rádiová obrobková sonda Renishaw RMP600 [10]

Renishaw RMP600 (Obr. 7.3) je jednou z nejpřesnějších obrobkových sond současnosti. Používá přenos signálu **FHSS** (rozšíření frekvenčního spektra přepínáním kmitočtu). Výhodou je, že jestliže dojde k nějakému sebemenšímu rušení signálu, sonda i přijímač se automaticky přeladí na frekvenci, na které bude zajištěn přenos kvalitnější.

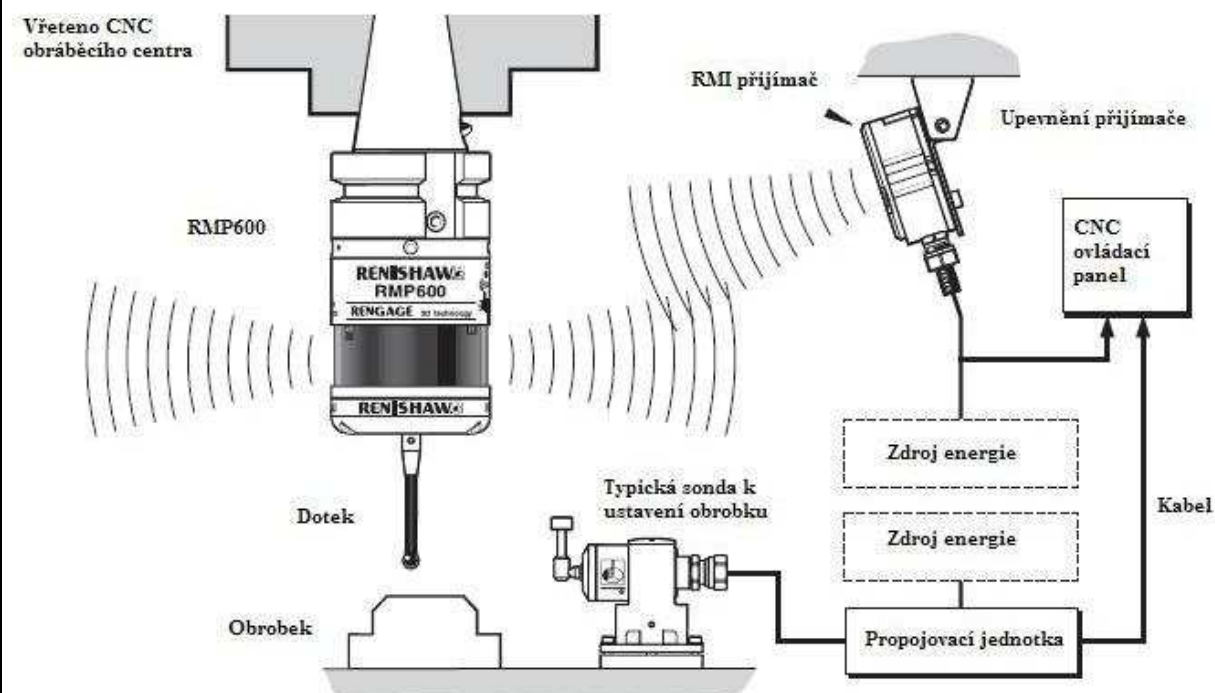
Sonda je schopna měřit komplexní geometrii součástí na všech velikostech obráběcích center, a to i těch pětiosých. Má tendenci odolávat i velice nepříznivým provozním podmínkám. Její vysokou přesnost a opakovatelnost má za následek inovativní technologie **RENGAGE**. [10]

Technologie RENGAGE

V nitru sondy se nachází **tenzometr**, který umožňuje detekovat nízké spínací síly, což má za následek menší přejezdy a rapidní zvýšení přesnosti. Princip je vyobrazen na Obr. 7.4, kde pozice **1** označuje strukturu sondy a pozice **2** tenzometr. [10]



Obr. 7.4: Technologie RENGAGE [10]



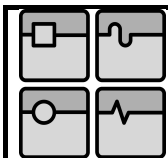
Obr. 7.5: Princip funkce sondy RMP600 [10]

Tab. 7.2: Technické parametry – RMP600 [10]

Délka	76 mm
Průměr	63 mm
Hmotnost (bez kužele)	Bez baterií: 940 g S bateriemi: 1010 g
Typ přenosu signálu	FHSS
Vysokofrekvenční kmitočet	2400 – 2483,5 MHz
Aktivace sondy	M-kódem přes rádiový signál, rotací sondy, spínačem v upínacím kuželu
Deaktivace sondy	M-kódem přes rádiový signál, časovačem po uplynutí doby, rotací, spínačem v upínacím kuželu
Pracovní dosah signálu	Až 15 m
Interface/přijímač	Jednotka RMI integrující interface a přijímač
Směry snímání	Víceměrové: $\pm X$, $\pm Y$, $+Z$
Opakovatelnost v jednom směru	0,25 μm – délka doteku 50 mm 0,35 μm – délka doteku 100 mm
2D deformace v ose X, Y	$\pm 0,25 \mu\text{m}$ (délka doteku 50 mm) $\pm 0,25 \mu\text{m}$ (délka doteku 100 mm)
3D deformace v osách X, Y, Z	$\pm 1,00 \mu\text{m}$ (délka doteku 50 mm) $\pm 1,75 \mu\text{m}$ (délka doteku 100 mm)
Spínací síla doteku - rovina XY	0,2 N, 20 gf (0,72 ozf)
Spínací síla doteku - směr +Z	1,9 N, 193 gf (0,72 ozf)
Síla přejetí polohy doteku (rovina XY)	2,8 N, 285 gf (10,07 ozf)
Síla přejetí polohy doteku - směr +Z	9,8 N, 999 gf (35,25 ozf)
Rychlost měření (minimální)	3 mm/min s auto-reset
Otáčky vřetena (maximální)	1000 ot/min
Zdvih doteku sondy	rovina XY $\pm 15^\circ$ směr +Z 11 mm
Počet a typ baterií	2 x alkalická nebo lithiová thionylchloridová baterie typu AA
Maximální životnost baterie	pohotovostní režim (rádio) 260 dnů 5% využití 120 dnů nepřetržitý provoz 230 hodin

Výhody:

- jednoduchá instalace
- kompaktnost a robustnost
- 3D měření součástí během výrobního procesu
- rádiový přenos signálu
- vynikající přesnost
- delší doteky bez snížení výkonu
- možnost použití více sond na jednom obráběcím centru
- automatická korekce chyb během obráběcího procesu [10]

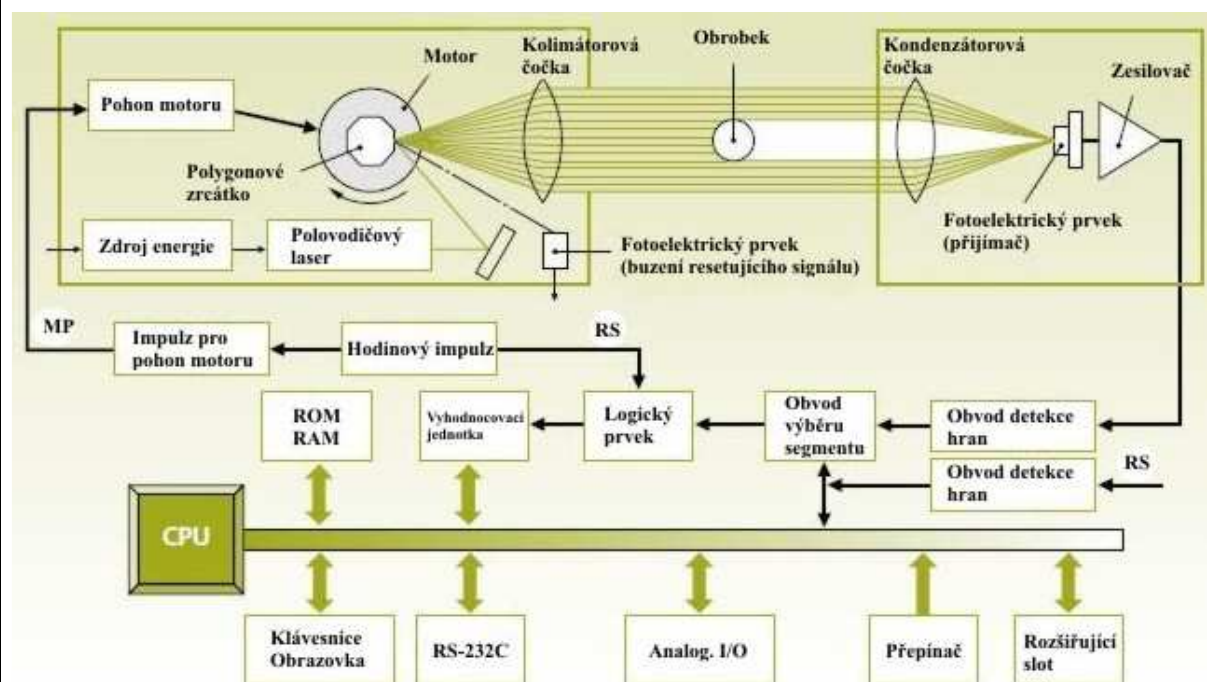


7.3 Laserové skenovací mikrometry

Laserové skenovací mikrometry lze zařadit mezi **bezkontaktní** způsoby měření. Jejich hlavní výhodou je možnost aplikace přímo do výrobního procesu a měření křehkých dílů o vysokých teplotách, a to i za chodu.

7.3.1 Princip

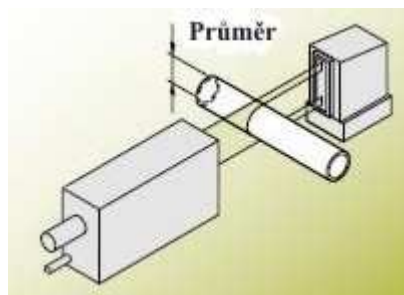
Laserový paprsek je směřován na zrcátko ve tvaru polygonu, jenž rotuje na vysokých otáčkách. Odražený paprsek od zrcátka je přes čočku veden přímo na obrobek, který přeruší část paprsků. Nepřerušené paprsky míří přes čočku dále do přijímače. Akumulované napětí na fotoelektrickém prvku přijímače je pak přímo úměrné množství dopadajícího světla paprsku. Následné časové impulzy vznikající při přerušení paprsku obrobkem, představují rozměr obrobku. [11]



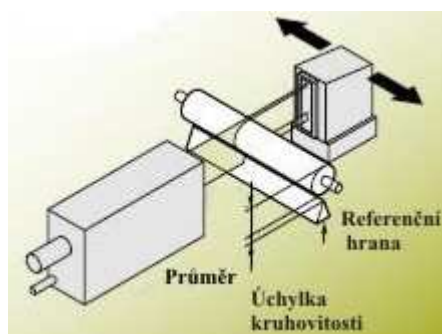
Obr. 7.6: Princip funkce laserového skenovacího mikrometru [11]

Možnosti měření

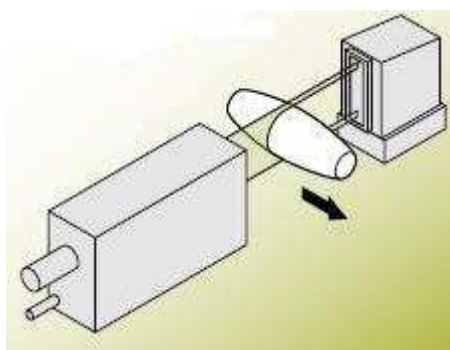
Laserové skenovací mikrometry mají široké uplatnění nejen ve strojírenství. Kromě měření magnetických desek, fólií a elektronických prvků se používají k odměřování průměrů, házení, kruhovitosti, vrcholového úhlu kužele, rozteče a dalších rozměrů. [11]



Obr. 7.7: Měření vnějšího průměru válcového obrobku [11]



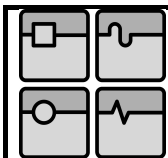
Obr. 7.8: Měření vnějšího průměru a kruhovitosti válcového obrobku [11]



Obr. 7.9: Měření tvaru obrobku [11]

7.3.2 Mitutoyo LSM-516S

Japonská firma **Mitutoyo** patří mezi hlavní světové výrobce měřicí techniky a přístrojů. Měření s jejich laserovým skenovacím mikrometrem (Obr. 7.10) je velmi přesné, dosahuje rychlosti až 3200 snímků za sekundu. Zařízení je schopno měřit širokou škálu rotačních součástí o rozměrech 1 až 160 mm. [11]



Obr. 7.10: Laserový skenovací mikrometr Mitutoyo LSM-516S [11]

Výsledky měření se následně dají odečítat na zobrazovacích jednotkách (Obr. 7.11) připojených na mikrometr, přičemž pro každý typ mikrometru je vhodná jen některá z možných zobrazovacích jednotek. [11]



Obr. 7.11: Zobrazovací jednotka Mitutoyo LSM-5200 [11]

Z dalších výrobců těchto přístrojů je možno zmínit například firmy **Keyence**, **Metralight** nebo **Takikawa**.

Výhody:

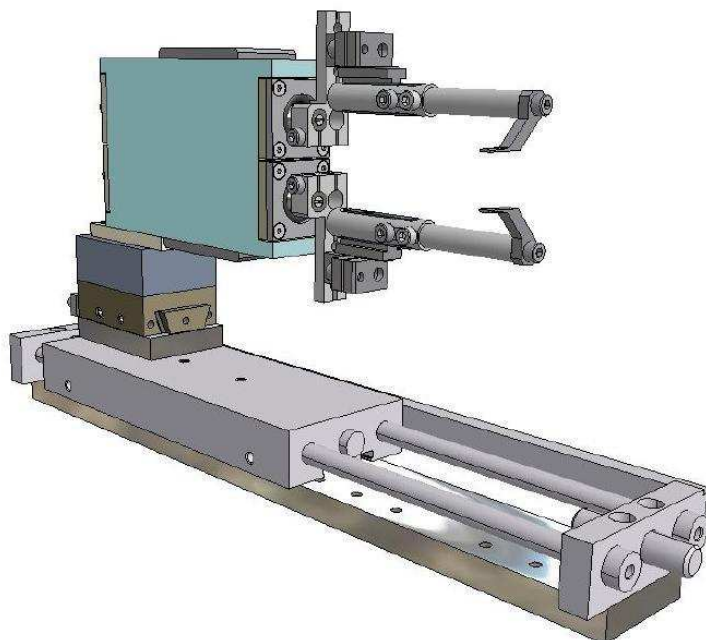
- vysoká přesnost v celém měřicím rozsahu
- měření křehkých materiálů
- měření za vysokých teplot
- široká řada měřených rozměrů
- vynikající opakovatelnost
- měření rotačních součástí [11]

Tab. 7.3: Technické parametry – LSM-516S [11]

Měřicí rozsah	1 ÷ 160 mm
Rozlišení (volitelné)	0,0001 ÷ 0,1 mm
Opakovatelnost	± 1,4 μm
Linearita při 20°C	± 7 μm na celém rozsahu ± (4.0 + 2,0ΔD) μm v úzkém rozmezí
Chyba polohování	± 8 μm
Měřicí oblast	(40 x 160 mm na ø1 ÷ 160 mm)
Počet snímků za sekundu	3200
Vlnová délka laseru	650 nm, viditelný
Skenovací rychlost laseru	603 m/s
Provozní teplota	0°C ÷ 40°C
Provozní vlhkost	35 ÷ 85% (bez kondenzace)
Stupeň ochrany	IP64
Hmotnost	cca 6 kg

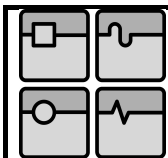
7.4 Sledovací měřidlo Amest EC-3

Česká společnost **Amest** se sídlem v Praze se zaměřuje na vývoj, konstrukci a výrobu měřicí a kontrolní techniky pro sériově vyráběné součásti. Mezi její přední produkty patří měřicí stanice, sledovací měřidla a jednoduché kontrolní přípravky. [18]

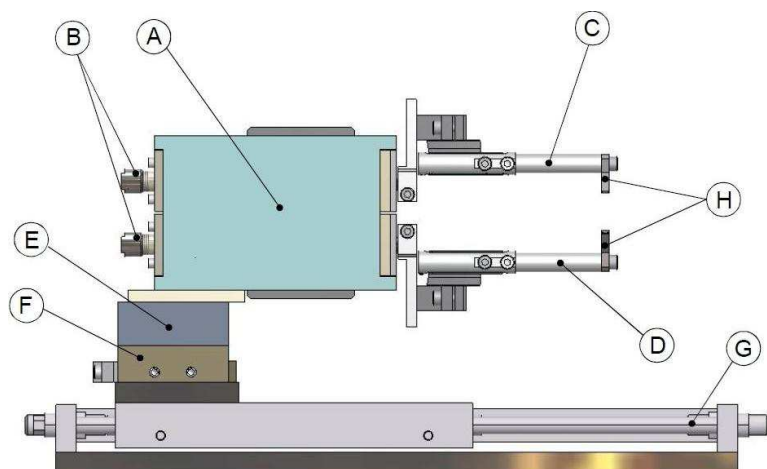


Obr. 7.12: Design sledovacího měřidla Amest EC-3 [18]

Speciální sledovací měřidlo **EC-3** (Obr. 7.12) slouží především ke kontrole rotačních obrobků zejména při broušení. Mezi hlavní výhody tohoto měřidla patří možnost použití jak v **postprocesním**, tak i v **inprocesním** měření, přičemž v inprocesním měření měřidlo přímo řídí přísuv brusného kotouče. Dalším důležitým znakem je tzv. stavebnicové uspořádání, jenž poskytuje měřidlu univerzální a široké spektrum uplatnění. Měřidlo se vyrábí v pěti variantách, kde každá z variant je vhodná pro jinou aplikaci. Použití je zejména pro měření vnějších hladkých nebo přerušovaných ploch. [18]



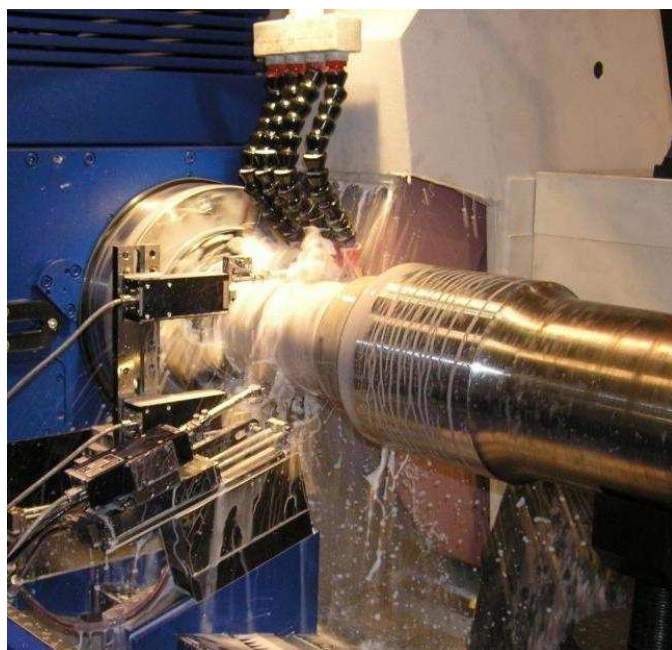
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



A – hlavice
B – kyvné rameno
C – rameno horní
D – rameno dolní
E – nástavec
F – podstavec
G – přísluvná jednotka
H - dotek

Obr. 7.13: Hlavní části měřidla Amest EC-3 [18]

Měřicí ramena jsou opatřena velmi citlivými **indukčnostními diferenciálními snímači**. Jako snímací dotek se používá buď kulička z tvrdokovu, diamantový hrot nebo safír. Tyto doteky jsou speciálně uzpůsobeny pro měření vnitřních, vnějších či speciálních rozměrů. Měřidlo se montuje přímo na základnu nebo support stroje prostřednictvím přísluvné jednotky. Vyhodnocování se provádí pomocí vyhodnocovacího systému, jenž je s měřicí hlavicí propojen pomocí kabelů. Tímto vyhodnocovacím systémem je většinou vhodně uzpůsobený klasický počítač o malých rozměrech. [18]



Obr. 7.14: Amest EC-3 při obráběcím procesu [18]

Výhody:

- univerzálnost
- korozivzdorný materiál
- měření vnějších, či vnitřních rozměrů
- měření klikových hřídelí lodních motorů, železničních náprav a ojnicích čepů klikových hřídelí [18]

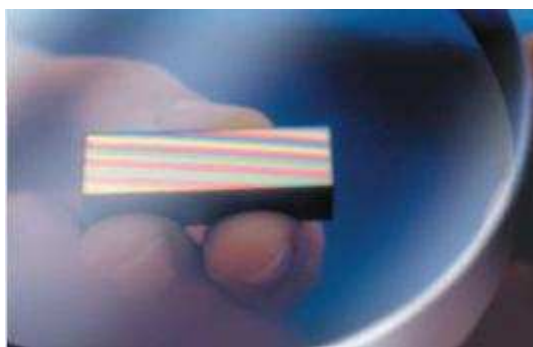
8 Postprocesní měřicí systémy a zařízení

8.1 Optické destičky

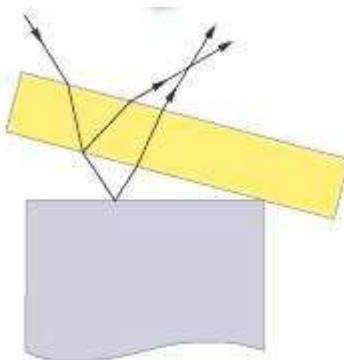
Kontrola **rovinnosti** pomocí optických destiček (*Obr. 8.1*) je již dlouhodobě používanou metodou. Princip spočívá v přiložení zkoumaného objektu k destičce a sledování interferenčních čar (*Obr. 8.2*). Přitom platí, čím méně čar se objevuje, tím je plocha kvalitnější, tzn. rovinnější.



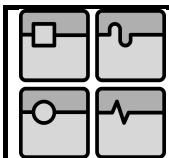
Obr. 8.1: Optická destička firmy TESA [12]



Obr. 8.2: Interferenční vlny na optické destičce [12]



Obr. 8.3: Princip odrazu světla při kontrole optickou destičkou [12]



8.2 Nožová pravítka

Nožová pravítka (Obr. 8.4) slouží především ke kontrole **rovinnosti**. Princip spočívá v přiložení pravítka ke zkoumanému objektu. Nastavením proti světlu vznikají mezi pravítkem a objektem drobné štěrby, kterými proniká světlo. Tyto štěrby jsou důsledkem nerovnosti povrchu objektu.



Obr. 8.4: Nožové pravítko 104 H firmy Martool [12]

Technické parametry:

- nerezová ocel, kalená a broušená
- tepelná izolace
- s jedním ostrým náběhem

8.3 Příložné úhelníky

Příložné úhelníky jsou prostou metodou kontroly **kolmosti** dvou rovin. Princip je téměř totožný jako u nožových pravítek.



Obr. 8.5: Příložný úhelník 105 F firmy Martool [12]

8.4 Kalibry

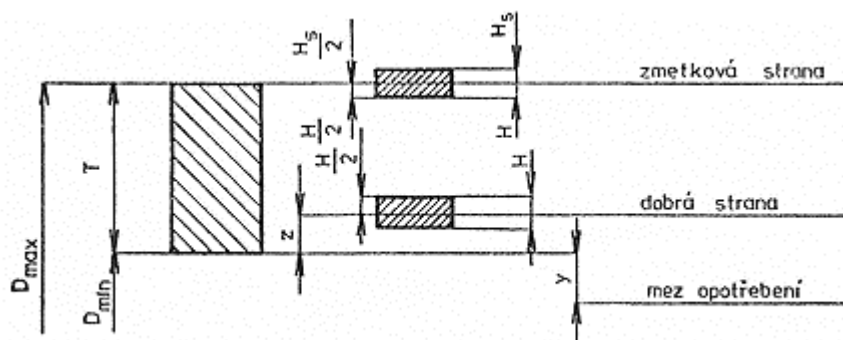
Dalším z těch jednodušších způsobů kontroly geometrické přesnosti obrobku je kontrola pomocí kalibrů. Nejčastěji se vyrábějí válečkové (Obr. 8.7) a ploché kalibry na měření vnitřních průměrů obrobku, kuželové na kontrolu vnitřních a vnějších kuželů, třmenové (Obr. 8.6), kterými se kontroluje vnější průměr a další. Tímto způsobem kontroly obrobku se nedají zjistit konkrétní hodnoty úchylek, výsledkem je pouze informace, zda se měřený rozměr nachází v daném tolerančním poli kalibru nebo ne. [24]



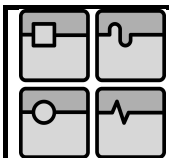
Obr. 8.6: Třmenový kalibr [24]



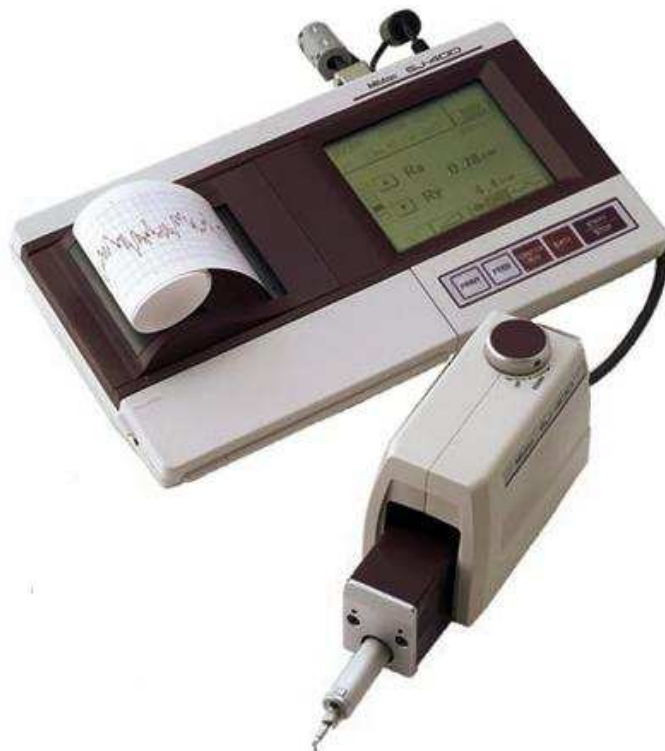
Obr. 8.7: Válečkový kalibr [24]



Obr. 8.8: Toleranční pole válečkového kalibru [24]



8.5 Dotykové měření struktury povrchu - Surftest SJ-400



Obr. 8.9: Přístroj na měření struktury povrchu Mitutoyo Surftest SJ-400 [11]

Velké přístroje a zařízení nejdou vždy za určitých podmínek použít, proto se je vývojáři snaží konstruovat v poněkud menších podobách. Příkladem je například příruční přístroj firmy **Mitutoyo Surftest SJ-400** (Obr. 8.9) na dotykové měření struktury povrchu. Nejen že měří, vyhodnocuje na LED display a tiskne výsledky drsnosti na mezinárodních standardech, ale dokáže vyhodnotit i přímost či vlnitost. Vyznačuje se širokou řadou funkcí. Mezi výhody patří možnost měřit drsnost povrchu válcové plochy. Po změření takového profilu převede křivku na profil drsnosti pomocí **R-kompence** (Obr. 8.11). [11]



Obr. 8.10: Měření struktury povrchu válcové plochy [11]



Obr. 8.11: Princip R-kompence povrchu válcové plochy [11]

Tab. 8.1: Technické parametry – Surftest SJ-402 [11]

Měřicí rozsah	osa Z	800 μ m, 80 μ m, 8 μ m
	osa X	50 mm
Měřicí jednotka	Přímost	0,5 μ m / 50 mm
	Měřicí rychlost	0,05; 0,1; 0,5; 1,0 mm/s
	Přejezdová rychlost	0,5; 1,0; 2,0 mm/s
Nastavení naklonění a výšky	Naklonění	$\pm 1,5^\circ$
	Výška	10 mm
Zaznamenávané profily		P, R, W
Parametry drsnosti		Ra, Ry, Rz, Rq, Pc, R3z, mr, Rt, Rp, Rv, Sm, S, δ c, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2, A1, A2, Lo, Ppi, R, AR, Rx, Δ a, Δ q, Ku, HSC, mrd, Sk, W, AW, Wte, Wx, Vo
Nastavitelná měřená délka		0,1 ÷ 50 mm (po 0,1 mm)
Standardní snímač	Typ	Diferenciální indukce
	Rozlišení	0,000125 μ m
	Přítlačná síla	0,75 mN
Hmotnost		cca 2,2 kg
Funkce		Zobrazení vybraných parametrů drsnosti
		R-povrch, kompenzace naklonění
		Zobrazení vzdálenosti v souřadnicích mezi dvěma body
		Pomoc s vyrovnaním při měření bez opěrné patky
		Výměna měřicího snímače při zastavení řídicí jednotky
		Statistické funkce
		Možnost zadání horní a dolní tolerance
		Ukládání naměřených dat
		Okamžitý tisk
Kalibrace		Automaticky
Napájení		AC adapter, vestavěná baterie
Normy pro drsnost		JIS, DIN, ISO, ANSI
Obrazovka		Dotykové LCD
Rozměry	Ovládací jednotka	(307 x 165 x 94) mm
	Vyrovňovací jednotka	(131 x 63 x 99) mm
	Měřicí jednotka	(128 x 36 x 47) mm

Výhody:

- kompaktní design
- vysoká přesnost
- vestavěná termotiskárna
- jednoduchá obsluha
- vynikající přesnost měření
- statistické funkce
- široká řada příslušenství včetně stojanů, doteků apod.
- ukládání naměřených dat
- řada možností editace dat
- velké rozsahy měření [11]

8.6 Univerzální měření pomocí Talymaster

Anglická firma Taylor Hobson, zabývající se vývojem měřicích přístrojů a zařízení pro kontaktní i bezkontaktní měření kruhovitosti, válcovitosti, drsnosti či rovinnosti, přišla loni na podzim s unikátním přístrojem **Talymaster** (Obr. 8.12).

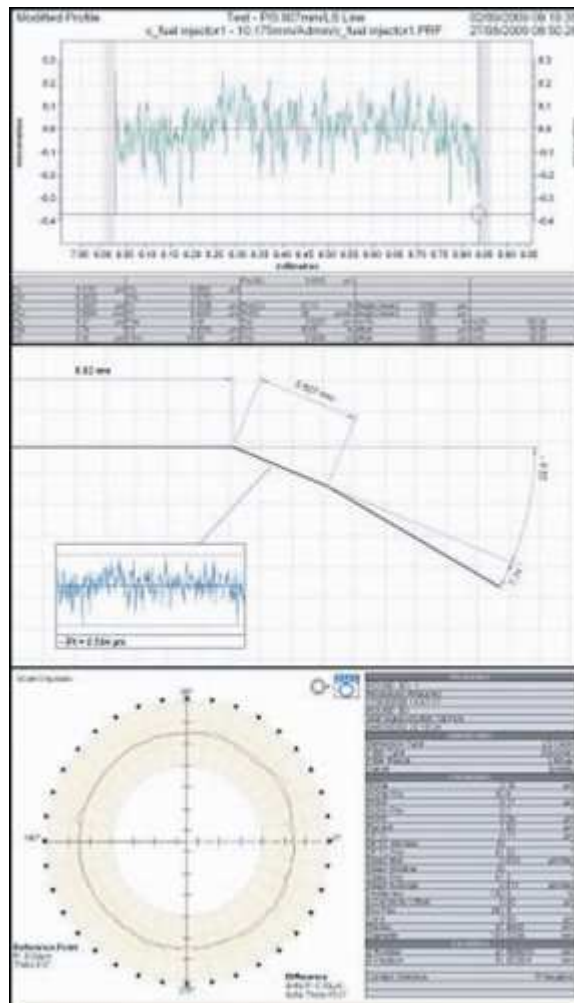
Jedná se o univerzální přístroj pro měření a analýzu například tvaru součástí, přímosti, kruhovitosti, obvodového a čelního házení i drsnosti povrchu v jednom. Efektivně tedy snižuje časy na kontrolu. Vyznačuje se rovněž antivibračním systémem uložení, což má za následek možnost použití i ve výrobních podmínkách. Využívá se především při měření ozubených kol, částí kompresorů a palivových čerpadel, ložisek či ventilů. [13]



Obr. 8.12: Talymaster [13]

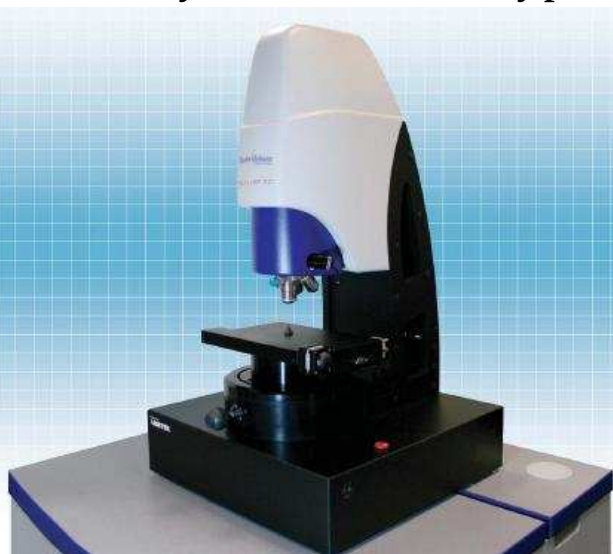
Výhody:

- univerzální měřicí přístroj
- vysoká přesnost
- funkce izolována od vnějších vlivů a chvění
- pět pohybových os včetně automatického polohování stolu v osách X a Y s přesností $< 1 \mu\text{m}$ [13]



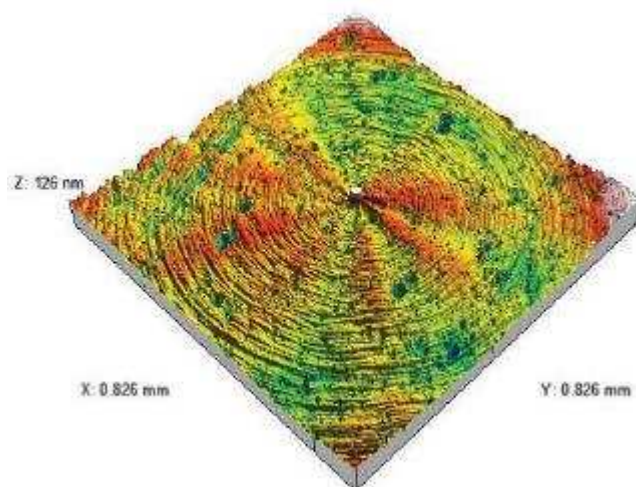
Obr. 8.13: Vyhodnocení drsnosti povrchu, přímosti a kruhovitosti [13]

8.7 Bezdotykové měření struktury povrchu - Talysurf CCI Lite



Obr. 8.14: Talysurf CCI Lite [14]

Další z řady přístrojů firmy **Taylor Hobson**, tentokrát optický **Talysurf CCI Lite** (Obr. 8.14) k bezkontaktnímu prostorovému měření drsnosti povrchu. Přístroj pracuje na bázi interferometru, používajícím inovativní korelační algoritmus k vyhledání spojitých vrcholů profilu povrchu. Vysoká flexibilita je zajištěna dostatkem typů objektivů, použitelných pro širokou řadu materiálů. Profil je následně zobrazován ve 2D nebo 3D provedení (Obr. 8.15). [14]



Obr. 8.15: Povrch soustružený diamantem [14]

Tab. 8.2: Technické parametry – Talysurf CCI Lite [14]

Rozsah v ose Z	standardně 2,2 mm (i více)
Maximální rozlišení	0,01 nm
Šum	< 0,08 nm
Opakovatelnost povrchu	< 0,02 nm
Maximální oblast měření	standardně 6,6 mm (i více)
Počet měřených bodů	standardně 1024 x 1024
Optické rozlišení	0,4 ÷ 0,6 μm (závisí na povrchu)
Čas měření	(5 ÷ 40) s
Odrazivost povrchu	0,3 ÷ 100%
Opakovatelnost výšky	< 0,1%

Výhody:

- rychlost – automatické zaostření
- flexibilita – možnost měření povrchu různých materiálů
- vysoká přesnost
- robustní a stabilní mechanismus [14]

8.8 Profiloměr Contracer 3100

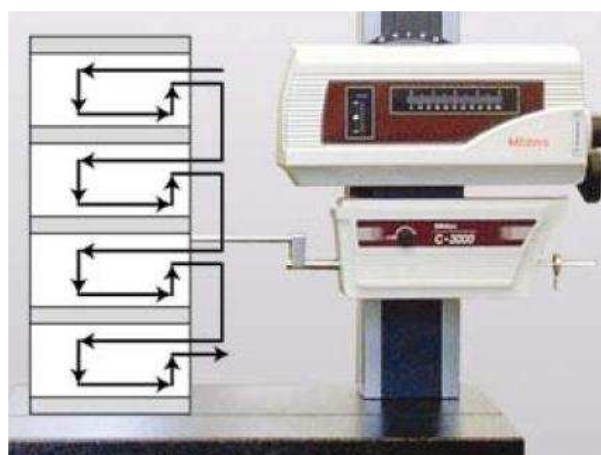
Mitutoyo Contracer 3100 (Obr. 8.16) je flexibilní, cenově dostupný a vysoce přesný poloautomatický systém pro měření a analýzu kontur součástí jak v laboratorním, tak i ve výrobním prostředí. Přístroj má zabudovanou technologii **ABSOLUTE (ABS)**, která dovoluje kdykoliv odečíst přesnou pozici stroje v ose Z2 a umožňuje efektivní ovládaní stroje. [11]



Obr. 8.16: Profiloměr Contracer 3100 [11]

Výhody:

- odečet ABSOLUTE na ose Z2
- protikolizní ochrana
- automatická kalibrace
- možnost CNC využití
- vysoká přesnost a flexibilita [11]



Obr. 8.17: Technologie ABSOLUTE [11]

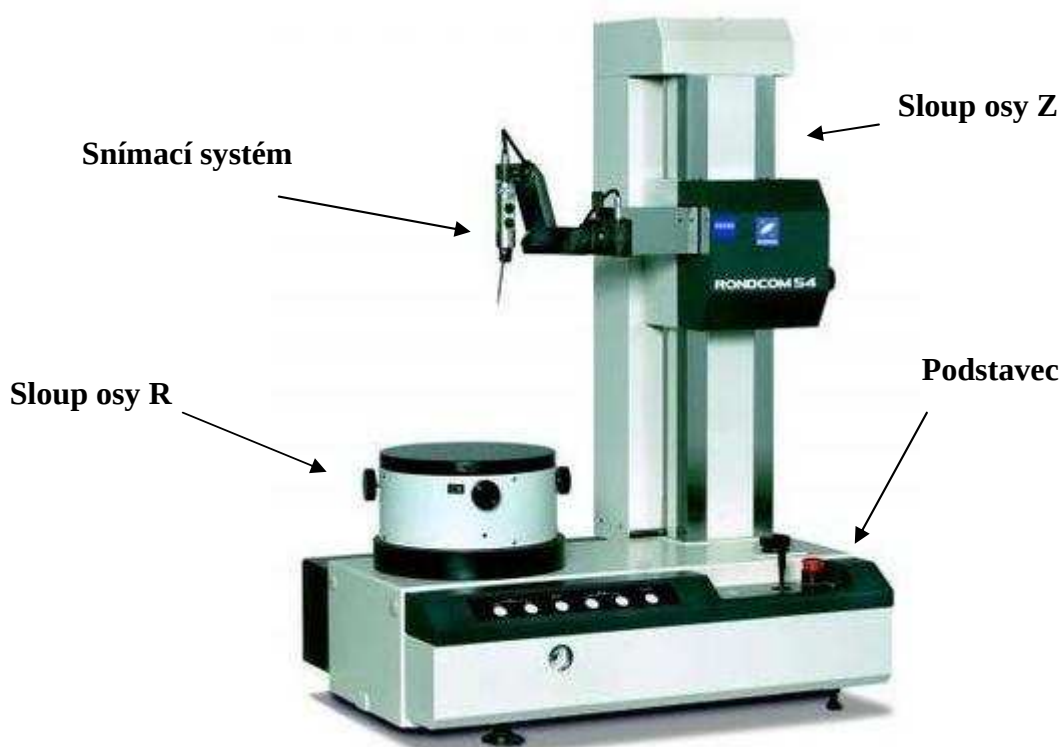
Tab. 8.3: Technické parametry – Contracer 3100S4 [11]

Měřicí rozsah	osa X	100 mm
	osa Z1	50 mm
Rozsah pojezdu sloupu		300 mm
Přestavení sklonu posunu osy X		±45°
Rozlišení	osa X	0,05 μm
	osa Z1	0,2 μm
	osa Z2	1 μm
Rychlost pojezdu	osa X	0 ÷ 80 mm/s
	osa Z2 (sloup)	0 ÷ 20 mm/s
Měřicí rychlost		0,02 ÷ 5 mm/s
Odchylka přímosti		0,8 μm / 100 mm
Odchylka délkového měření (20°C)	osa X	± (1 + 0,01L) μm
	osa Z1	± (2 + 4H /100) μm
Materiál a rozměry základní desky		Granit, (600 x 450) mm
Měřicí hrot		karbidový, úhel 12°, rádius 25 μm
Způsob měření		tažný / tlačný
Měřicí přítlak		30 mN
Vnější rozměry	Vlastní jednotka	(756 x 482 x 966) mm
Celková hmotnost		cca 155 kg
Pracovní teplota		15 ÷ 25°C
Pracovní vlhkost		20 ÷ 80%
Teplota skladování		-10 ÷ 50 °C
Vlhkost při skladování		5 ÷ 90 %
Příkon		400 W

8.9 Měření kruhovitosti – Rondcom 54

Německá společnost **Carl Zeiss** je špičkovým dodavatelem měřicí techniky už řadu let. Kromě souřadnicových měřicích strojů, drsnoměrů či výrobních strojů patří mezi přední světové vývojáře kruhoměrů.

Kruhoměry firmy Zeiss se vyznačují extrémně vysokou přesností. Přesnost každého kruhoměru závisí na kvalitě otočného stolu. Otočné stoly Rondcom jsou uloženy na vzduchových ložiskách a dosahují přesnosti obvodového házení v referenčním bodě až 0,02 μm . Tento otočný stůl nechybí samozřejmě ani kruhoměru **Rondcom 54** (Obr. 8.18), jenž se používá u široké škály aplikací. V případě potřeby existuje možnost rozšířit jej na CNC řízený přístroj. [15]



Obr. 8.18: Rondcom 54 [15]

Typickými kontrolovanými parametry jsou kruhovitosť, válcovitost, rovinnost, obvodové a čelní házení, přímota, souosota nebo kolmost.

Výhody:

- špičkový přístroj s vysokou přesností
- relativně kompaktní
- vyšší produktivita díky úspoře času při vyrovnávání [15]



Obr. 8.19: Rondcom 54 při měření [15]

Tab. 8.4: Technické parametry – Rondcom 54 [15]

Maximální měřitelný průměr		300 mm
Maximální průměr součásti		580 mm
Maximální zatížení		30 kg
Osa otáčení C	Průměr stolu	220 mm
	Přesnost obvodového házení	0,020 + 4H/10.000 μm
	Přesnost čelního házení	0,020 + 4R/10.000 μm
	Rychlost měření	2 ÷ 10 ot./min
	Rozsah centrování	±2 mm
	Rozsah nivelace	±1°
	Automatické vyrovnaní	Ano
	Rychlost automatického vyrovnaní	6/10/20 ot./min
	Rozlišení	0,025°
Vertikální osa Z	Měřená dráha	500 mm
	Přesnost přímosti	0,2 μm / 300 mm
	Úchylka rovnoběžnosti k ose otáčení	0,8 μm / 300 mm
	Rychlost měření	0,5 ÷ 6 mm/s
	Rychlost pojezdu	max. 50 mm/s
Horizontální osa R	Měřená dráha	170 mm
	Přesnost přímosti	0,8 μm / 150 mm
	Úchylka rovnoběžnosti k ose otáčení	1 μm / 150 mm
	Rychlost měření	0,5 ÷ 6 mm/s
	Rychlost pojezdu	Max. 25 mm/s
	Lineární měřítko	Ano
	Přesnost lineárního měřítka	(2 + L / 170) μm
Snímací systém	CNC naklápečí systém	R 54 fakultativně
	Měřicí síla	30 ÷ 100 mN (nastavitelná)
	Kolizní ochrana	Mechanická / elektronická
	Měřicí rozsah	Max. ± 1000 μm (nastavitelná)
	Rozlišení	max. 0,001 μm
	Standardní sním. systém	L = 54 mm, D = 1,6 mm, tvrdokov
Další údaje	Napájení	100 ÷ 240 V AC 50/60 Hz
	Příkon	cca 600 W
	Zásobování	0,3 ÷ 0,7 MPa
	Celková hmotnost	cca 170 kg

8.10 Rondcom 75

Kromě malých kruhoměrů vyrábí společnost **Carl Zeiss** také relativně větší zařízení na měření kruhovitosti. Příkladem je třeba **Rondcom 75** (Obr. 8.20), jehož hlavní předností je schopnost velmi přesného měření velkých a těžkých součástí, jako jsou klikové hřídele nebo bloky motorů. [12]



Obr. 8.20: Rondcom 75 [12]



Obr. 8.21: Měření klikové hřídele pomocí přístroje Rondcom 75 [12]

Tab. 8.5: Technické parametry – Rondcom 75 [12]

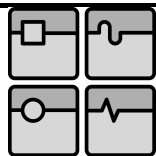
Maximální měřitelný průměr		2 ÷ 450 mm
Maximální průměr součásti		X = 800 mm/Y = 680 mm/Z = 760 mm
Maximální zatížení		200 kg (1000 kg)
Měřicí rozsah v X		700 mm (1200 mm)
Měřicí rozsah v Y		200 mm
Měřicí rozsah v Z		1000 mm (1500 mm, 2000 mm)
Jednotlivé odchylky přesnosti	Radiální přesnost	0,1 μm stand. sním. systém L = 76 mm
		0,2 μm sním. systém L = 700 mm
	Axiální přesnost	0,1 μm/R 50 mm stand. sním. systém L = 76 mm
		0,2 μm/R 50 mm sním. systém L = 700 mm
	Přímost	0,3 μm/50 mm, 0,5 μm/100 mm stand. sním. systém L = 76 mm
		1,5 μm/700 mm sním. systém L = 700 mm
	Rovnoběžnost	1,5 μm/100 mm
	Přesnost polohování	±50 μm
Rychlost	Rotační	2 ot./min (měření), 10 ot./min (centrování)
	Lineární	0,6 mm/s ÷ 6 mm/s
Snímací systém	Kulička snímače	Standard, D = 0,5 mm, safír
	Délka snímače	typ A: L = 76 mm (1:1)
		typ B: L = 201 mm (2:1)
	Měřicí síla	typ A: 0,17 N
		typ B: 0,085 N

Výhody:

- měření velkých a těžkých součástí

8.11 Kruhoměr Roundtest RA-H5100 AH

Jedná se o velmi všestranný přístroj fy **Mitutoyo** pro kompletní a perfektní měření rotačně symetrických obrobků (Obr. 8.22). Otočný stůl je usazen na vzduchových ložiskách pro velmi přesné polohování. Bez problému měří kruhovitost, válcovitost, souosost, soustřednost, obvodové i čelní házení, kolmost, odchylku tloušťky stěny, rovinnost, rovnoběžnost, přerušené obrobky, celkové obvodové i čelní házení, horizontální i vertikální přímost, sklon, průměr a odchylku radiusu. K vyhodnocování se používá měřicí a analyzační software ROUNDPAK. [16]



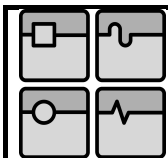
Obr. 8.22: Roundtest RA-H5100 AH [16]



Obr. 8.23: Všestranné využití přístroje Roundtest RA-H5100 AH [16]

Výhody:

- všestranný
- vhodný pro větší obrobky a série
- automatické centrování a nivelace obrobku
- extrémní přesnost
- jednoduché a rychlé měření
- široká škála příslušenství
- dodává se včetně PC
- absolutní stabilita
- nastavitelná síla snímače [16]



Tab. 8.6: Technické parametry – Roundtest RA-H5100 AH [16]

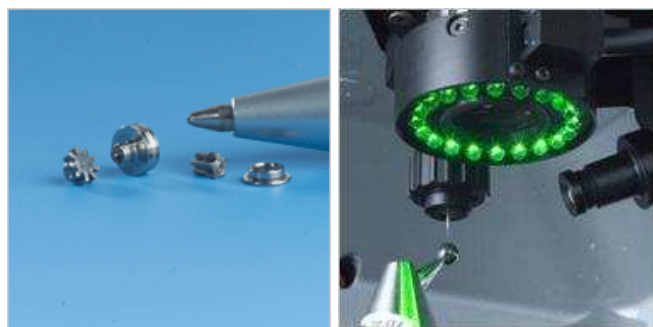
Přesnost rotační osy	$(0,02 + 4H/10000) \mu\text{m}$
Přímost přesného vedení sloupu (osa Z)	$0,05 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$
Rozsah centrování	$\pm 5 \text{ mm}$
Rozsah nivelace	$\pm 1^\circ$
Maximální upínatelný průměr obrobku	680 mm
Maximální hmotnost obrobku	80 kg
Měřitelný průměr	400 mm
Nastavení snímače	$\pm 45^\circ$
Rozsah měření	550 mm
Dráha pojezdu osy R	225 mm
Maximální hloubka měření	100 mm

8.12 F25 pro měření mikrosoučástí

Jedná se o souřadnicový měřicí stroj firmy **Carl Zeiss**, jenž je schopen měřit velmi malé obrobky o velikostech menších než $0,1 \mu\text{m}$. Princip spočívá v kombinaci dvou základních typů měření - dotykového a optického. Optickou část reprezentuje objektiv **ViSCAN**, používaný u běžných mikroskopů Zeiss. Druhou část, tu dotykovou, představuje pasivní skenovací senzor s technologií křemíkového čipu s integrovanými **piezodporovými elementy**. Měřicí rozsah tohoto zařízení je $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$. Nejistota měření při rozlišení $7,5 \text{ nm}$ je 250 nm a průměr snímací kuličky se pohybuje od 100 do $700 \mu\text{m}$. Na podobném principu **multisenzorového snímání** pracují i podobná zařízení na měření větších součástí. [15]



Obr. 8.24: Carl – Zeiss F25 [15]



Obr. 8.25: Příklady měřených součástí a snímací systém přístroje F25 [15]

Výhody:

- měření velmi malých součástí
- 2 typy snímacích systémů v jednom [15]

8.13 Měření ozubených kol pomocí ND300

Italská firma **Sicmat** se pyšní unikátním čtyřosým měřicím systémem **ND300** (Obr. 8.26), jehož hlavní předností je schopnost měřit pomocí jednotlivých bodů či skenování různé parametry ozubení a další geometrické veličiny. Konkrétně například tloušťku zubu, házení, stoupání šroubovice a další. Systém používá 3D skenovací sondu firmy Renishaw. Je schopen porovnávat naměřené hodnoty s nadnárodními standardy (AGMA, DIN, ISO, JIS, CAT, ANSI). [17]



Obr. 8.26: Sicmat ND300 [17]



Obr. 8.27: Měření ozubeného kola pomocí systému Sicmat ND300 [17]

Jako dalšího světového výrobce podobných měřicích stanic je třeba zmínit firmu **Klingenberg**, jež vyvíjí celosvětově známé, velmi přesné, univerzální a výkonné stanice na měření ozubení nebo osově symetrických obrobků. Nesmíme opomenout také firmy **Mahr** nebo **Amest**.

Tab. 8.7: Technické parametry – Sicmat ND300 [17]

Osa X	Pojezd 150 mm
	Rozlišení stupnice 0,1 μm
Osa Z	Pojezd 420 mm
	Rozlišení stupnice 0,1 μm
Osa Y	Pojezd 310 mm
	Rozlišení stupnice 0,1 μm
Osa C - rotační stůl	Průměr 228 mm
	Rozlišení 0,035 úhlových vteřin
Hmotnost	1300 kg
Maximální hmotnost obrobku	180 kg
Maximální průměr obrobku	305 mm
Minimální a maximální úhel stoupání šroubovice	0 ÷ 90°
Minimální a maximální modul	0,15 ÷ 22 mm
Minimální a maximální vzdálenost mezi středy	0 ÷ 750 mm
Energie	220 V, 50 Hz
Doporučená teplota okolí	20 ± 2 °C
Rozlišení sondy	0,03 μm
Rozsah sondy	±1 mm

Výhody:

- schopnost 3D skenování
- možnost měření široké škály ozubení
- vysoká přesnost
- univerzální systém [17]

8.14 Speciální měřicí stanice firmy Amest

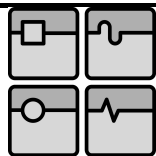
Výše zmiňovaná firma **Amest** se pyšní rovněž speciálními měřicími stanicemi na měření ozubení, hřídelů či skříňových dílů.

Systém **DEXTERA** (Obr. 8.28) vyrábí firma na zakázku podle rozměrů měřeného kola. Systém může být obsluhován jak ručně, tak automaticky, kde již existuje možnost jeho začlenění do výrobního procesu, tudíž se chová jako **inprocesní měřicí přístroj**. Mezi základní měřené parametry patří průměrná hodnota rozměru přes kuličky, ovalita roztečné kružnice, házení roztečné kružnice a maximální difference házení dvou sousedních zubů. Přístroj pracuje s rozlišením v tisícinách milimetru.

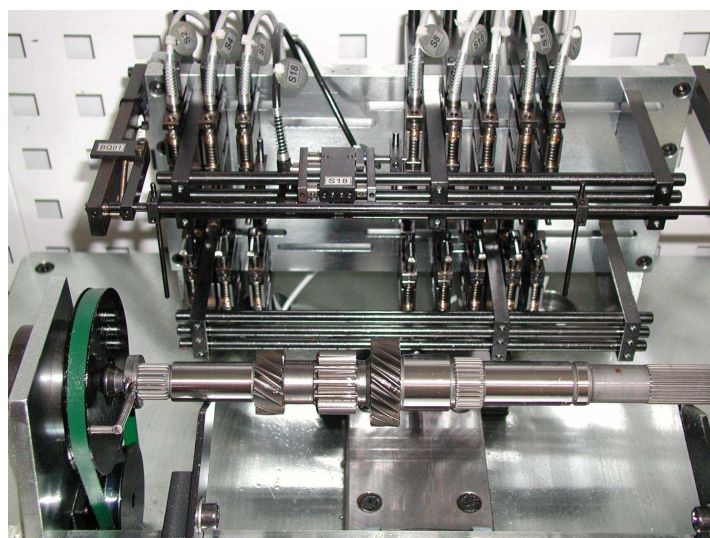
Pro měření průměrů, délek nebo házení pastorků a hřídelů je zde měřicí stanice **KS-334 až KS-337** (Obr. 8.29). K měření se používají indukční diferenciální snímače upevněny na měřicí konzoli.

Automatická měřicí stanice **KS-343** (Obr. 8.30) slouží k měření skříňě diferenciálu po soustružení.

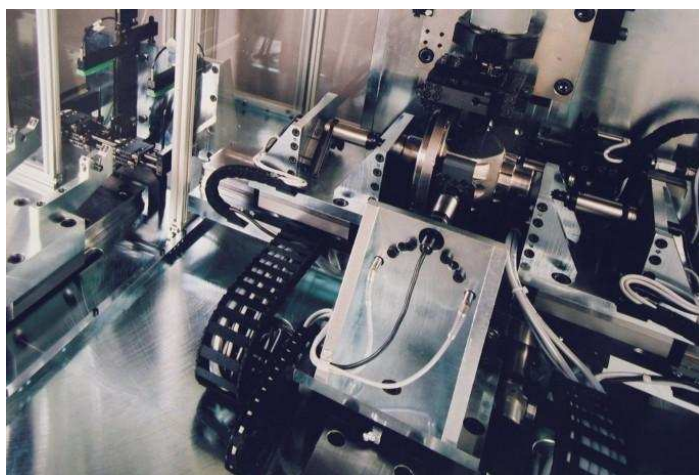
Dalšími produkty jsou měřicí stanice pro měření geometrických tvarů (např. kuželovitosti, válcovitosti, přímosti, kruhovitosti či průměru) trysek nebo šoupátek. Na Obr. 8.31 je vyobrazena měřicí stanice **KS-388** ke kontrole průměru, kuželovitosti, kruhovitosti a přímosti jehel trysek. [18]



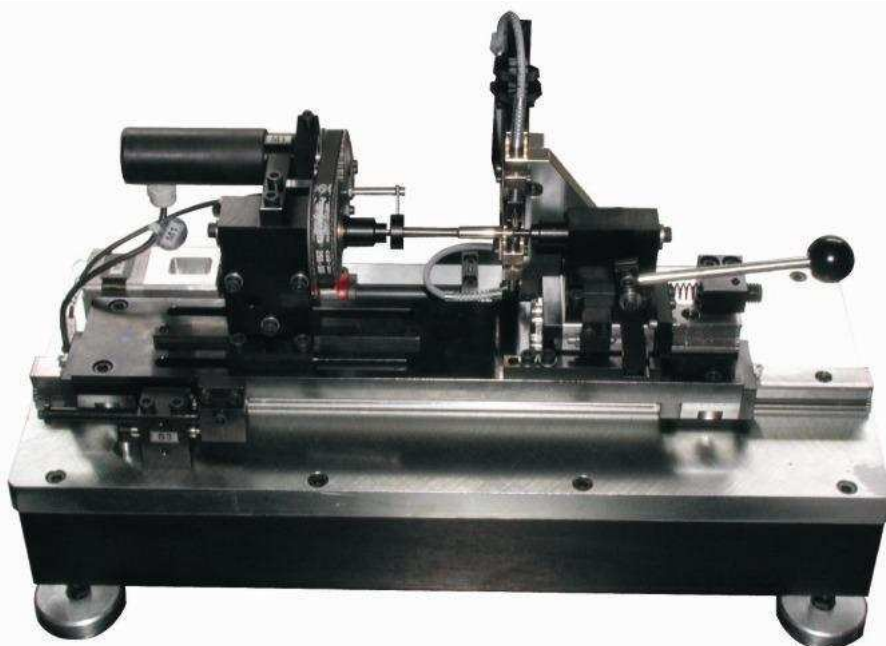
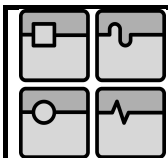
Obr. 8.28: Systém DEXTERA fy Amest [18]



Obr. 8.29: KS-334 fy Amest [18]



Obr. 8.30: KS-343 fy Amest [18]

*Obr. 8.31: KS-388 fy Amest [18]*

8.15 Měření obvodového házení pomocí přípravku firmy Mahr

Pro rychlé a jednoduché měření zejména obvodového házení vyvinula firma Mahr speciální měřicí blok s označením **818 GX** (Obr. 8.32). Tento přípravek měří nejen zmiňované obvodové házení, ale také soustřednost, rovnoběžnost, čelní házení nebo tvar či úhel kužele. Používá se často v kombinaci s měřicími stojany, koncovými měrkami a na průměrných deskách. Součástí může být rovněž výškoměr.

*Obr. 8.32: Mahr 818 GX [19]*

Přesnost tohoto přístroje je $\leq 3 \mu\text{m}$, hmotnost je 19 kg a maximálně lze měřit součást o délce 200 mm. [19]

Obr. 8.33: Mahr 818 GX v kombinaci s posuvným výškoměrem a měřicím stojanem [19]

8.16 Optické měření hřídelů

Společnost Mahr se může chlubit celou řadou speciálních měřicích zařízení. Dalším z nich je optická měřicí stanice **MahrShaft SCOPE** (Obr. 8.34) na kontrolu rotačních součástí, konkrétně hnacích, dutých, šnekových, vačkových a dalších hřídelů. Mezi hlavní přednosti této stanice patří **jednoduché ovládání** na dotykové obrazovce, **automatické měření** široké škály prvků pomocí jednoho měřicího nástroje či **teplotní kompenzace**. Mezi základní měřené prvky patří délka, průměr, poloměr, úhly, obvodové a čelní házení, kruhovitost, umístění, kuželovitost, soustřednost a měření závitů. [19]

Základní technické parametry:

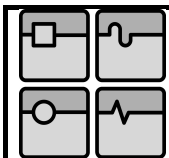
- Snímač s rozlišením 1280 x 1024 pixel
- Maximální průměr měřené součásti až 120 mm
- Maximální délka měřené součásti až 1000 mm
- Chyby měření
 - o Délka - $(2 + L/125) \mu\text{m}$
 - o Průměr - $(1,5 + L/125) \mu\text{m}$, kde L je délka měřené součásti v milimetrech [19]



Obr. 8.34: MahrShaft SCOPE [19]



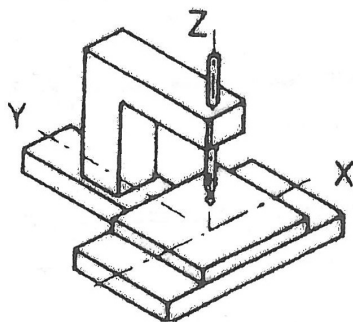
Obr. 8.35: Snímací systém stanice MahrShaft SCOPE [19]



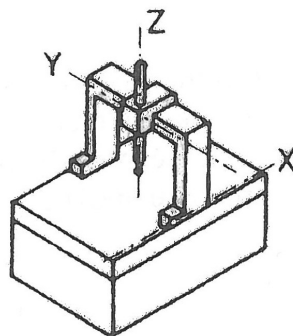
8.17 Souřadnicové měřicí stroje

Souřadnicové měřicí stroje, anglicky Coordinate Measurement Machines (dále jen CMM) jsou schopny měřit komplexní geometrii součástí, a to s velmi malými chybami. Dokážou změřit takřka cokoli, proto bych je také nazval nejuniverzálnějším zařízením pro měření geometrické přesnosti obrobku, ale i jiných součástí. Počátek jejich rozvoje spadá do sedmdesátých let 20. století. V principu CMM zjišťují geometrii měřených objektů určením prostorových souřadnic několika měřených bodů. Z těchto souřadnic se potom v připojeném vyhodnocovacím zařízení určí geometrie objektu. Před každým měřením je třeba definovat uživatelský souřadnicový systém, který se obvykle vztahuje na měřený objekt. Podle konstrukce lze CMM rozdělit na jednosouřadnicové, dvousouřadnicové a třísouřadnicové stroje. [3]

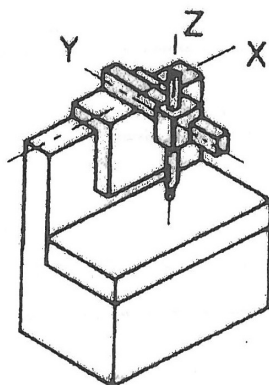
Čtyři základní typy CMM:



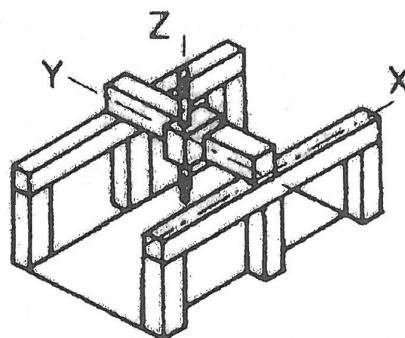
Obr. 8.36: Sloupový [2]



Obr. 8.38: Portálový [2]



Obr. 8.37: Výložníkový [2]



Obr. 8.39: Mostový [2]

Části souřadnicového měřicího stroje:

- Mechanická část
- Odměrovací systém
- Snímací systém včetně systému pro výměnu snímačů
- Řídicí systém
- Software

Mechanické části, jako jsou **rám**, **stůl**, **pinola** a další jsou nedílnou součástí CMM. Hlavní nosnou částí je rám, jenž bývá svařovaný. Na něm se v závislosti na typu stroje

nachází svařované sloupy, portály či mostové konstrukce. Pinola je většinou čtvercového průřezu a na jejím konci se nachází samotný snímací systém. Poslední základní a nejvíce viditelnou částí je žulový nebo granitový stůl, na který se pomocí přípravků upevňuje měřený objekt.

Odměřovací systémy umožňují získat souřadnice v jednotlivých osách kartézské soustavy CMM. Mezi ty nejpoužívanější patří **inkrementální délková stupnice** s rozlišitelností až 1 μm . Dalšími jsou pak **závitový hřídel s úhlovým převodníkem**, **lineární indukto**s a velmi nákladný, ovšem velice přesný **laserinterferometr**.

Snímací systémy jsou zejména dvojího typu. **Spínací dotekové sondy** (Obr. 8.40) odečítají souřadnice v daném měřicím systému při dotyku se součástí, **skenovací sondy** jsou schopny spojitého snímání, z jehož hlavních výhod lze uvést vyšší rychlost a přesnost. Do této kategorie lze však zařadit i stále se rozvíjející multisenzorové snímání, kde mimo dotyk hraje svou roli i optika. [2]

Současnou novinkou na trhu je pětiosá skenovací hlavice **REVO** od anglické firmy Renishaw (Obr. 8.41).



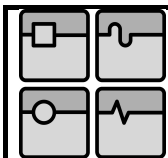
Obr. 8.40: Indexovací hlavice TESASTAR-i [12]



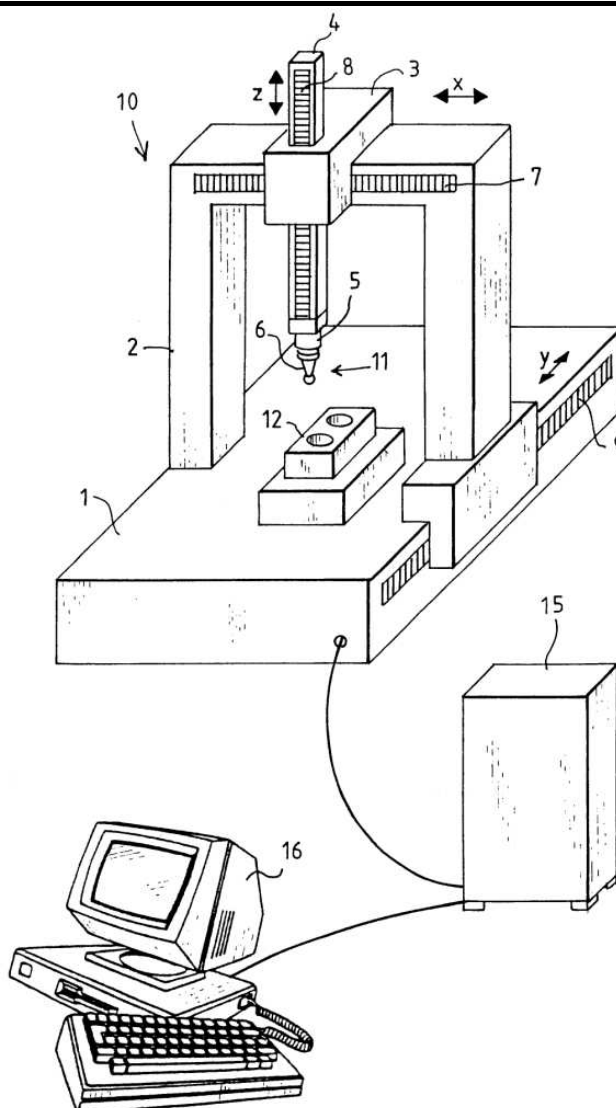
Obr. 8.41: Pětiosé skenování pomocí Renishaw REVO [10]

Řídicí systém a software bývá velmi často vyvíjen výrobcem snímacího systému a dodáván spolu s tímto systémem.

Při měření na souřadnicovém měřicím stroji je třeba dbát na dané standardní úkony pracovního postupu. Před samotným měřením je třeba provést především **kalibraci** snímacího systému, **vyrovnání součástí**, **vytvoření souřadného systému** součástí a další. Základní postup při měření na souřadnicovém měřicím stroji je shrnut v příloze této bakalářské práce (Příloha 1: Komplexní měření součástí na souřadnicovém měřicím stroji).

**Legenda:**

- 1 – stůl
- 2 – rám
- 3 – portál
- 4 – pinola
- 5 – hlava sondy
- 6 – dotek sondy
- 7 – odměřovací systém pro osu X
- 8 – odměřovací systém pro osu Z
- 9 – odměřovací systém pro osu Y
- 10 – portálový souřadnicový měřicí stroj
- 11 – snímací systém – sonda
- 12 – měřená součást
- 15 – řídicí systém
- 16 – software



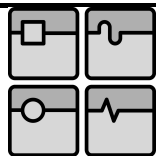
Obr. 8.42: Části souřadnicového měřicího stroje [21]

8.17.1 Leitz Infinity

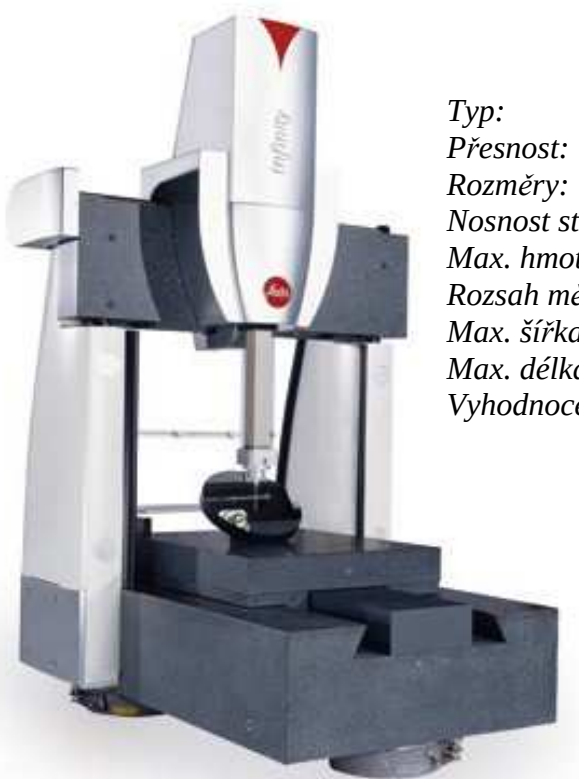
Německá firma Leitz, patřící k velké metrologické společnosti Hexagon Metrology, vyvinula souřadnicový měřicí stroj **Infinity** (Obr. 8.43) tak, aby maximálně splňoval současné vysoké nároky na přesnost. V dnešní době je to jeden z nejpřesnějších CMM. Je schopen měřit širokou škálu součástí, včetně globoidních ozubených kol. [22]

Výhody:

- Ultravysoké rozlišení měřítka ($4 \text{ nm} = 0,004 \text{ } \mu\text{m}$)
- Aktivní pneumatické tlumení
- Konstrukce z granitu a litiny
- Pevný portál a pohybující se stůl
- Snímací systém Leitz, vysoké rozlišení, nízká spínací síla, doteky délky až 800 mm
- Kontrola široké řady ozubení [22]



Základní parametry:



<i>Typ:</i>	Infinity 12.10.7
<i>Přesnost:</i>	MPEE = $0,3 + L/1000 \mu\text{m}$
<i>Rozměry:</i>	1200 x 1000 x 700 mm
<i>Nosnost stolu:</i>	1000 kg
<i>Max. hmotnost ozubení:</i>	750 kg
<i>Rozsah měřitelných modulů:</i>	0,5 ÷ 100 mm
<i>Max. šířka ozubení:</i>	700 mm
<i>Max. délka hřídele:</i>	1200 mm
<i>Vyhodnocení:</i>	DIN, ISO, AGMA, ANSI, JIS, CNOMO, CAT

Obr. 8.43: Souřadnicový měřicí stroj Leitz Infinity [22]



Obr. 8.44: Použití CMM Leitz Infinity [22]

8.18 Laserové skenování

Skenování tvaru součástí je neustále se rozvíjející a častěji se vyskytující technologií v oblasti měření ve strojírenství. Velikou výhodou této metody jsou takřka neomezené možnosti co se týče měřeného materiálu. Rovněž jde o rychlý a především přesný způsob měření, kde vysoká hustota skenovaných bodů převyšuje klasické způsoby snímání. Tato technologie nachází uplatnění i v tzv. reverzním inženýrství, kdy se zpětně pomocí laseru získává tvar a model součástí v digitální podobě. Z této skupiny lze vyzdvihnout třeba laserový skener **CMS 106** společnosti TESA (Obr. 8.45), jednoho ze členů skupiny Hexagon Metrology. [20]



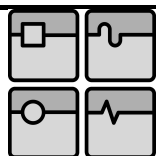
Obr. 8.45: Laserová skenovací hlava CMS 106 [20]

Výhody:

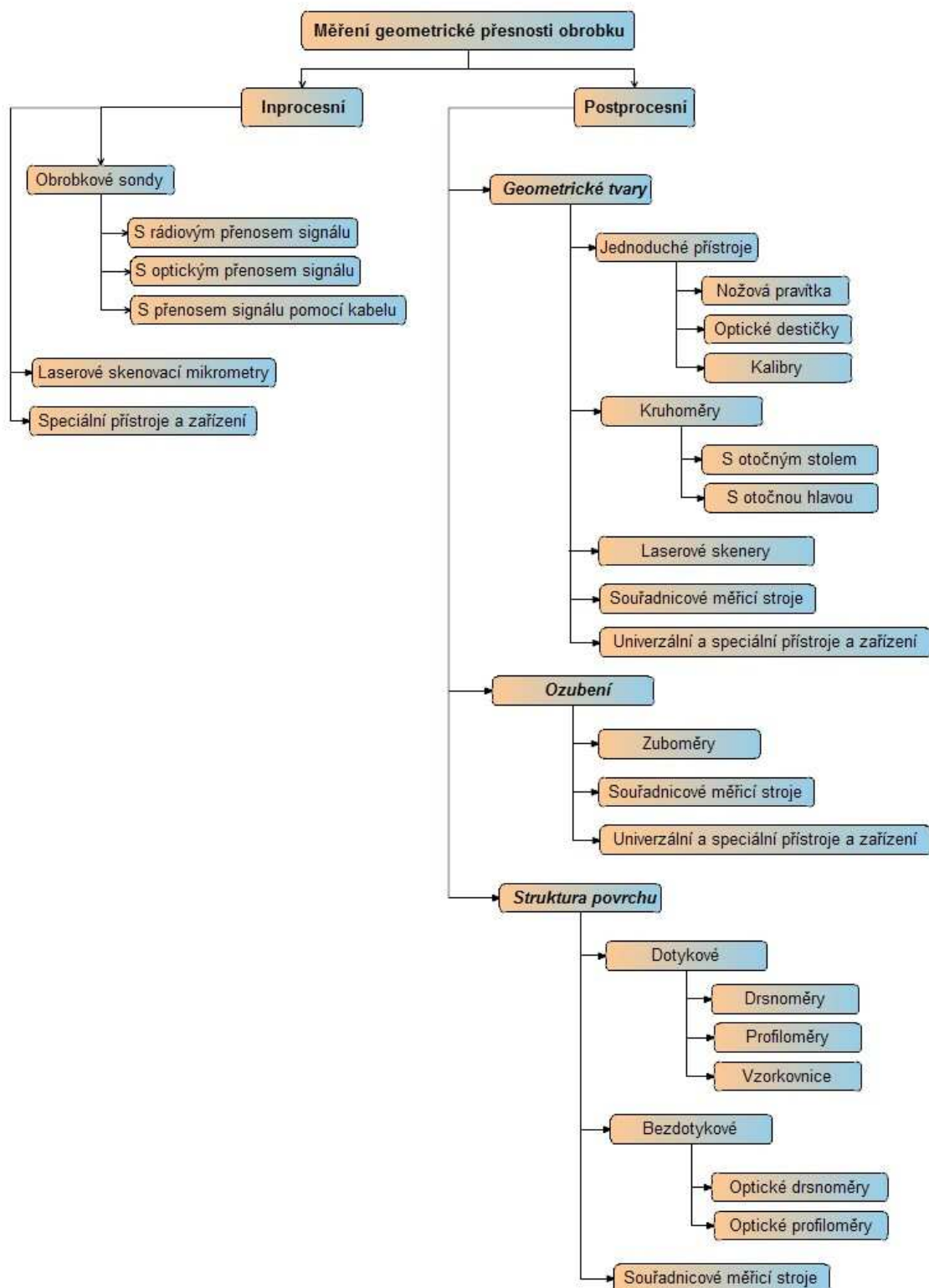
- Plně automatický
- Vysoká přesnost (až 20 μm)
- 3x zoom
- Měření téměř jakéhokoliv materiálu
- Možnost regulovat intenzitu laseru v průběhu měření
- Kompatibilita se souřadnicovými měřicími stroji a měřicími rameny [20]

Tab. 8.8: Základní technické parametry – CMS 106 [20]

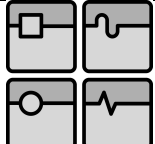
Viditelnost	170 $\pm$ 30 mm
Přesnost senzoru	MPE 20 μm
Laser	viditelný červený, třída 2, 690 nm
Počet bodů pásma	maximálně 2000
Šířka pásma (zoom 1x, 2x, 3x)	(124, 60, 24) mm
Rozměry	(134 x 72 x 60,5) mm
Rychlost měření	maximálně 53 Hz
Hmotnost	382 g



9 Roztřídění měřicích přístrojů a zařízení



Obr. 9.1: Diagram měřicí techniky na měření geometrické přesnosti obrobku

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 80
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

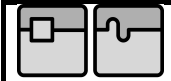
10 Závěr

Z této bakalářské práce lze na základě současného stavu usoudit, že další vývoj této měřicí techniky se bude ubírat směrem ke snaze zvýšit přesnost, kompaktnost, celkovou kvalitu a zároveň zredukovat požadavky na energetickou náročnost a měřicí podmínky přístrojů či vyskytující se chyby měření. Rovněž lze očekávat, že se konstruktéři budou snažit vyvíjet vysoce flexibilní a univerzální přístroje tak, aby se docílilo komplexnějšího a tím pádem i rychlejšího měření součástí, jehož může být také docíleno zvýšením četnosti inprocesního měření a automatizace ve výrobě. Lze diskutovat o tom, zda se na úkor univerzálnosti nezhorší kvalita měření, ovšem kvalita dnešních a budoucích technologií je na tak vysoké úrovni, že se s tímhle problémem snad ani nesetkáme.

Tato bakalářská práce by měla svému čtenáři poskytnout základní, avšak obecný přehled normalizovaných geometrických tolerancí a současných možností měření geometrické přesnosti obrobku.

11 Seznam použitých zdrojů

- [1] ČECH, Jaroslav, PERNIKÁŘ, Jiří, PODANÝ, Kamil. *Strojírenská metrologie*. Vydání 4. přepracované. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2005. 176 s. ISBN 80-214-3070-2
- [2] PERNIKÁŘ, Jiří; TYKAL, Miroslav. *Strojírenská metrologie II*. Vydání první. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
- [3] BUMBÁLEK, Leoš, a kolektiv. *Kontrola a měření : pro SPŠ strojní*. Vydání první. Praha: INFORMATORIUM, 2009. 206 s. ISBN 978-80-7333-072-9
- [4] The John W. Sutherland Research Page [online]. 2004-07-02, poslední revize 4.8.2009. Dostupné z WWW: <<http://www.mfg.mtu.edu/cyberman/quality/metrology/dimension.html> > .
- [5] SVOBODA, Pavel, BRANDEJS, Jan, DVOŘÁČEK, Jiří, PROKEŠ, František. *Základy konstruování*. Vydání druhé, doplněné a přepracované. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2008. 234 s. ISBN 978-80-7204-584-6
- [6] Proč osazovat obráběcí stroj ještě nějakými sondami?. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2003, 10, [cit. 2011-03-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/proc-osazovat-obrabeci-stroj-jeste-nejakymi-sondami>>.
- [7] Hommel CS s.r.o. [online]. 2002 [cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.hommel-etamic.cz/cz/index.asp>>.
- [8] MITUTOYO Česko s.r.o. - Přesnost je naší profesí [online]. 2003 [cit. 2011-03-26]. Geometrické úchytky tvaru a polohy. Dostupné z WWW: <www.mitutoyo-czech.cz/cz/.../KMG_plakat%20A3_17_9-final.pdf>.
- [9] Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Kladno [online]. 2009 [cit. 2011-03-26]. Geometrické úchytky tvaru a polohy. Dostupné z WWW: <<https://www.spskladno.cz/stahuj.php?id=2433>>.
- [10] Renishaw: dotykové sondy, rotační snímače, lineární snímače, úhlové snímače, laserové kalibrační systémy, dentální systémy CAD/CAM, Ramanova spektroskopie a chirurgické roboty [online]. 2011 [cit. 2011-03-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.renishaw.cz>>.
- [11] Mitutoyo America Corporation [online]. 2011 [cit. 2011-03-26]. Dostupné z WWW: <<http://mitutoyo.com>>.
- [12] Kalibrace měřidel, délka, úhel, teplota, vlhkost kalibrační laboratoř [online]. 1998 [cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.merici-pristroje.cz>>.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 82
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- [13] NOVÁK, Zdeněk. Nová koncepce kontroly povrchu. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2010, 9, [cit. 2011-03-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-koncepce-kontroly-povrchu>>.
- [14] *Taylor Hobson - Roughness, Roundness and Non-Contact Metrology* [online]. 2011 cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.taylor-hobson.com/>>.
- [15] *Welcome to Carl Zeiss spol. s r.o. - Průmyslová měřicí technika* [online]. 1999 [cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.zeiss.cz/C1257553003B3624?Open>>.
- [16] *MITUTOYO Česko s.r.o. - Přesnost je naší profesí* [online]. 2003 [cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://mitutoyo.cz/cz/ppm.asp>>.
- [17] *Sicmat - Evolution of Gear Shaving and Gear Honing* [online]. 2008 [cit. 2011-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.sicmat.com/web/guest/home>>.
- [18] *Amest s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2011-04-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.amest.cz/>>.
- [19] *Hlavní stránka - Mahr Metrology* [online]. 2011 [cit. 2011-04-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.mahr.cz>>.
- [20] *Hexagon Metrology - Where quality comes together* [online]. 2011 [cit. 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.hexagonmetrology.com/>>.
- [21] Correction method for a coordinate measuring apparatus - Patent 6591208 [online]. 2003-08-07. Dostupné z WWW: <<http://www.freepatentsonline.com/6591208.html>>
- [22] *Leitz - Precision CMMs and Gear Inspection Centres* [online]. 2011 [cit. 2011-04-29]. Dostupné z WWW: <<http://www.leitz-metrology.com/>>.
- [23] *MIKRA - měřicí přístroje a technika pro strojírenství* [online]. 2011 [cit. 2011-05-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.mikra-ub.cz/>>.
- [24] *Výroba a dodávka hladkých, závitových a speciálních kalibrů | KALIBR GROUP s.r.o* [online]. 2000 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.kalibrgroup.cz>>.

12 Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1.1: Schéma třimenové metody měření obrobku [4].....	14
Obr. 1.2: Schéma válečkové metody měření obrobku [4]	15
Obr. 1.3: Schéma pneumatické metody měření obrobku [4]	16
Obr. 2.1: Grafická interpretace Pt, Wt, Rt [7].....	20
Obr. 2.2: Grafická interpretace povrchového elementu [7]	20
Obr. 2.3: Grafická interpretace It, In, Ir – λc [7]	21
Obr. 2.4: Grafická interpretace Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2 [7]	21
Obr. 2.5: Grafická interpretace Ra [7].....	22
Obr. 2.6: Grafická interpretace Rc [7].....	22
Obr. 2.7: Grafická interpretace Rz [7].....	22
Obr. 2.8: Grafická interpretace RSm [7].....	23
Obr. 2.9: Grafická interpretace RPc [7]	23
Obr. 2.10: Grafická interpretace R Δ q [7].....	23
Obr. 2.11: Grafická interpretace Rq [7]	24
Obr. 2.12: Grafická interpretace Rsk [7].....	24
Obr. 2.13: Grafická interpretace Rku [7]	24
Obr. 2.14: Grafická interpretace R3z [7].....	25
Obr. 2.15: Grafická interpretace Rmr (c) [7]	25
Obr. 2.16: Kontrolní prvky předpisu požadavků na strukturu povrchu [5]	26
Tab. 3.1: Tolerance geometrické přesnosti [2].....	27
Obr. 3.1: Toleranční pole přímosti a znázornění na výkrese [9].....	28
Obr. 3.2: Toleranční pole rovinnosti a znázornění na výkrese [8].....	28
Obr. 3.3: Toleranční pole kruhovitosti a znázornění na výkrese [8].....	28
Obr. 3.4: Toleranční pole válcovitosti a znázornění na výkrese [8]	29
Obr. 3.5: Toleranční pole tvaru čáry a znázornění na výkrese [8]	29
Obr. 3.6: Toleranční pole tvaru plochy a znázornění na výkrese [8]	29
Obr. 3.7: Toleranční pole sklonu a znázornění na výkrese [8]	30
Obr. 3.8: Toleranční pole kolmosti k ose a znázornění na výkrese [9].....	30
Obr. 3.9: Toleranční pole kolmosti k rovině a znázornění na výkrese [9].....	30
Obr. 3.10: Toleranční pole rovnoběžnosti a znázornění na výkrese [8]	31
Obr. 3.11: Toleranční pole souososti a znázornění na výkrese [8]	31
Obr. 3.12: Toleranční pole soustřednosti a znázornění na výkrese [9]	31
Obr. 3.13: Toleranční pole umístění a znázornění na výkrese [8]	32
Obr. 3.14: Toleranční pole souměrnosti a znázornění na výkrese [8].....	32
Obr. 3.15: Toleranční pole obvodového házení a znázornění na výkrese [8].....	32
Obr. 3.16: Toleranční pole čelního házení a znázornění na výkrese [9].....	33
Obr. 3.17: Toleranční pole celkového obvodového házení a znázornění na výkrese [9]	33
Obr. 3.18: Toleranční pole celkového čelního házení a znázornění na výkrese [9]	33
Obr. 4.1: Bezdrátový systém Renishaw Ballbar QC20-W [10]	34
Obr. 5.1: Princip měření kruhovitosti s použitím speciálního přístroje s otočným stolem [2]	35
Obr. 5.2: Princip měření kruhovitosti s použitím speciálního přístroje s otočným snímačem [2].....	35
Obr. 5.3: Princip měření kruhovitosti v prizmatické podložce – symetrické uspořádání [2]	35
Obr. 5.4: Princip měření kruhovitosti v prizmatické podložce – nesymetrické uspořádání [2].....	35
Obr. 5.5: Princip měření kruhovitosti s použitím etalonu kruhovitosti a úchylkoměru [2]	36
Obr. 5.6: Princip měření kruhovitosti měřidlem s aerostatickým středěním a indikačním přístrojem [2].....	36
Obr. 5.7: Princip měření kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji [2]	37
Obr. 5.8: Princip měření kruhovitosti na základě měření průměru spojitě (dvoubodovým měřením) [2]	37
Obr. 5.9: Princip měření kruhovitosti na základě měření průměru nespojitě (dvoubodovým měřením) [2].....	37
Obr. 5.10: Princip měření kruhovitosti nasazovacím přípravkem [2].....	37
Obr. 5.11: Princip měření přímosti speciálními přístroji [2].....	38
Obr. 5.12: Princip měření přímosti na souřadnicovém měřicím stroji [2]	38
Obr. 5.13: Princip měření přímosti úchylkoměrem od průměrného pravitka [2]	38
Obr. 5.14: Princip měření přímosti komparačním měřidlem s několika úchylkoměry [2].....	38
Obr. 5.15: Princip měření přímosti dvoubodovým měřicím můstkem s úchylkoměrem ve střední poloze [2].....	38
Obr. 5.16: Princip měření přímosti zaměřovacím dalekohledem a záměrným terčem [2]	38
Obr. 5.17: Princip měření přímosti dvoubodovým měřicím můstkem a autokolimátorem [2].....	38

Obr. 5.18: Princip měření přímosti dvoubodovým měřicím můstkem a laserovým interferometrem pro měření sklonu [2].....	38
Obr. 5.19: Princip měření přímosti tříbodovým měřicím můstkem s libelou [2]	38
Obr. 5.20: Princip měření rovinnosti využitím metod měření přímosti [2].....	39
Obr. 5.21: Princip měření rovinnosti na souřadnicovém měřicím stroji [2].....	39
Obr. 5.22: Princip měření rovinnosti koncovými měrkami od průměrného pravítka [2].....	39
Obr. 5.23: Princip měření rovinnosti úchylkoměrem od průměrného pravítka [2]	39
Obr. 5.24: Princip měření rovinnosti rámem s úchylkoměry [2].....	39
Obr. 5.25: Princip měření rovinnosti zaměřovacím dalekohledem s libelou a se záměrným terčem [2]	39
Obr. 5.26: Princip měření válcovitosti přístrojem pro měření úchylek tvaru [2]	40
Obr. 5.27: Princip měření válcovitosti na souřadnicovém měřicím stroji [2]	40
Obr. 5.28: Princip měření válcovitosti na stacionárním dvoubodovém měřicím přístroji [2].....	40
Obr. 5.29: Princip měření válcovitosti ručním dvoubodovým měřidlem průměru [2].....	40
Obr. 5.30: Princip měření válcovitosti měřidlem s aerostatickým středěním [2]	40
Obr. 6.1: Měření házení na zuboměru ZEISS [1]	41
Obr. 6.2: Měření tloušťky zubu v konstantní výšce [1].....	41
Obr. 6.3: Zuboměr PREISSER [23].....	42
Obr. 6.4: Přenosný komparátor na měření úchyly normální rozteče [2].....	42
Obr. 6.5: Princip měření M [1]	42
Obr. 6.6: Měření čelní rozteče úhlovou indexovou metodou [2].....	42
Obr. 7.1: Renishaw Equator 300 [10]	43
Tab. 7.1: Technické parametry – Renishaw Equator 300 [10]	44
Obr. 7.2: Možnost zabudování do výroby [10].....	44
Obr. 7.3: Rádiová obrobková sonda Renishaw RMP600 [10]	45
Obr. 7.4: Technologie RENGAGE [10]	46
Obr. 7.5: Princip funkce sondy RMP600 [10].....	46
Tab. 7.2: Technické parametry – RMP600 [10]	47
Obr. 7.6: Princip funkce laserového skenovacího mikrometru [11].....	48
Obr. 7.7: Měření vnějšího průměru válcového obrobku [11].....	49
Obr. 7.8: Měření vnějšího průměru a kruhovitosti válcového obrobku [11]	49
Obr. 7.9: Měření tvaru obrobku [11]	49
Obr. 7.10: Laserový skenovací mikrometr Mitutoyo LSM-516S [11]	50
Obr. 7.11: Zobrazovací jednotka Mitutoyo LSM-5200 [11]	50
Tab. 7.3: Technické parametry – LSM-516S [11].....	51
Obr. 7.12: Design sledovacího měřidla Amest EC-3 [18].....	51
Obr. 7.13: Hlavní části měřidla Amest EC-3 [18]	52
Obr. 7.14: Amest EC-3 při obráběcím procesu [18].....	52
Obr. 8.1: Optická destička firmy TESA [12].....	53
Obr. 8.2: Interferenční vlny na optické destičce [12]	53
Obr. 8.3: Princip odrazu světla při kontrole optickou destičkou [12].....	53
Obr. 8.4: Nožové pravítko 104 H firmy Martool [12]	54
Obr. 8.5: Příložný úhelník 105 F firmy Martool [12].....	54
Obr. 8.6: Třmenový kalibr [24]	55
Obr. 8.7: Válečkový kalibr [24].....	55
Obr. 8.8: Toleranční pole válečkového kalibru [24].....	55
Obr. 8.9: Přístroj na měření struktury povrchu Mitutoyo Surftest SJ-400 [11].....	56
Obr. 8.10: Měření struktury povrchu válcové plochy [11]	56
Obr. 8.11: Princip R-kompence povrchu válcové plochy [11].....	56
Tab. 8.1: Technické parametry – Surftest SJ-402 [11]	57
Obr. 8.12: Talymaster [13].....	58
Obr. 8.13: Vyhodnocení drsnosti povrchu, přímosti a kruhovitosti [13].....	59
Obr. 8.14: Talysurf CCI Lite [14].....	59
Obr. 8.15: Povrch soustružený diamantem [14]	60
Tab. 8.2: Technické parametry – Talysurf CCI Lite [14]	60
Obr. 8.16: Profiloměr Contracer 3100 [11]	61
Obr. 8.17: Technologie ABSOLUTE [11].....	61
Tab. 8.3: Technické parametry – Contracer 3100S4 [11].....	62
Obr. 8.18: Rondcom 54 [15].....	63
Obr. 8.19: Rondcom 54 při měření [15]	63

Tab. 8.4: Technické parametry – Rondcom 54 [15]	64
Obr. 8.20: Rondcom 75 [12]	65
Obr. 8.21: Měření klikové hřídele pomocí přístroje Rondcom 75 [12]	65
Tab. 8.5: Technické parametry – Rondcom 75 [12]	66
Obr. 8.22: Roundtest RA-H5100 AH [16]	67
Obr. 8.23: Všestranné využití přístroje Roundtest RA-H5100 AH [16]	67
Tab. 8.6: Technické parametry – Roundtest RA-H5100 AH [16]	68
Obr. 8.24: Carl – Zeiss F25 [15]	68
Obr. 8.25: Příklady měřených součástí a snímací systém přístroje F25 [15]	68
Obr. 8.26: Sicmat ND300 [17]	69
Obr. 8.27: Měření ozubeného kola pomocí systému Sicmat ND300 [17]	69
Tab. 8.7: Technické parametry – Sicmat ND300 [17]	70
Obr. 8.28: Systém DEXTERA fy Amest [18]	71
Obr. 8.29: KS-334 fy Amest [18]	71
Obr. 8.30: KS-343 fy Amest [18]	71
Obr. 8.31: KS-388 fy Amest [18]	72
Obr. 8.32: Mahr 818 GX [19]	72
Obr. 8.33: Mahr 818 GX v kombinaci s posuvným výškoměrem a měřicím stojanem [19]	72
Obr. 8.34: MahrShaft SCOPE [19]	73
Obr. 8.35: Snímací systém stanice MahrShaft SCOPE [19]	73
Obr. 8.36: Sloupový [2]	74
Obr. 8.37: Výložníkový [2]	74
Obr. 8.38: Portálový [2]	74
Obr. 8.39: Mostový [2]	74
Obr. 8.40: Indexovací hlavice TESASTAR-i [12]	75
Obr. 8.41: Pětiosé skenování pomocí Renishaw REVO [10]	75
Obr. 8.42: Části souřadnicového měřicího stroje [21]	76
Obr. 8.43: Souřadnicový měřicí stroj Leitz Infinity [22]	77
Obr. 8.44: Použití CMM Leitz Infinity [22]	77
Obr. 8.45: Laserová skenovací hlava CMS 106 [20]	78
Tab. 8.8: Základní technické parametry – CMS 106 [20]	78
Obr. 9.1: Diagram měřicí techniky na měření geometrické přesnosti obrobku	79

13 Seznam příloh

Příloha 1: Komplexní měření součásti na souřadnicovém měřicím stroji