

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vliv metodiky měření vybraných úchylek tvaru a polohy ve firmě
ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.

Autor: **Bc. Nikola HOLUB**

Vedoucí práce: **Ing. Martin MELICHAR, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Nikola HOLUB**
Osobní číslo: **S12N0014P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**
Název tématu: **Vliv metodiky měření vybraných úchylek tvaru a polohy ve firmě ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod, cíle DP, teoretické poznatky o problematice
2. Rozbor a zhodnocení současného stavu řešené problematiky, metodiky měření
3. Variantní návrhy řešení problematiky DP a jejich zhodnocení, výběr nejvhodnější varianty
4. Technicko-ekonomické zhodnocení řešení
5. Závěr, celkové zhodnocení výsledků DP

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **50 - 70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:

- **STANĚK, Jiří a NĚMEJC, Jiří. Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. 58 s. ISBN 80-7043-363-9.**
- **MLČOCH, L. , SLIMÁK, I. Řízení kvality a strojírenská metrologie, Praha : SNTL, 1987**
- **TICHÁ, Šárka, Strojírenská metrologie, Ostrava: VŠT-TU Ostrava, 2004. 112.s. ISBN 80-248-0672-X**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Melichar, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění
Konzultant diplomové práce: **Ing. Libor Hamouz, Ph.D.**
ASTRO KOVO, Plzeň, s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **20. října 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **22. května 2015**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. října 2014

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Melicharovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování této diplomové práce.

Děkuji také Ing. Liboru Hamouzovi, Ph.D. a Petru Malému z firmy ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o. za jejich konzultace, rady a vstřícný přístup při řešení problémů vzniklých v průběhu práce.

Další poděkování patří také Ing. Janu Kutlwašerovi za rady a pomoc při laboratorním měření.

Děkuji také svým rodičům, sourozencům a přítelkyni za plnou podporu při studiu.

Tato diplomová práce vznikla za podpory GA ZČU při řešení projektu SGS-031-2013 s názvem "Výzkum a vývoj pro inovace v oboru strojírenská technologie - technologie obrábění".

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Holub	Jméno Nikola	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Melichar, Ph.D.	Jméno Martin	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Vliv metodiky měření vybraných úchylek tvaru a polohy ve firmě ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	98	TEXTOVÁ ČÁST	86	GRAFICKÁ ČÁST	12
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce se zabývá měřením odchylek tvaru - hlavně válcovitostí a kruhovitostí a drsností povrchu. Vybrané součásti jsou měřeny na rozdílných strojích odlišných přesností, za užití různých metodik měření. Důraz je kladen na využití moderního kruhoměru od firmy Taylor Hobson Ltd., který byl nově v tomto roce univerzitou zakoupen. Výsledná data jsou porovnána a analyzována s ohledem na technologii výroby. Součástí práce je i technicko - ekonomické hodnocení porovnávající náklady na měření odchylky kruhovitosti dílů buď externě nebo na případně zakoupeném kruhoměru Surtronic R80 přímo ve firmě ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.
KLÍČOVÁ SLOVA	kruhovitost, válcovitost, drsnost, odchylka, měření, stroj, součást, povrch, přesnost, vlna, upnutí, dotek, analýza, filtrování, frekvence

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Holub	Name Nikola	
FIELD OF STUDY	N2301 „Manufacturing Processes – Technology of metal cutting“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Melichar, Ph.D.	Name Martin	
INSTITUTION	ZCU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITTLE OF THE WORK	Influence of methodology measuring of selected deviations of shape and position in the company ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	98	TEXT PART	86	GRAPHICAL PART	12
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Diploma thesis deals with a measuring of shape deviations - especially with roundness and cylindricity and surface roughness. Chosen parts are measured on different machines with diverse accuracy and using a different methodology of measurement. The accent is set on use of a modern roundness instrument made by company Taylor Hobson Ltd., which was bought this year by university. Resulting dates are compared and analyzed with reference to production technology. A part of the thesis is also a technical economic evaluation which compares a cost for a measuring of roundness either external or directly in the company of submitter of diploma thesis on eventually bought roundness instrument Surtronic R80.
KEY WORDS	roundness, cylindricity, roughness, deviation, measurement, machine, part, surface, accuracy, undulation, chucking, contact, analysis, filtering, frequency

Obsah

1	Úvod.....	10
1.1	Představení společnosti.....	12
1.2	Odchytky tvaru a polohy (makrogeometrie povrchu)	13
2	Výchozí stav řešené problematiky, metodiky měření	14
2.1	Kruhovitost	14
2.1.1	Kruhovitost – měřená a skutečná vzdálenost	15
2.1.2	Druhy měření.....	18
2.2	Měření kruhovitosti ve firmě ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.....	21
2.2.1	Tříbodové měřidlo.....	23
2.2.2	Vnitřní dutinoměr	24
2.2.3	Souřadnicový měřicí stroj	26
2.3	Válcovitost.....	27
2.4	Měření válcovitosti ve firmě ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.....	28
2.5	Drsnost povrchu.....	29
2.5.1	Vybrané parametry drsnosti	29
2.5.2	Filtry profilu	31
2.6	Měření drsnosti ve firmě ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.....	31
3	Laboratorní měření.....	32
3.1	Podmínky přesného měření	32
3.2	Rotační dotyková metoda měření kruhovitosti.....	33
3.3	Bezkontaktní interferometrické 3D měření	34
3.4	Grafické zobrazení.....	35
3.5	Metody vyhodnocování odchytky kruhovitosti.....	36
3.5.1	Metoda nejmenších čtverců.....	36
3.5.2	Metoda minimální opsané a maximální vepsané kružnice.....	36
3.5.3	Metoda maximální vepsané kružnice	37
3.5.4	Metoda minimální opsané kružnice	37
3.6	Parametry.....	38
3.6.1	Celková kruhovitost (K_c).....	38
3.6.2	Kruhovitost prohlubně a výstupku (K_p a K_v)	38
3.6.3	Házení.....	39

3.6.4	Soustřednost	39
3.6.5	Excentricita.....	39
3.6.6	Dílčí úchylka kruhovitosti	39
3.6.7	Spád.....	39
3.7	Vyhodnocování a analýza naměřených dat	40
3.7.1	2CR Filtr.....	44
3.7.2	Gaussův Filtr	45
3.7.3	Zhodnocení.....	46
4	Měření na přístroji Talyrond 585LT	47
4.1	Software TalyMap	48
4.2	Měřicí zařízení.....	49
4.2.1	Měřicí dotek	49
4.3	Nejistota měření.....	50
4.3.1	Standardní nejistoty typu A (u_A)	50
4.3.2	Standardní nejistoty typu B (u_B).....	51
4.4	Měření kruhovitosti	51
4.4.1	Podložka vnitřní průměr 51 mm.....	52
4.4.2	Podložka vnitřní průměr 53 mm.....	53
4.4.3	Víčko	53
4.4.4	Zhodnocení měření.....	54
4.5	Měření válcovitosti	55
4.5.1	Podložka vnitřní průměr 51 mm.....	55
4.5.1	Podložka vnitřní průměr 53 mm.....	56
4.5.2	Víčko	56
4.5.3	Zhodnocení měření.....	58
4.6	Měření drsnosti povrchu	58
4.6.1	Podložka vnitřní průměr 51 mm.....	59
4.6.2	Podložka vnitřní průměr 53 mm.....	63
4.6.3	Víčko	65
4.6.4	Zhodnocení měření.....	67
5	Měření na souřadnicovém měřicím přístroji	68
5.1	LK - 90C.....	68
5.2	ZEISS PRISMO navigator.....	69
6	Vzájemné srovnání naměřených hodnot	70
6.1	Kruhovitost	70

6.2	Válcovitost.....	71
6.3	Drsnost povrchu.....	71
7	Technicko – ekonomické zhodnocení.....	73
7.1	Kalkulace výrobních nákladů.....	74
7.2	Varianta č. 1: Externí měření.....	76
7.2.1	Kontrolní a měrová služba Jihlava.....	77
7.2.2	Český metrologický institut.....	77
7.2.3	Prima Bilavčik s.r.o.....	77
7.2.4	Západočeská univerzita v Plzni.....	78
7.2.5	Zhodnocení varianty.....	78
7.3	Varianta č. 2: Měření na zakoupeném kruhoměru.....	79
7.4	Výběr varianty.....	80
7.4.1	Nevýhody externího měření.....	81
8	Závěr.....	82
9	Seznam použitých zdrojů informací.....	84
10	Seznam příloh.....	87

Seznam zkratk a symbolů

ANSI	American National Standards Institute (Americký národní standardizační institut)
ČSN	Česká státní norma
DIN	Deutsches Institut für Normung (Německý institut pro normování)
ISO	International Organization for Standardization (mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem)
CMM	Coordinate Measuring Machine (souřadnicový měřicí stroj)
CNC	Computer Numeric Control (číslicové řízení počítačem)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Národní úřad pro letectví a kosmonautiku)
UPR	Undulations per revolution (vlny za otáčku)
2D, 3D, 4D	dvou, tří, čtyř dimenzionální
DPH	Daň z přidané hodnoty
Cu	Cuprum (Měď)
Sn	Stannum (Cín)
Ni	Niccolum (Nikl)

Seznam použitých veličin

[°C]	Teplota
------	---------

1 Úvod

S rostoucí úrovní automatizace a stále se vyvíjejícími technologiemi v oblasti strojírenství a měřicí techniky, rostou také požadavky na přesnost a kvalitu obrobeného povrchu. S tím souvisí předepisování stále menších a menších tolerancí na výrobních výkresech, tedy i nutnost věnovat zvýšenou pozornost výstupní metrologické kontrole. Tam, kde před pár lety na ověření, zda je daný rozměr v toleranci, stačilo obyčejné posuvné měřítko nebo mikrometrický odpich, je dnes potřeba užívat moderní, sofistikované souřadnicové měřicí stroje, aby bylo docíleno splnění požadavků zákazníka.

S již zmíněným pokrokem měřicí techniky se v současnosti metrologům ve strojírenských podnicích otevírají nové možnosti a metody měření při výstupní kontrole. Měření může probíhat kontaktně či bezkontaktně, dílensky či laboratorně, ručně či automatizovaně, konvenčně či nekonvenčně atd. A právě správně zvolená metodika měření může mít zásadní vliv na to, zda naměřené hodnoty jsou ve výrobní toleranci nebo již mimo ni.

Pořízení nového měřicího stroje do výroby není levná záležitost, proto je třeba před jeho pořízením provést důkladnou finanční a časovou analýzu, která pomůže odhalit, zda současné metrologické přístroje a metodiky vzhledem k předepsaným výrobním tolerancím již nevyhovují. Svoji roli hraje také zákazník, který klade vyšší požadavky na kontrolu kvality. V některých případech je požadována stoprocentní kontrola vyrobených dílů, kdy ruční měření v sériové výrobě je obtížné a neefektivní.

Tato diplomová práce se zabývá vlivem metodiky měření na výslednou odchylku u předem vybraných úchylek tvaru a polohy. Práce je řešena ve spolupráci s firmou *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.*, která se specializuje na automatizované obrábění kovů, především dílů do automobilového a leteckého průmyslu.

Práce se dělí do několika základních bodů, ve kterých jsou nejprve uvedeny teoretické informace o jednotlivých úchylnkách a analýza současného stavu měření. Dále následuje praktická část, ve které byly součásti proměřeny na různých přístrojích, rozdílné přesnosti a výsledné hodnoty porovnány a okomentovány. Na závěr je provedeno technicko - ekonomické zhodnocení.

Cílem diplomové práce je provést měření vybraných úchylek tvaru a polohy v dílenských a laboratorních podmínkách, výsledné hodnoty vzájemně porovnat a posoudit vhodnost užití dané metodiky měření s ohledem na velikost předepsané geometrické tolerance. Poté v závislosti na výsledcích provést technicko - ekonomické zhodnocení pro

zefektivnění měřicího procesu a stanovení optimální doby a podmínek, kdy by již firma měla zvážit koupi nového měřicího stroje, což s sebou na jedné straně přinese přesnější, víceúčelové, automatizované měření, ale na straně druhé pravděpodobně delší dobu měření, nároky na proškolení personálu a počáteční finanční investici.

1.1 Představení společnosti

- vypracováno s použitím [1]

Společnost *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* se specializuje na automatizované obrábění železných i neželezných kovů a plastů převážně pro automobilový průmysl a realizaci kooperací dle dokumentace dodané zákazníkem. Jedná se o zakázkovou, sériovou a malosériovou výrobu převážně rotačních součástí. Tato ryze česká společnost byla založena v roce 1998 a sídlí v Třemošné u Plzně. V současnosti zaměstnává přibližně 60 zaměstnanců, pracujících v třísměnném provozu.



Obr. 1.1: *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* – pohled na firmu [1]

Firma disponuje moderními CNC obráběcími centry japonské výroby *MAZAK* a *Nakamura Tome*, vybavenými poháněnými jednotkami, která jsou schopná provádět i jednoduché frézovací a vrtací operace. Výrobní množství jedné série se nejčastěji pohybuje od 500 ks do 10 000 ks, ale není problém vyrábět menší nebo naopak větší série. Jako polotovary je převážně používána automatová, svařitelná, uhlíková a nerez ocel, hliník a jeho slitiny a mosaz. Obráběn je tyčový materiál do průměru 65 mm a kusový materiál (odlitky, výkovky) do průměru 100 mm.



Obr. 1.2: Ukázka vyráběných dílů [1]

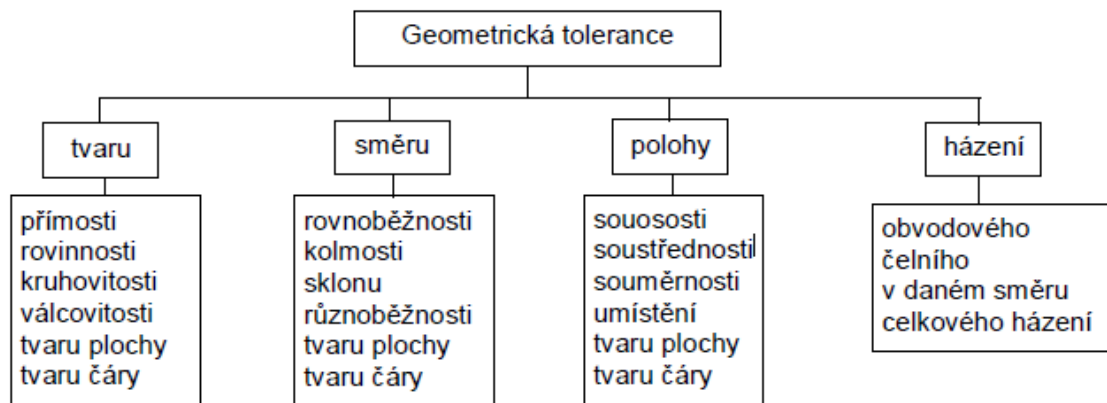
1.2 Odchytky tvaru a polohy (makrogeometrie povrchu)

- vypracováno s použitím [24]

Každý výrobní proces vykazuje určité nepřesnosti a ani technologie obrábění není výjimkou. Skutečné, již na čisto obrobené plochy, vykazují vždy určité odchytky vzhledem k jmenovitým hodnotám uvedených na výrobním výkrese. Z toho důvodu musí být jednotlivé rozměry tolerovány.

Geometrická tolerance je definována jako toleranční pole, ve kterém se musí nacházet skutečný prvek součásti. Základní tolerance tolerované pro geometrickou přesnost dle normy ISO 1101 jsou rozděleny na obrázku 1.3.

Geometrické odchytky a rovněž tak rozměrové odchytky jsou výsledkem nepřesnosti procesu výroby, proto musí být důsledně měřeny a kontrolovány.



Obr. 1.3: Rozdělení geometrických tolerancí [24]

2 Výchozí stav řešení problematiky, metodiky měření

- vypracováno s použitím [1], [23]

Firma *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* zpracovává převážně veliké, několikatisícové výrobní série, u kterých je ve většině případů ze strany zákazníka vyžadována kontrola, že se všechny tolerované rozměry nachází v předepsané geometrické toleranci. Hodnoty těchto tolerancí se pohybují v řádu setin, až tisícin milimetru. Správně zvolena metodika měření hraje v tomto případě důležitou roli. Například předepsanou úchytku kruhovitosti 0,05 mm lze změřit poměrně snadno a rychle ručně na dílně za pomoci tříbodového měřidla a číselníkového úchylkoměru, ale úchytku kruhovitosti 0,006 mm musí již být změřena na přesném kruhoměru.

Každá metodika měření se liší výslednou přesností měření, postupem měření, dobou měření, nároky na proškolení obsluhy měřidla a samotným množstvím použitých měřících pomůcek.

V této kapitole jsou popsány současné měřící postupy prováděné ve firmě *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.*, shrnuty teoretické poznatky o vybraných úchytkách tvaru a polohy, s kterými firma přichází nejčastěji do styku, a u kterých v současné době sice nejsou problémy s měřením odchylek a jejich výslednými hodnotami, ale do budoucna je snahou firmy vyhovět i požadavkům zákazníků na nižší předepisované tolerance, tedy být schopen měřit i mnohem menší geometrické odchylky než doposud, a tím zvýšit svoji konkurenceschopnost na trhu.

2.1 Kruhovitost

Při pohledu kolem sebe je jasné, že stroje s rotujícími díly a součástmi jsou nedílnou součástí našeho života. Nejsou to pouze automobily a nástroje, které denně užíváme, ale kruhové díly nechybí ani v těch nejmenších hodinkách nebo naopak v obrovských elektrárnách. Ze strojírenské praxe lze jmenovat: hřídele, ložiska, převodovky, pouzdra, kola. Všechny tyto díly mají jedno společné: jsou kruhové. Otázkou jen zůstává, jak moc kruhové?

V současnosti bylo vyvinuto mnoho zařízení a strojů, které jsou schopny měřit kruhovitost a další užitečné parametry. Každý kdo je spojen s výrobním procesem by měl mít základní znalost o funkčnosti těchto strojů, jejich kapacitách a limitech a jak interpretovat výsledky měření - ať už se jedná o konstruktéra, programátora nebo manažera. Samotný výsledek, zda se daný výrobek nachází v dané toleranci kruhovitosti, není totiž jediná

informace, kterou nám měření kruhovitosti poskytuje. Z výsledků měření může být dále monitorován a optimalizován celý výrobní proces. Zvláště pak:

Výkon obráběcího stroje:

Zda obráběcí stroj neustále a opakovaně obrábí stejné díly v rozmezí dané tolerance.

Opotřebením nástroje:

Nadměrné opotřebením signalizuje špatně zvolené řezné podmínky.

Stabilita procesu:

Zatímco jeden obráběcí stroj může dlouhodobě produkovat kvalitní díly, které leží v toleranci, stejný výrobek obráběný na jiném stroji od jiného výrobce může vykazovat vyšší odchylky kruhovitosti.

Lícování dílů:

U velkosériových zakázek je snaha předejít zjištění, že díl nelze smontovat kvůli chybné a nepřesné výrobě, když již bylo vyrobeno několik desítek, v horším případě stovek dílů. Náklady na přepracování zakázky jsou pak značné.

Zatímco turbíny v lodním a energetickém průmyslu mohou obsahovat ložiska o průměru 1 metr a víc, ve většině případů jsou ložiska v rozmezí od 5 až 200 mm. V extrémním případě lze narazit i na kuličková ložiska, kde průměr kuličkového elementu je 0,5 mm.

Tak jako v každém strojírenském odvětví i zde záleží do jaké míry a přesnosti je kruhovitost posuzována.

V automobilovém průmyslu se úchylka kruhovitosti u ložiskového čepu pohybuje u hodnoty 5 μm , což vzhledem k pokročilé měřicí technologii patří k relativně velké úchylce. Přísnější tolerance v rozmezí 0,25 μm až 0,5 μm lze nalézt například u částí jako je vstřikovač paliva a klasická ložiska. Americká instituce NASA se dokonce pyšní gravitační sondou, jejíž mechanický gyroskop obsahuje kruh o průměru 100 m a maximální odchylku kruhovitosti 7 nanometrů.

2.1.1 Kruhovitost – měřená a skutečná vzdálenost

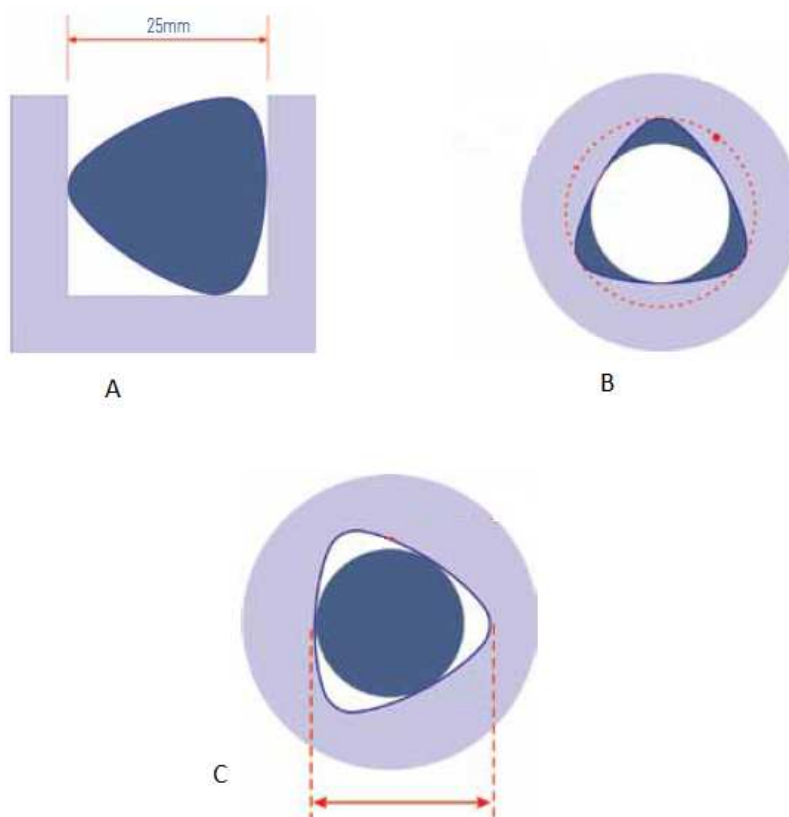
Mnoho lidí se nesprávně domnívá, že pro určení úchylky kruhovitosti je dostatečně změřit součást v několika rozdílných průměrech a rozdíl naměřených hodnot činí odchylku kruhovitosti. Nejjednodušší cesta, jak toto chybné tvrzení dokázat, je ilustrována na

obrázku 2.1. Lze zde zřetelně vidět, že ačkoli na posuvce byla naměřena stejná hodnota ve dvou rozdílných průměrech, mince určitě není kruhovitá.



Obr. 2.1: Stejná hodnota průměru ve dvou různých polohách mince [23]

Kruhovitost součástí je zjišťována z toho důvodu, že tyto díly (např. víčka, příruby) následně musí pasovat na hřídel nebo být nalícovány do děr (ložiskové čepy). Například u čepu, u kterého po vyrobení byl naměřen průměr 25 mm, by se předpokládalo, že bude pasovat do díry o průměru 25 mm. Kvůli vysoké úchylce kruhovitosti tomu tak ovšem nebude. Čep totiž po obrobení a odepnutí ze sklíčidla bude mít tendenci deformovat se v bodech upnutí obrobku – obrázek 2.2 A.

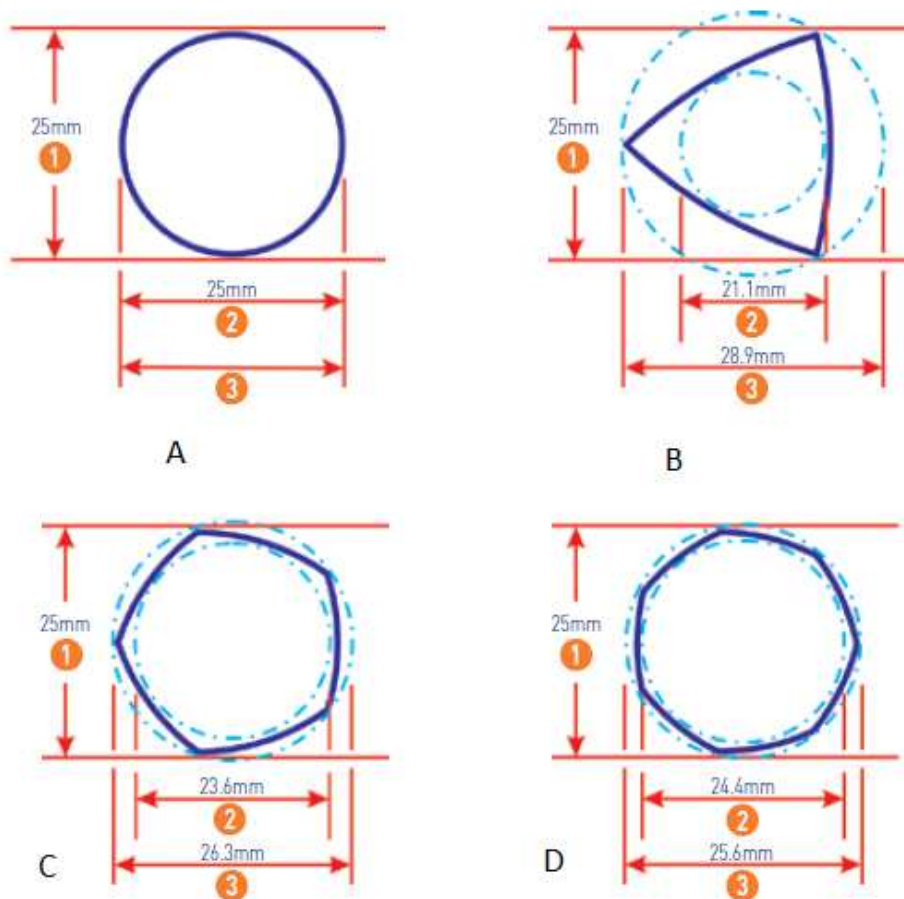


Obr. 2.2: Rozdíl mezi měřenou a skutečnou vzdáleností [23]

Tomuto tvaru součásti po obrobení již nebude stačit průměr díry 25 mm, ale vlivem velké odchylky kruhovitosti musí být otvor na čep 28,9 mm – v obrázku 2.2 B je tento zvětšený průměr vyznačen červeně.

Obdobně lze tento typ nepřesnosti výroby spatřit i v případě výroby díry, kdy do takto deformované díry o vyrobeném průměru 25 mm bude pasovat hřídel maximálně o průměru 21,1 mm – obrázek 2.2 C.

Podobné případy definování pojmu měřené a skutečné vzdálenosti zaviněné úchylkou kruhovitosti jsou k vidění na obrázku 2.3. Obrázek s označením A zobrazuje dokonale kruhovou součást.



Obr. 2.3: 1- měřená vzdálenost, 2 - skutečná vnitřní vzdálenost, 3 - skutečná vnější vzdálenost [23]

2.1.2 Druhy měření

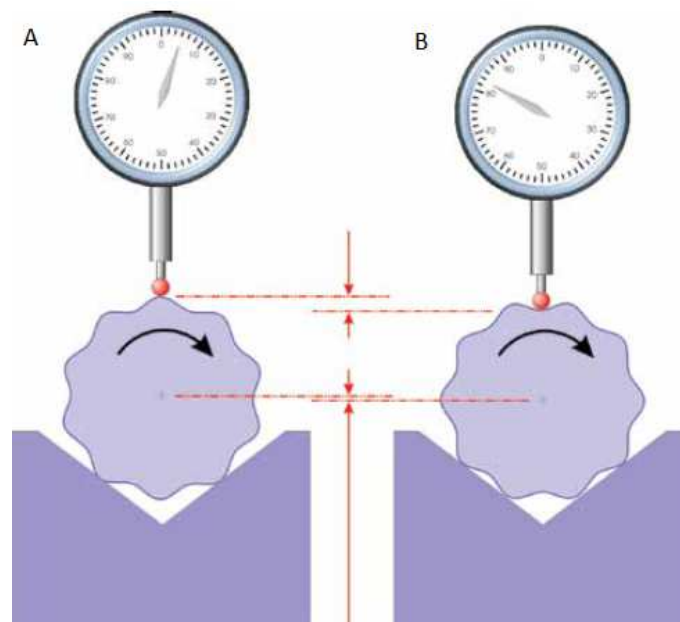
- vypracováno s použitím [17], [23]

Dvoubodová metoda

Již výše popisovaná metoda, kdy za použití posuvky měříme průměry v různých řezech po obvodu součásti. Patří k nejjednodušším a nejméně přesným metodám měření odchylky kruhovitosti.

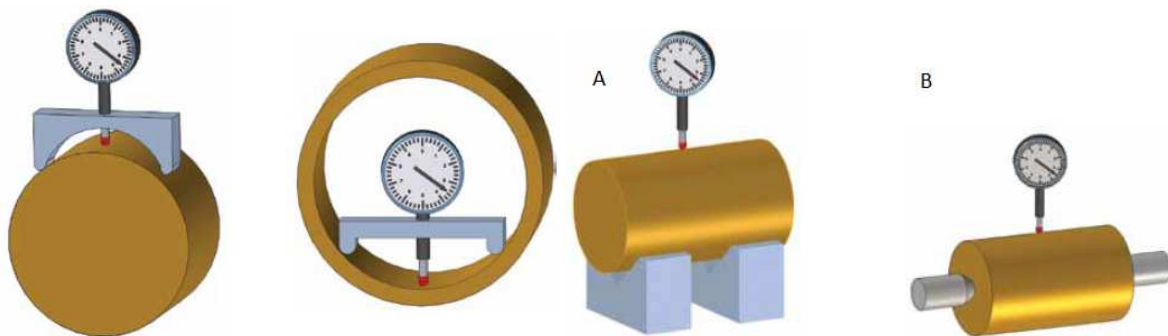
Tříbodová metoda

Součást je uložena a otáčí se v prizmatické podložce tvaru V. Změna tvaru je zaznamenávána výchylkami číselníkového úchylkoměru. Výchylka bude největší, budou-li se nerovnosti současně dotýkat jak ramen prizmatické podložky, tak dřívku číselníkového úchylkoměru – obrázek 2.4 A. Hodnota odchylky, která je naměřena na číselníkovém úchylkoměru, není závislá jenom na výšce jednotlivých vrcholků nerovnosti, ale i na nerovnostech povrchu podél délky měřené součásti a samotným úhlem, který svírá prizmatická podložka. Další zanášení nepřesností do měření vzniká, jsou – li nepravidelnosti na povrchu pravidelně rozmístěny. Pak každý z těchto hrbolů ovlivňuje číselníkový úchylkoměr právě třikrát. Poprvé při kontaktu s dřívkem a poté při kontaktu každého z dvou ramen prizmatické podložky.



Obr. 2.4: Tříbodová měřící metoda [23]

Tuto tříbodovou měřící metodu odchylky kruhovitosti lze obdobně užít za pomoci přípravku i pro měření velikých hřídelí a děr. Dlouhé hřídele mohou být podepřeny ještě jednou prizmatickou podložkou, s umístěným číselníkovým úchylkoměrem mezi nimi (obr. 2.5 A). V tomto případě bude měření negativně ovlivněno průhybem součásti a ztrátou přímosti. Rozdílná a přesnější metoda je upnout měřenou součást do středících hrotů (obr. 2.5 B), kdy dojde k vyvarování se kontaktu součásti s prizmatickou podložkou, ale není zabráněno negativnímu působení průhybu součásti. Ten by šel částečně odstranit přesunutím číselníkového úchylkoměru ke konci součásti, zde ale zase musí být počítáno s nepravidelnou kruhovitostí (vliv upnutí, manipulace, upíchnutí obrobku na soustruhu).



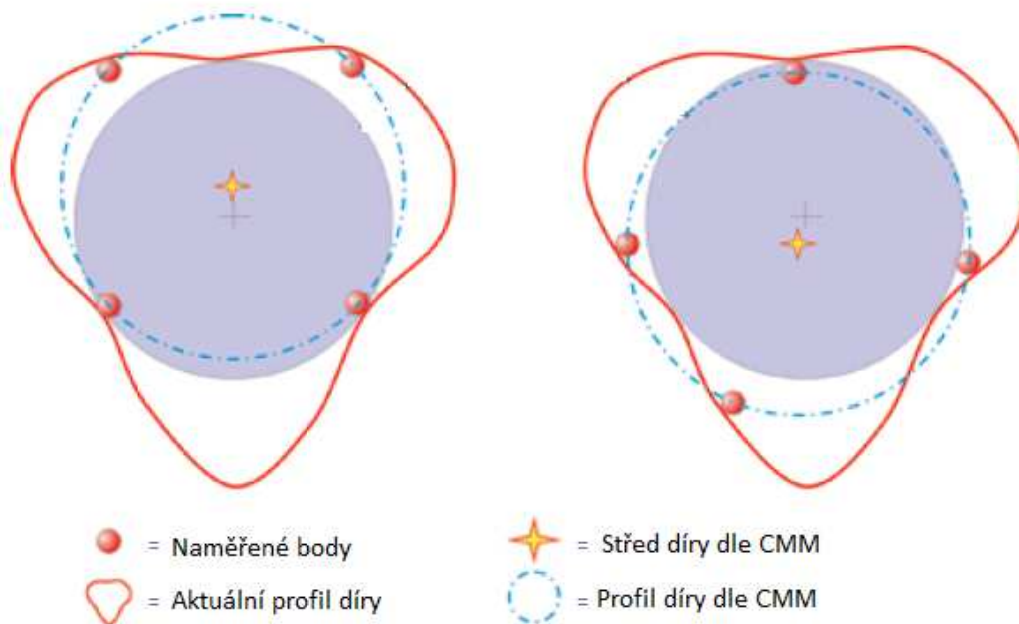
Obr. 2.5: Další možnosti užití tříbodové měřící metody [23]

Přes všechny zmíněné nedostatky patří tříbodová metoda k relativně snadno proveditelným a na dílně často užívaným kontrolám kruhovitosti součástí. Zjištěné odchylky kruhovitosti, naměřené touto metodou, jsou ve většině případů akceptovány zákazníky, že je jejich díl kruhovitý natolik, aby splnil svoji další požadovanou funkci. Tato metoda je doporučována pro zjišťování úchylek kruhovitosti v řádu několika setin milimetru.

Souřadnicový měřící stroj

Další možná přípustná metoda je užití souřadnicového měřícího stroje (CMM). Tyto stroje jsou vybaveny dotykovou spínací sondou, která při kontaktu s měřenou součástí zaznamená a uloží pozici dotykového bodu. CMM jsou v dnešní době nedílnou součástí výrobních podniků, vzhledem k jejich mnoha účelnému použití při proměrování tvarově složitých součástí. Při měření úchylky kruhovitosti jsou ovšem částečně limitovány.

Demonstrování chybného vyhodnocení kruhovitosti je zobrazeno na obrázku 2.6, kdy byly u stejné součásti dvakrát po sobě naměřeny vždy 4 body po obvodu. Červená barva reprezentuje skutečný nekruhovitý tvar díry. CMM v obou případech chybně vyhodnotil, že díry jsou perfektně kruhové, stejně veliké, ale s rozdílnými středy. Tento případ je samozřejmě extrémní. Výrobci CMM doporučují pro takový typ měření užití alespoň sedmi bodů. Což nám na jednu stranu přinese přesnější určení středu díry, ale celkové vyhodnocení kruhovitosti bude pořád stále značně nepřesné.



Obr. 2.6: Měření úchylky kruhovitosti pomocí souřadnicového měřicího stroje [23]

Jedním z nedostatků je zde počet naměřených dat, což je hlavní nevýhoda ve srovnání s kruhoměrem, který pracuje a vyhodnocuje úchylku kruhovitosti v řádech několika tisíc naměřených bodů. O tomto metrologickém měřidle je detailně psáno v kapitolách 3 a 4. Sejmutí několika stovek bodů pomocí CMM je samozřejmě možné, za využití tzv. skenovacího programu. Celý proces by byl ale časově náročnější. Při užití CMM má navíc každý měřený bod určitou polohovou nejistotu v prostoru, což zanáší chybu i do vyhodnocování kruhovitosti. Souřadnicové měřicí stroje jsou doporučovány pro kontrolu součástí s předepsanou tolerancí kruhovitosti 10 μm a vyšší.

2.2 Měření kruhovitosti ve firmě ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.

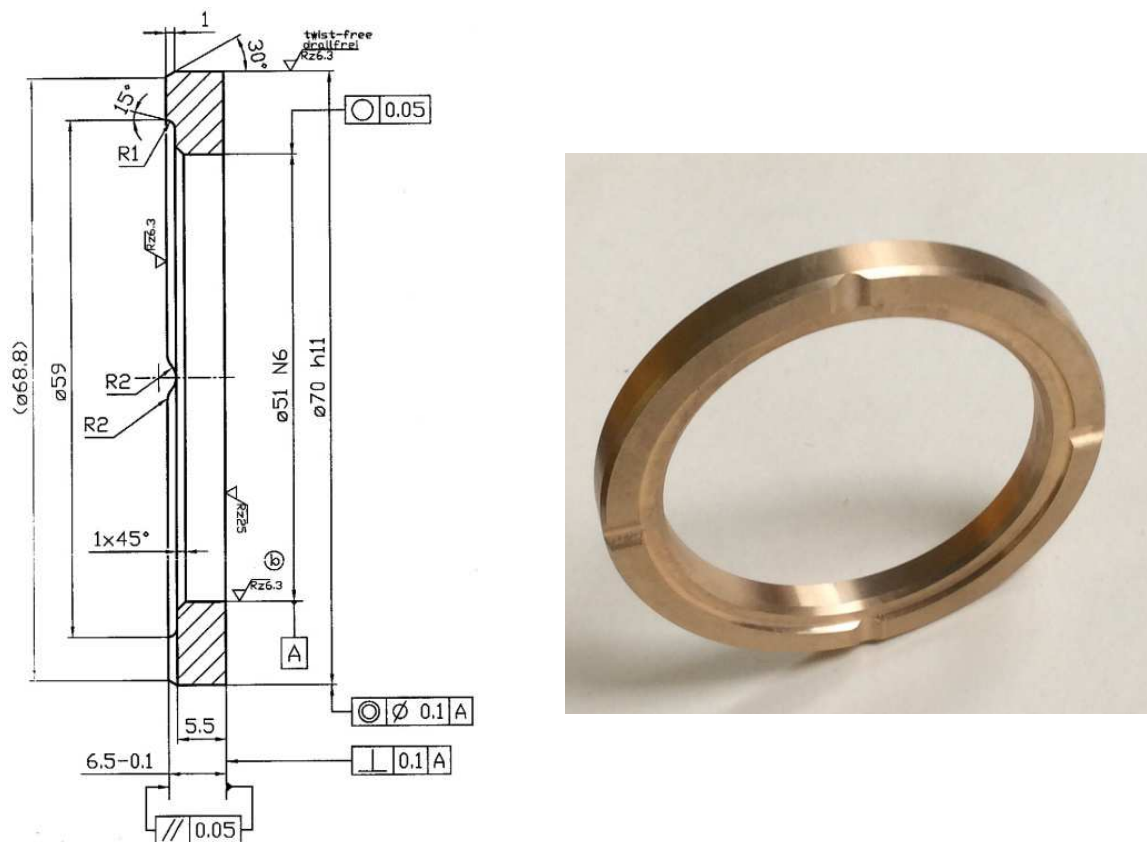
- vypracováno s použitím [1], [13], [23]

Pro praktické ověření vlivů jednotlivých metodik měření byly firmou vybrány 3 součásti, u kterých byla přeměřena úchylka kruhovitosti v dílenských a následně v laboratorních podmínkách (kapitoly 4 a 5).

1) Přítlačná podložka vnitřní průměr 51 mm

Jedná se o podložku, která je vyráběna z válcového polotovaru slitiny CuSn12Ni. Z jednoho polotovaru (obr. 2.8) je zhotoveno 9 kusů. Technologie výroby probíhá obrobením přední strany obrobku, následuje přepnutí do druhého vřetena, upíchnutí součásti a vysoustružení přesné díry. Vzhledem k relativně velkému průměru díry a malému vnějšímu průměru obrobku, je zde třeba důsledně kontrolovat tuhost upnutí v druhém vřetenu, aby byla dosažena předepsaná tolerance kruhovitosti a bylo co nejvíce zamezeno následné deformaci obrobku vlivem upnutí do čelistí.

Zjednodušený výkres a model podložky je zobrazen na obrázku č. 2.7.

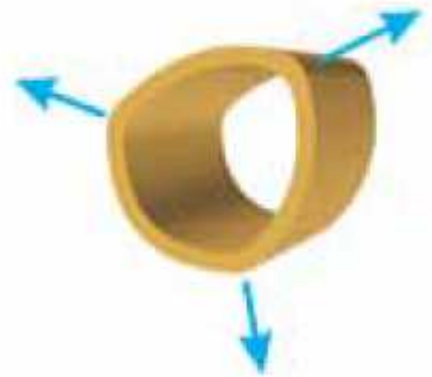


Obr. 2.7: Výkres a model prvního vzorku [1]

I při maximální snaze obsluhy nastavit upnutí do druhého vřetena co nejslabší tak, aby byla stále zajištěná dostatečná tuhost soustavy stroj – nástroj – obrobek a na druhou stranu nebyla ohrožena bezpečnost obsluhy (případné uvolnění obrobku z čelistí při obrábění apod.), se nelze vyvarovat částečné deformaci obrobku působením tlaku čelistí (obr. 2.9), což bude detailně patrné při proměření dílu na kruhoměru v laboratorních podmínkách.



Obr. 2.8: Polotovar prvního vzorku [1]



Obr. 2.9: Deformace obrobku vlivem upnutí do čelistí [23]

2) Přítlačná podložka vnitřní průměr 53 mm

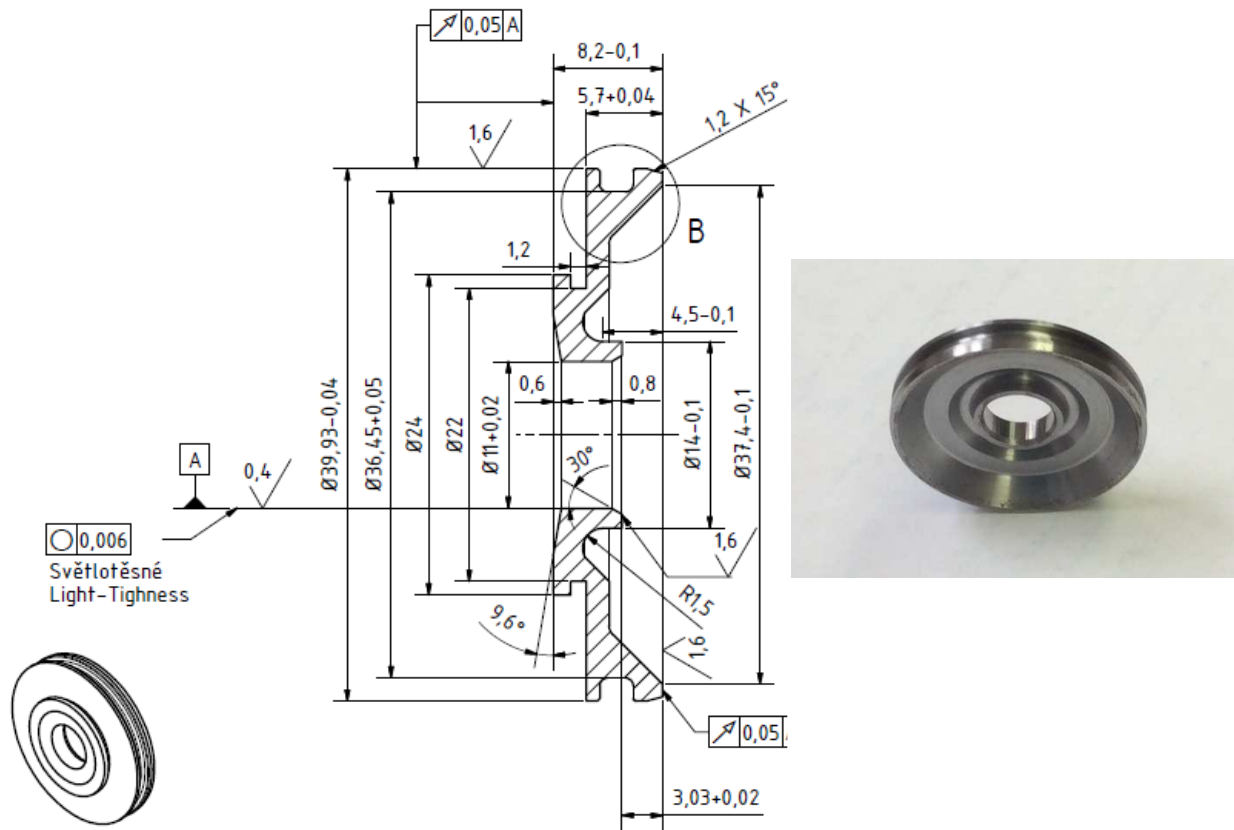
Tato podložka se liší od té předchozí pouze v jednom rozměru a to ve vnitřním průměru, který je zde o 2 mm větší - tedy 53 mm. Při snaze aplikovat u této součásti stejný výrobní postup jako u přítlačné podložky o vnitřním průměru 51 mm byly ovšem zjištěny výrobní problémy. Při přeupnutí dílu do druhého vřetena docházelo k nepřiměřeným deformacím obrobku a k praskání součásti.

Z toho důvodu byl navržen nový výrobní postup, kdy obrábění polotovaru probíhá bez přeupínání, pouze za využití jednoho vřetena. Výsledná odchylka kruhovitosti hotového dílu se bude zvyšovat s přibližováním se řezného nástroje k místu upnutí obrobku. Z devíti dílů, které mohou být z jednoho polotovaru vyrobeny, bude většina vykazovat menší odchylku kruhovitosti, než tomu bylo u přítlačné podložky číslo jedna. Celý výrobní postup bude ale časově náročnější.

3) Víčko

Tato součást byla vybrána hlavně z toho důvodu, že je zde tolerován rozměr s relativně malou povolenou úchytkou kruhovitosti – viz model a výkres součásti na obrázku 2.10. Polotovarem je automatová ocel 11 109.0 a uplatnění dílu je v automobilovém průmyslu. Předepsaná úchytkou kruhovitosti 6 tisícín milimetru je na hranicích výrobních

možností firmy zadavatele, což je dáno strojním vybavením firmy a je téměř nereálné, takovou hodnotu dílensky změřit. Výrobu a měření součásti komplikuje i fakt, že dodávaná automatová ocel je vlivem tavby pokaždé v trochu jiném složení, což s sebou nese i rozdílné chování materiálu při obrábění.

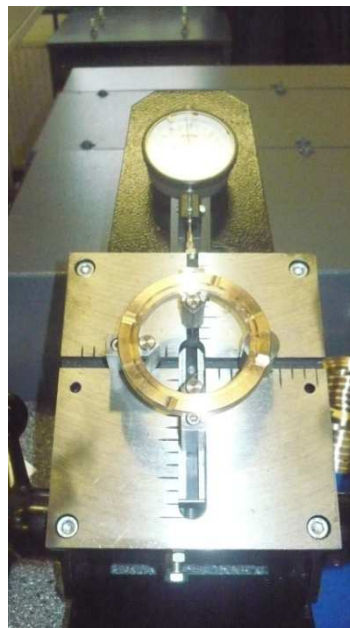


Obr. 2.10: Výkres a model třetího vzorku [1]

2.2.1 Tříbodové měřidlo

Ve firmě *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* probíhá dílenské měření úchylek kruhovitosti na tříbodovém měřidle značky *Mahr* (obrázek 2.11). Toto měřidlo lze užit jak na měření vnitřních a vnějších průměrů, tak na úzká osazení a zápichy. Každé pracoviště je vybaveno tímto přístrojem, kdy operátor okamžitě po obrobení součásti provádí kontrolu rozměru. Ještě před samotným měřením je nutné zkontrolovat správnost nastavení měřidla pomocí kalibračního kroužku. Měření probíhá tím způsobem, že obrobek je nasazen na tři doteky, z nichž dva jsou nepohyblivé a otočen kolem dokola o 360°. Zbýlý pohyblivý měřicí dotyk zaznamenává nerovnosti a za pomoci číselníkového úchylkoměru indikuje výslednou odchylku. Je – li odchylka mimo rozpětí dané tolerančním polem, pak se jedná o zmetkový kus.

Celý proces měření je velice rychlý, snadno proveditelný a pro předepsanou úchylku kruhovitosti 0,05 mm plně dostačující.



Obr. 2.11: Tříbodové měřidlo Mahr [13],[1]

Pro základní představu, jaké přibližné hodnoty lze užitím tohoto měřidla získat, byly obě podložky proměřeny. Součást víčko svými rozměry nevyhovuje a úchylku kruhovitosti na tomto přístroji měřit nelze.

Součást	Úchylka kruhovitosti [mm]
Podložka ϕ 51 mm	0,008
Podložka ϕ 53 mm	0,006
Víčko	-

Tab. 2.1: Naměřené hodnoty na tříbodovém měřidle [1]

2.2.2 Vnitřní dutinoměr

- vypracováno s použitím [1], [4], [21]

Další metoda ověřování úchylky kruhovitosti ve firmě *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* je pomocí vnitřního dutinoměru od firmy *Bowers* (obr. 2.12). Toto měřidlo může být vyráběno jako dvoubodové, ale častější provedení je tříbodové. Samozřejmostí jsou jak analogové tak digitální typy. Je dodáváno přímo s kalibračním kroužkem pro správné nastavení měřidla. Samotné měření probíhá nasazením proměřované součásti na hlavici a postupným rozevíráním měřících hrotů až po dobu sepnutí momentové spojky. Nutnou podmínkou

správnosti měření je vyzkoušet, zda je možno součástí rotovat o 360°, přičemž nesmí docházet k žádnému dření měřících doteků s plochou součásti. Při tomto měření lze již získat základní představu o výsledném profilu součásti a to podle toho, v jakých místech průměru lze dutinoměrem otáčet plynuleji, a kde naopak je zapotřebí vynaložit větší sílu.

Součást typu víčko opět vnitřním dutinoměrem měřit nelze. U součásti podložka ϕ 51 mm byla naměřena vyšší odchylka kruhovitosti, u druhé podložky pak stejná jako na tříbodovém měřidle. Je to způsobeno tím, že tento díl (podložka ϕ 53 mm) patří do výrobní dávky, která byla zhotovena velmi přesně.

Součást	Úchylka kruhovitosti [mm]
Podložka ϕ 51 mm	0,015
Podložka ϕ 53 mm	0,006
Víčko	-

Tab. 2.2: Naměřené hodnoty pomocí vnitřního dutinoměru [1]

Při užití vnitřního dutinoměru dostáváme zpravidla větší úchylky kruhovitosti, než při použití tříbodového měřidla od firmy *Mahr*. Je to způsobeno přesnější metodikou měření. Na druhou stranu měření trvá déle. Z toho důvodu je dutinoměru užíváno v případech, kdy je potřeba proměřit díly s přísnějšími tolerancemi, než jsou předepsány v našem případě na technických výkresech u podložek číslo 1 a 2.



Obr. 2.12: Vnitřní dutinoměr Bowers [21], [1]

2.2.3 Souřadnicový měřicí stroj

Jedná-li se o přesnější a komplexnější díly, u kterých je proměřováno například více rozměrů najednou nebo předepsané geometrické tolerance jdou již dílensky obtížně měřitelné, poté se ve firmě *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* volí kontrola správnosti rozměrů na souřadnicovém měřicím stroji *Impact*. K dispozici je bodový test, kdy lze vybrat měření v rozsahu 3 až 999 bodů nebo tzv. skenovací test, kdy si měřicí sonda zjistí prvních pár bodů a poté sama spočte nutný počet bodů pro proměření celého obvodu součásti.

V prvním případě lze samozřejmě zvolit vysoký počet bodů, za relativně dostatečné přesnosti měření. Nevýhodou ovšem zůstává, že s rostoucím počtem měřených bodů rapidně roste i čas měření. Z toho důvodu bývá v praxi preferovaná druhá, tzv. skenovací metoda.

Počet měřených bodů	Změřený průměr díry [mm]	Odchylka kruhovitosti [mm]
6	52,9761	0,0049
12	52,9773	0,0069
24	52,9779	0,0069
131	52,9796	0,0087

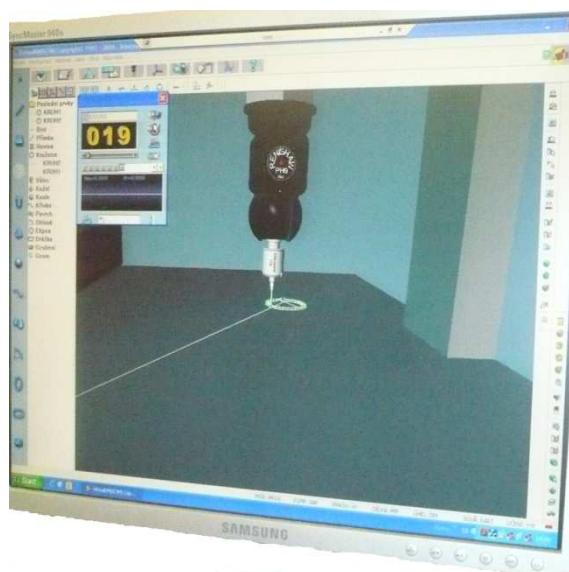
Tab. 2.3: Vliv počtu měřených bodů na přesnost měření [1]

Pro získání přehledu, jak se mění hodnoty průměru a úchyly kruhovitosti součásti číslo 2 s rostoucím počtem měřených bodů, byl proveden rychlý test – tabulka 2.3. Z ní je patrné, že nízký počet měřených bodů nám dává pouze informativní výsledky, ze kterých není možno dále vycházet a zpracovávat je. V řádech stovek měřených bodů lze již hovořit o přiblížení se věrohodným hodnotám, nikdy ovšem nebude dosaženo ideálních výsledků, což je způsobeno nestálým kontaktem měřicího doteku s plochou součásti.

Všechny tři součást byly na tomto souřadnicovém stroji proměřeny skenovací metodou, v počtu strojem určených bodů, snímací hlavou Renishaw PH9. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.4.

Součást	Počet měřených bodů	Průměr díry [mm]	Odchylka kruhovitosti [mm]
Podložka ϕ 51 mm	120	50,9784	0,0158
Podložka ϕ 53 mm	121	52,980	0,0151
Víčko	22	11,0158	0,0051

Tab. 2.4: Naměřené hodnoty pomocí 3D měřicího stroje *Impact* [1]



Obr. 2.13: Měření na souřadnicovém stroji Impact [1]

2.3 Válcovitost

- vypracováno s použitím [16], [23]

Úchylka válcovitosti je definována jako největší vzdálenost mezi skutečným válcem a válcem obalovým. Řadí se mezi komplexní úchylky, zahrnující v sobě úchylku kruhovitosti v příčných řezech, úchylku přímosti povrchových přímek v podélných řezech a úchylku rovnoběžnosti povrchových přímek s osou obalového válce.

Měření odchylky válcovitosti se skládá z měření odchylky kruhovitosti součástí v několika řezech podél stejné osy a následného sloučení naměřených dat do tvaru válce. Metody vyhodnocování jsou podobné jako u úchylek kruhovitosti s tím rozdílem, že se nepracuje s ideální kružnicí, nýbrž s ideálním válcem:

Metoda nejmenších čtverců

Obr. 2.14 A

Metoda minimálního opsaného a maximálního vepsaného válce

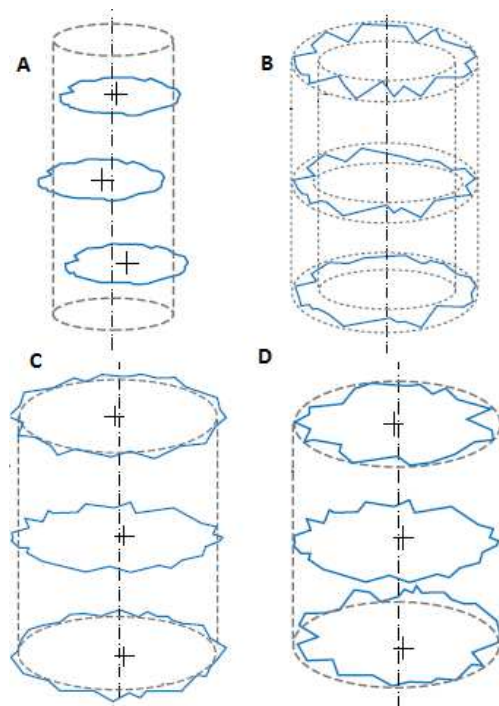
Obr. 2.14 B

Metoda maximálního vepsaného válce

Obr. 2.14 C

Metoda minimálního opsaného válce

Obr. 2.14 D



Obr. 2.14: Metody vyhodnocování úchylek válcovitosti [23]

2.4 Měření válcovitosti ve firmě ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.

- vypracováno s použitím [1]

Firma *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* nemá v současné době jinou možnost, než tuto komplexní odchylku měřit a kontrolovat na souřadnicovém měřicím stroji (viz kapitola 2.2.3). Dá se říci, že jestliže už i při měření odchylky kruhovitosti vykazoval souřadnicový měřicí přístroj značné nepřesnosti, u odchylky válcovitosti dojde ještě k jejich znásobení. Výsledné hodnoty lze brát v úvahu u součástí, kde jsou předepsané úchyly v řádu setin milimetru. U přísnějších tolerancí je doporučováno měřit na přesnějším měřidle, například na kruhoměru.

Podložky a víčko byly proměřeny na odchylku válcovitosti ve čtyřech řezech, v každé rovině po deseti bodech (u víčka pouze po pěti bodech). V tabulce naměřených hodnot je uveden i vypočtený průměr válce pro jednotlivé součásti.

Součást	Průměr válce [mm]	Odchylka válcovitosti [mm]
Podložka ϕ 51 mm	50,9756	0,0156
Podložka ϕ 53 mm	52,9761	0,0101
Víčko	11,0129	0,004

Tab. 2.5: Naměřené hodnoty pomocí 3D měřicího stroje Impact [1]

2.5 Drsnost povrchu

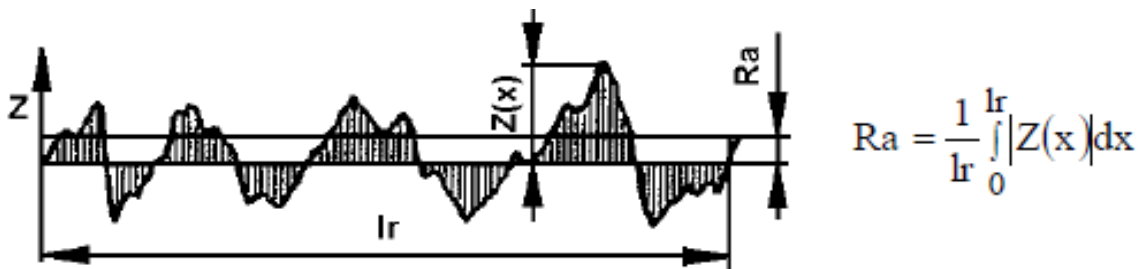
- vypracováno s použitím [22], [24], [25]

Drsnost povrchu má ve strojírenské praxi nemalý význam a její měření a kontrolování zaujímá ve výrobním procesu předem dané jisté místo. Obrobená plocha není nikdy ideálně hladká, což je způsobeno mikronerovnostmi vzniklými při obrábění, zvláště pak stopou, kterou na ni zanechal břit nástroje. Na způsobu obrábění, fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného materiálu, jakosti, tvaru a geometrii břitu, řezných podmínkách - na všech těchto parametrech závisí druh a stupeň drsnosti povrchu.

2.5.1 Vybrané parametry drsnosti

Střední aritmetická úchylka profilu R_a

Je definována jako aritmetický průměr absolutních hodnot souřadnic $Z(x)$ v rozsahu měřené délky l_r . Parametr R_a se v praxi užívá nejčastěji, ačkoli jeho vypovídací schopnost je nižší a to převážně z toho důvodu, že nereaguje citlivě na extrémní výšky hrotů profilu a hloubky jeho rýh.



Graf 2.1: Parametr R_a [24]

Největší výška profilu R_z

Součet výšky Z_p největšího výstupku a hloubky Z_v nejnižší prohlubně v rozsahu měřené délky l_r . Tento parametr slouží jako doplňkový údaj tam, kde je potřeba zohlednit například i ojedinělý výstupek, který se v parametru R_a nemusí vůbec projevit. Užívá se často u povrchů, na které je instalováno pryžové těsnění, kde i jedna větší nerovnost hraje roli.

Největší výška výstupku profilu R_p

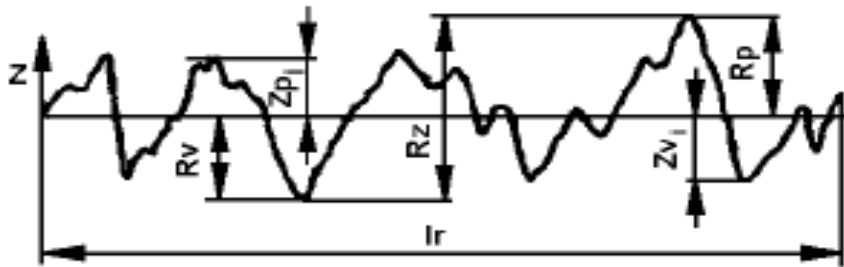
Výška Z_p největšího výstupku profilu v rozsahu měřené délky l_r .

Největší hloubka prohlubně profilu R_v

Hloubka Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu měřené délky l_r .

Celková výška profilu R_t

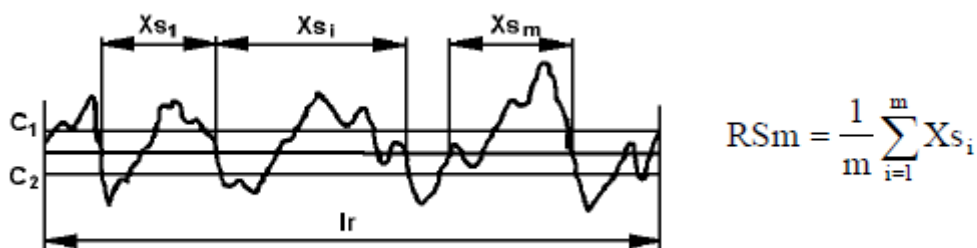
Součet výšky Z_p nejvyššího výstupku a hloubky Z_v nejnižší prohlubně v rozsahu měřené délky l_r .



Graf 2.2: Parametry R_z , R_p , R_v [24]

Průměrná vzdálenost prvků profilu R_{Sm}

Průměrná hodnota šířek X_s prvků profilu v rozsahu měřené délky l_r . Vyhodnocení vyžaduje zadání hladin řezu C_1 a C_2 .

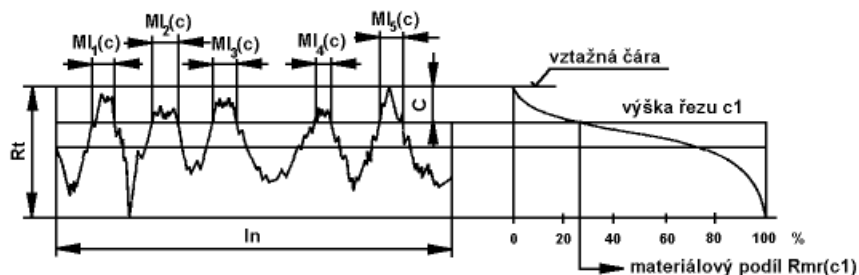


Graf 2.3: Parametr R_{Sm} [24]

Materiálový podíl profilu (nosný podíl) R_{mr}

Procentuální podíl délky materiálu prvků profilu MI na dané úrovni c k vyhodnocované délce l_n .

$$R_{mr}(c) = \frac{100}{l_n} \sum_{i=1}^n MI_i(c) = \frac{100 \cdot MI(c)}{l_n} \quad [\%]$$



Graf 2.4: Parametr R_{mr} [24]

2.5.2 Filtry profilu

λ_s - definuje rozhraní mezi drsností a krátkovlnnými složkami

λ_c - určuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti

λ_f - určuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami přítomnými na povrchu

2.6 Měření drsnosti ve firmě ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.

- vypracováno s použitím [1], [9], [15]

Ve firmě *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* probíhá kontrola drsnosti povrchu přímo na dílně, za užití přístroje japonské výroby *Mitutoyo Surftest SJ - 400*. Na tomto přístroji lze relativně rychle měřit drsnost a vlnitost povrchu a následně naměřená data vytisknout přes zabudovanou tiskárnu. Software je schopen vyhodnotit až 35 parametrů, které odpovídají normám ISO, DIN a ANSI. Rozlišení snímače je 0,000125 μm .

Pro získání výchozích hodnot pro následné porovnání, byly na tomto přístroji proměřeny tři - v kapitole 2.2 - zmiňované součásti (tabulka 2.6).



Obr. 2.15: Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ - 400 [9]

Součást	R_a [μm]	R_z [μm]
Podložka ϕ 51 mm	0,74	3,5
Podložka ϕ 53 mm	1,62	5,9
Víčko	0,17	1,5

Tab. 2.6: Dílensky naměřené hodnoty drsnosti [1]

3 Laboratorní měření

Předchozí kapitola byla zaměřena na dílenské, ve firmě *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* nejčastěji praktikované, metody měření odchylek tvaru a polohy či drsnosti povrchu, kdy neexistovala prakticky žádná představa o tom, jaký profil kruhovitosti či válcovitosti daná součást má.

V této kapitole jsou shrnuty a vysvětleny teoretické informace o vyhodnocování a analýze naměřených geometrických úchylek v laboratorním prostředí, kdy již mohou být dopodrobna zkoumány naměřené profily a posuzovány příčiny vzniku nepřesností. Volbou vhodného filtru (kapitola 3.7) lze odfiltrovat nežádoucí data a zvýraznit pro uživatele pouze relevantní informace. V dalších kapitolách jsou poté popsány a provedeny měřicí experimenty na katedrálních strojích *Talyrond 585LT*, *Zeiss Prismo navigator* a *LK - 90C*.

3.1 Podmínky přesného měření

- vypracováno s použitím [17]

Pro získání relevantních a vypovídajících dat je na jednu stranu potřeba vhodný a spolehlivý přístroj, na druhou stranu musí být dodržen i správný postup a podmínky, za kterých je měření prováděno.

Jedná se hlavně o:

- *prostředí měření*
- *manipulaci s měřeným dílem*
- *seřazení měřicího stroje*
- *vhodné ustavení, upnutí součástí*

Velký vliv na výsledky měření má teplota, proudění vzduchu a chvění základů uložení přístroje. Už při samotné instalaci stroje je nutné zvolit klimatizovanou místnost s pokud možno stálou teplotou. Ideálně se doporučuje 20,5°C. Celá místnost by měla být izolována od působení jakéhokoliv jiného tepelného zdroje.

Při volbě umístění stroje je třeba zohlednit i rizika vzniku chvění. Většina moderních strojů je v současnosti vybavena uložením s pasivní ochranou proti chvění, která však není úplně dokonalá. Výrazné zlepšení ochrany proti chvění poskytuje užití aktivního systému, případně mechanicky izolovat podlahu nebo základnu pod přístrojem.

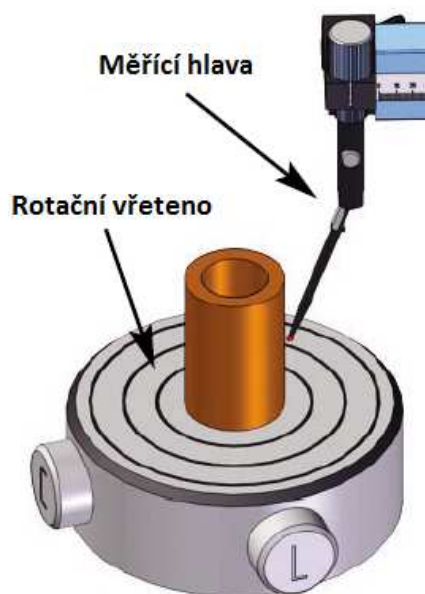
Díl musí být před měřením zbaven nečistot, například za pomoci technického benzínu a za ideálních podmínek ponechán vhodnou dobu v místnosti s měřícím strojem, aby došlo ke stabilizaci teploty. Je doporučováno minimalizovat manipulaci se součásti. Může dojít ke znečištění, ohřevu povrchu, v některých případech i vzniku koroze přenesením kyselin nebo mastnoty z kůže.

Pozornost je třeba věnovat i ustavení a upnutí součásti, aby se zamezilo nepřesným výsledkům měření. V praxi vznikají chyby převážně např. chybným vykloněním součásti nebo nadměrnou deformací obrobku vlivem neadekvátní upínací síly.

3.2 Rotační dotyková metoda měření kruhovitosti

- vypracováno s použitím [16], [23]

Až do této části diplomové práce bylo psáno o typech a metodikách měření úchyly kruhovitosti, kdy měřící dotek nebyl v trvalém kontaktu s plochou měřené součásti. Rotační metodika měření již umožňuje komplexní vyhodnocení úchyly kruhovitosti a dalších geometrických tolerancí právě za podmínky stálého kontaktu čidla a měřeného dílu.



Obr. 3.1: Princip měření na kruhoměru [23]

Měření je velmi jednoduché. Součást je položena a vhodně ustavena na rotační stolek, vystředěna a za stálého dotyku měřící sondy s plochou součásti rotována o 360°. Dotek snímače je přitlačován k povrchu součásti určitou statickou silou, která musí být větší, než je síla, která vzniká zrychlením účinné hmoty doteku při kopírování součásti, aby bylo zaručeno,

že dotek je stále ve styku s povrchem součásti. Všechny nerovnosti a data jsou průběžně snímány a ukládány. Princip měření je zobrazen na obrázku 3.1. Je potřeba zmínit, že při měření úchytky kruhovitosti touto metodou nejsou získávány žádné informace o velikosti průměru součásti, ale pouze odchylka tvaru od ideálního kruhu.

3.3 Bezkontaktní interferometrické 3D měření

- vypracováno s použitím [18], [23]

Bezkontaktní metoda měření úchytky kruhovitosti, přímosti, případně drsnosti povrchu může být prováděna na optických interferometrických zařízeních. Mezi hlavní přednosti těchto zařízení patří rozsah, rozlišení, spolehlivost a přesnost měření. Samotné měření je již plně automatizováno, kontrola více součástí najednou nevyžaduje tedy zásah obsluhy. Robustná konstrukce skenovacího systému je odolnější proti poškození - tudíž vhodná i pro dílenské měřicí podmínky. Výhodou je, že například při měření a kontrole palivové vstřikovací trysky, lze z jednoho měření vyhodnocovat kruhovitost, úhel kuželové plochy, drsnost povrchu a přímost. Při kontrole standardním způsobem by bylo potřeba dvou strojů - kruhoměru a profiloměru. Cena tohoto přístroje se v přepočtu pohybuje kolem 3,6 miliónu korun.

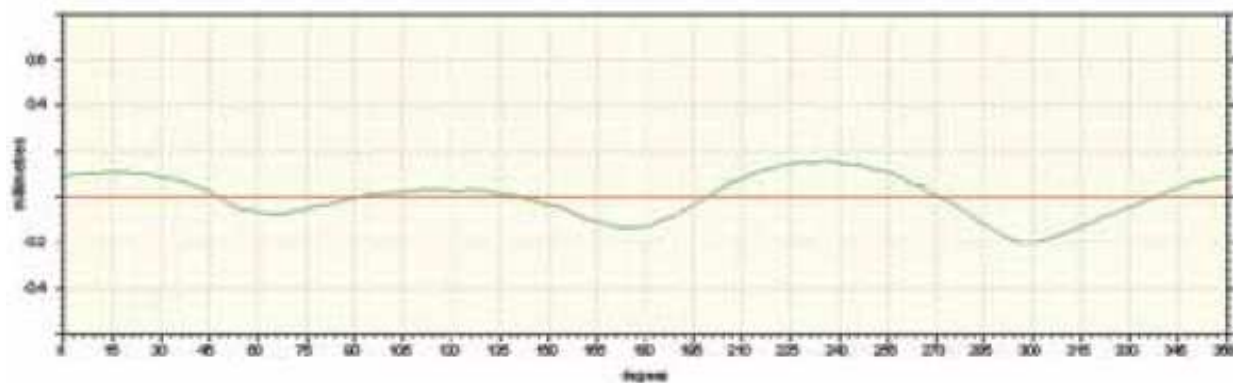


Obr. 3.2: Bezkontaktní měření úchytky kruhovitosti [23], [18]

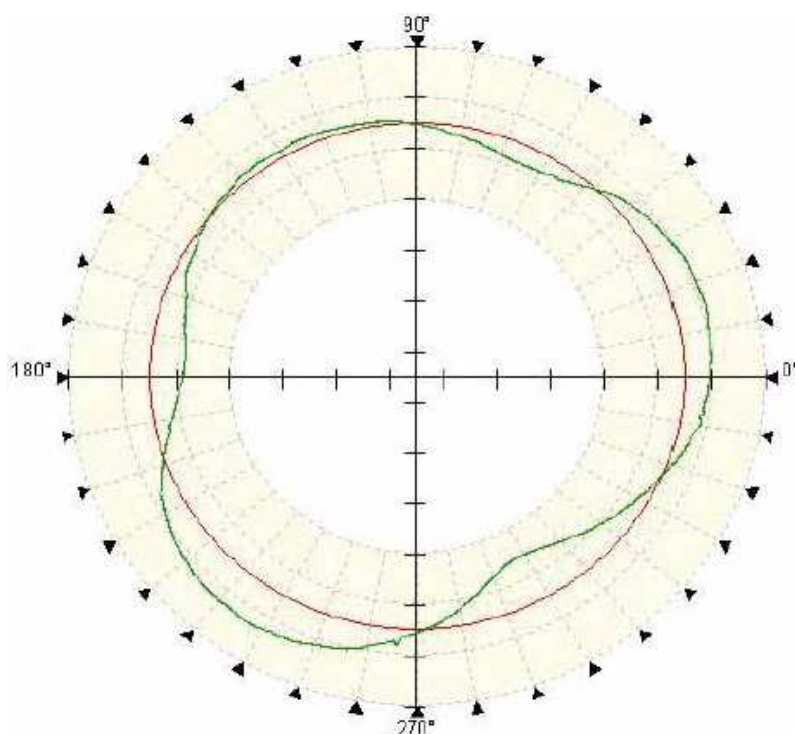
3.4 Grafické zobrazení

- vypracováno s použitím [23]

Výsledek měření může být zobrazen v lineárním nebo polárním formátu. Polární formát bývá častější.



Graf. 3.1: Příklad lineárního zobrazení [23]



Graf. 3.2: Příklad polárního zobrazení [23]

Na první pohled laikovi může připadat, že v grafu 3.2 byla měřena relativně nekrhovitá součást. Opak je pravdou. Důležitou roli zde hraje volba měřítka zobrazení. Při malém rozlišení nebude možno pozorovat výchylky od ideálního tvaru a tvar se bude jevit jako téměř kruhovitý. Se vzrůstajícím rozsahem měřítka lze pozorovat i sebemenší výrobní nepřesnosti.

3.5 Metody vyhodnocování odchylky kruhovitosti

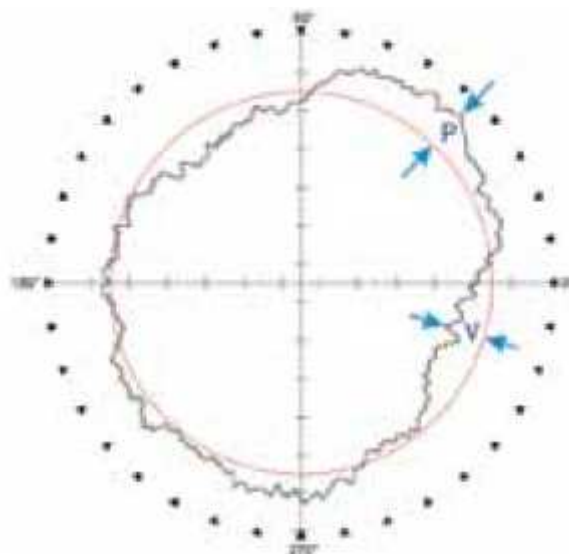
- vypracováno s použitím [23]

Definice kruhovitosti je založena na odchylce od tzv. referenční kružnice. Dle normy ČSN ISO 4291 existují čtyři druhy referenčních kružnic, dle kterých lze kruhovitost vyhodnocovat.

3.5.1 Metoda nejmenších čtverců

V metrologické praxi nejčastěji užívaná metoda, pro kterou platí, že součet čtverců odchylek mezi měřenými body a proloženou referenční kružnicí je nejmenší. Referenční kružnice zde zobrazuje průměrné hodnoty ze všech naměřených vrcholových a sedlových bodů. Výsledná referenční kružnice nám dává věrohodnou a stálou podobu výchozí matematické funkce.

Vyhodnocení dle metody nejmenších čtverců je proto i dále použito v praktické části práce.

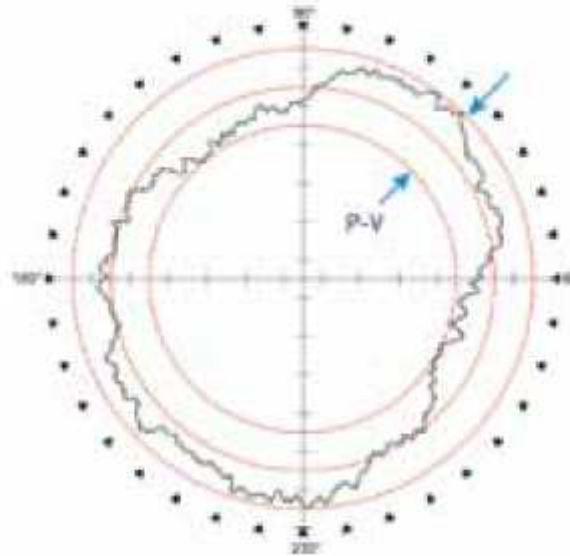


Obr. 3.3 : Metoda nejmenších čtverců [23]

3.5.2 Metoda minimální opsané a maximální vepsané kružnice

V tomto případě se jedná o dvě soustředné kružnice, kdy jedna je vepsána a druhá opsána naměřenému profilu. Radiální vzdálenost těchto dvou kružnic je co nejmenší. Vyhodnocování kruhovitosti pomocí této referenční kružnice nám dává její nejnižší hodnoty.

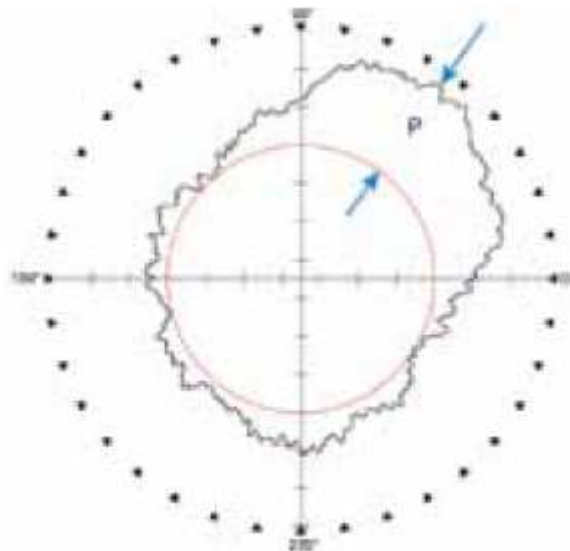
V některých případech lze mezi tyto dvě kružnice ještě dodefinovat třetí, tzv. střední kružnici, která leží přesně mezi nimi. Ta je užitečná tím způsobem, že odchylky mohou být měřeny přímo od ní, analogicky jako u metody nejmenších čtverců.



Obr. 3.4: Metoda minimální opsané a maximální vepsané kružnice [23]

3.5.3 Metoda maximální vepsané kružnice

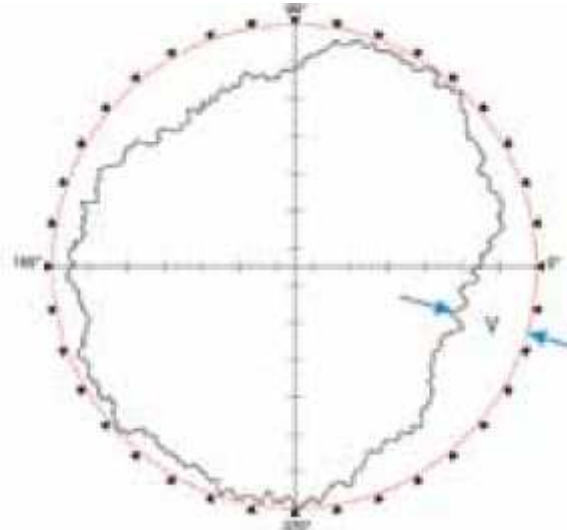
Jak již samotný název napovídá, referenční prvek zde tvoří největší kružnice, která může být kompletně vepsána naměřenému profilu. Používá se pro zjišťování, zda daný prvek bude pasovat na hřídel, tedy převážně při měření odchylky kruhovitosti děr.



Obr. 3.5: Metoda maximální vepsané kružnice [23]

3.5.4 Metoda minimální opsané kružnice

Nejmenší kružnice, která může být kompletně opsána naměřenému profilu. Tak zní definice pro poslední metodu stanovení referenční kružnice. Nachází využití hlavně při zjišťování, zda součást bude pasovat do díry, tedy převážně u hřídelí.



Obr. 3.6: Metoda minimální opsané kružnice [23]

3.6 Parametry

- vypracováno s použitím [2], [23], [24]

Parametry kruhovitosti jsou definovány normou ISO 12181-1 z roku 2011. Tato norma poskytuje definice a návody pro stanovení kruhovitosti. Na výrobních výkresech je kruhovitost a její parametry specifikovány dle ISO 1101.

3.6.1 Celková kruhovitost (K_c)

V praxi nejčastěji užívaný parametr, který je definován pro všechny čtyři výše popisované metody v kapitole číslo 3.5. Jedná se o součet maximální odchylky vně i uvnitř referenční kružnice (největší prohlubně profilu a největšího výstupku).

3.6.2 Kruhovitost prohlubně a výstupku (K_p a K_v)

Tyto dva parametry jsou definovány pouze pro vyhodnocování kruhovitosti dle metody nejmenších čtverců. Reprezentují *kruhovitost prohlubně* - maximální vzdálenost referenční kružnice a naměřeného profilu uvnitř kružnice a *kruhovitost výstupku* - maximální vzdálenost referenční kružnice a naměřeného profilu vně této kružnice. Jejich vzájemným sečtením dostáváme kruhovitost celkovou (K_c). Tyto parametry je důležité zohlednit, jedná-li se o měření kruhovitosti díry/hřídele, neboť ovlivňují další požadavky a průběh montáže.

Na obrázcích č. 3.3 až 3.6 jsou tyto dva parametry vyznačeny.

(p = z anglického překladu peak = výstupek, v obdobně valley = prohlubeň)

Další parametry:

3.6.3 Házení

Odchylka házení částečně souvisí s odchylkou kruhovitosti a je vhodné ji na tomto místě definovat, aby v budoucnu nedocházelo k jejich záměně. Jedná se o rozdíl mezi největší a nejmenší vzdáleností bodů skutečného profilu rotační plochy od základní osy v řezu kolmém k základní ose. Rozdíl mezi těmito dvěma odchylkami je tedy ten, že zatímco odchylka kruhovitosti je vždy měřena od referenčního prvku, odchylky házení se vztahuje k základní ose součásti.

3.6.4 Soustřednost

Kruhové toleranční pole, v němž musí ležet střed tolerovaného prvku. Střed kruhového pole leží přitom ve středu základního prvku.

3.6.5 Excentricita

Excentricita neboli výstřednost je definována vzdáleností a směrem od referenčního bodu ke středu vykreslené referenční kružnice. Její velikost je poloviční hodnota naměřené (ne)soustřednosti součásti. Ačkoli excentricita již nespadá do skupiny ISO parametrů, užívá se jí v praktických případech, zvláště při samotném nastavování a seřizování stroje před měřením.

3.6.6 Dílčí úchylka kruhovitosti

Tento parametr byl původně zaveden pro aplikaci v ložiskovém průmyslu. Jedná se o úchylku kruhovitosti, nikoliv vypočítanou z celého radiálního průměru součásti, nýbrž pouze v předem uživatelem definované úhlové výseči. V praxi to znamená, že je standardně změřena celková kruhovitost K_c po celém obvodu součásti a uživatel si může následně navolit počátek a úhlový rozsah zkoumané oblasti grafu.

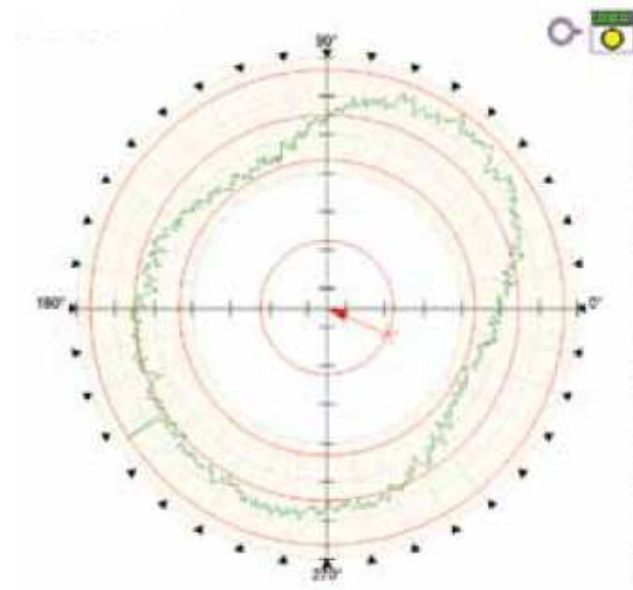
3.6.7 Spád

Obdobně, jako u předchozího parametru i spád byl původně zaveden pro ložiskový průmysl. Udává, jak rapidně se měřený profil mění a spočítá se nalezením absolutní hodnoty gradientu $dr/d\phi$ (kde r reprezentuje radiální vzdálenost od středu referenční kružnice a ϕ reprezentuje úhel) v každém bodě měřeného profilu. Uživatelem zadané úhlové rozpětí profilu je proměřeno a nalezené gradientní hodnoty v každé pozici zprůměrovány. Maximální hodnota z těchto průměrů je následně zaznamenána - společně s úhlovou hodnotou, kde se nachází.

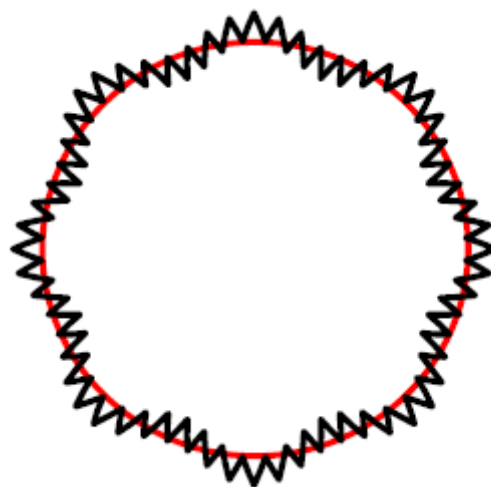
3.7 Vyhodnocování a analýza naměřených dat

- vypracováno s použitím [17], [23]

Základním předpokladem hodnocení úchylek kruhovitosti je určení jejich velikosti, počtu a třídění podle frekvencí. Při samotném měření součásti na kruhoměru projde během jedné otáčky každá nerovnost místem kontroly jen jednou. Profil povrchu lze nahradit řadou sinusoid o různé frekvenci. Na obrázku 3.7 lze například pozorovat evidentní ovalitu součásti, což je dáno nepravidelnostmi, které se objevují periodicky dvakrát v průběhu jedné celé otáčky.



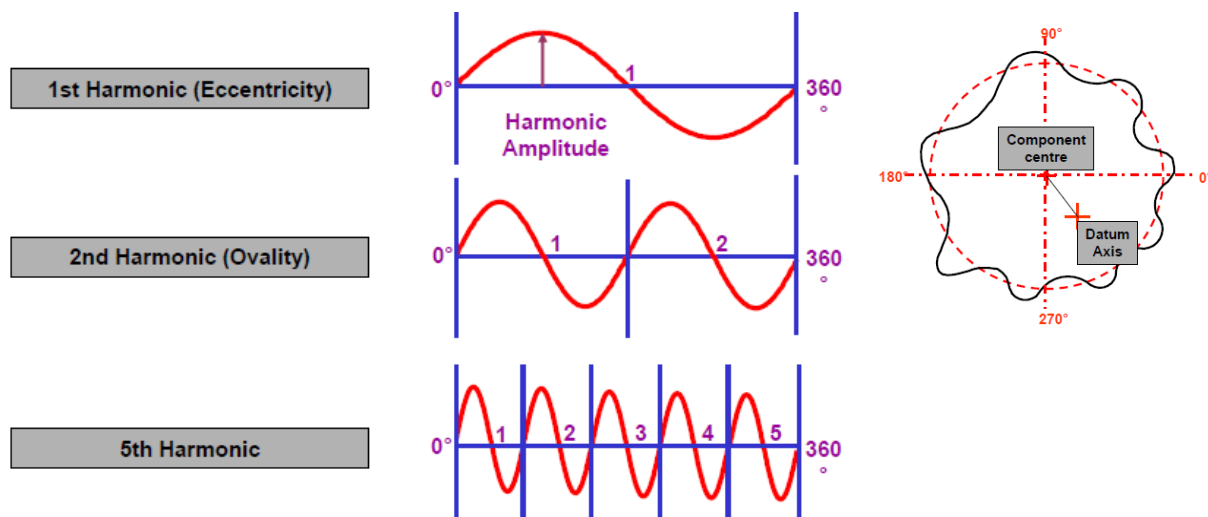
Obr. 3.7: Příklad ovality součásti [23]



Obr. 3.8: Počet vln za otáčku [23]

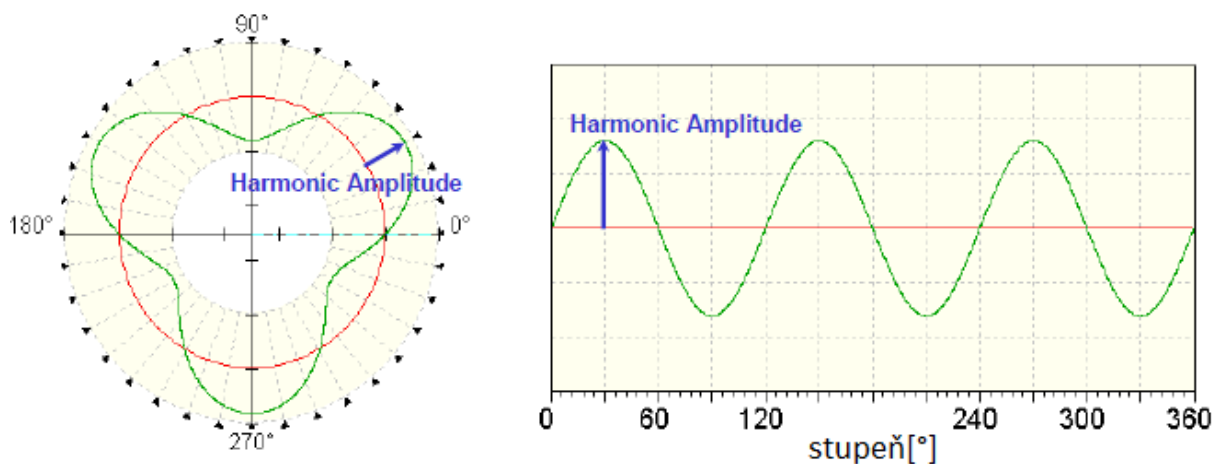
Tyto rozdílné frekvence, značící nedokonalost povrchu, se nazývají tzv. harmonické kmity. Frekvence těchto kmitů je vyjádřena počtem vln za otáčku - zkráceně UPR (undulations per revolution), což značí počet vln (nerovností), které jsou sejmuty po obvodu měřícím dotekem při měření.

Každý změřený profil kruhovitosti vykazuje v nějaké frekvenci určitý počet UPR. Tyto vlny po obvodu profilu, které jsou ve většině případů způsobeny ať už většími či menšími chybami ve výrobním procesu součásti, nám mohou podat důležité zpětné informace pro jeho kontrolu, nápravu či zjištění chyb v něm.



Obr. 3.9: Příklady harmonických kmitů [23]

Na obrázku č. 3.9 je zobrazeno několik druhů harmonických skupin, skládající se pokaždé z různého počtu dokola se opakujících sinusových vln, které se vyskytují po obvodu měřené součásti. Pod prvním případem jedné opakující se harmonické vlny může být zobrazen například excentrický profil v pravé části obrázku. Právě pro excentricitu neboli výstřednost je takovýto průběh typický. Jak již bylo zmíněno, obrázek 3.7 spadá do skupiny dvou harmonických kmitů za otáčku - vykazuje oválný tvar.



Obr. 3.10: Tři harmonické kmity za otáčku součásti [23]

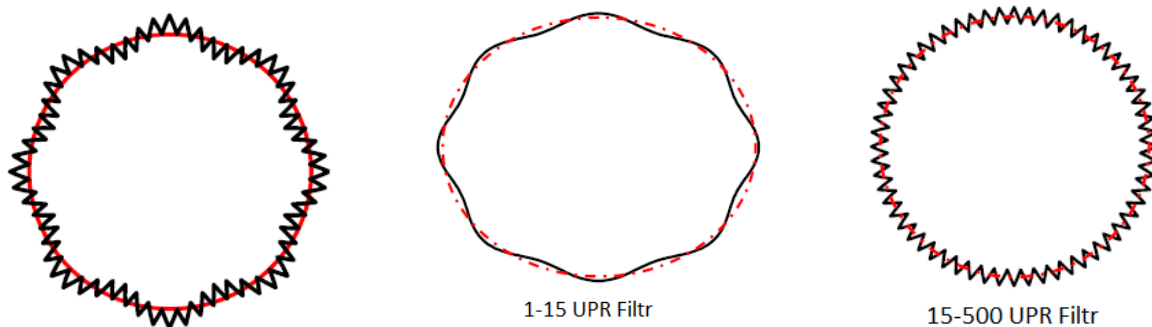
Obrázek výše zobrazuje profil skládající se ze tří harmonických sinusoid po obvodu součásti. Je pochopitelné, že ve skutečnosti bude mít změřený profil rozdílné amplitudy sinusoid a i počet harmonických vln po obvodu součásti nebude tak jasně čitelný jako v tomto ideálním případě.

Vzhledem k tomu, že výsledný změřený profil kruhovitosti obsahuje sinusoidy o různém počtu a velikosti jednotlivých amplitud, používají se pro následnou analýzu takzvané filtry. Ty slouží pro zjednodušení naměřeného tvaru a zároveň k cílenému vyřazení určité harmonické složky z hodnocení. Názorný příklad užití a funkce filtrování naměřených dat je uveden na obrázku 3.11. Profil vlevo je změřený, nefiltrovaný s frekvencí 8 nebo 60 harmonických vln po obvodu součásti. Záleží na úhlu pohledu. Při volbě filtru 1-15 UPR, dojde k odstranění šedesáti harmonických vln a zvýraznění osmi stále se opakujících. Na druhou stranu volba filtru 15-500 UPR způsobí odebrání periodicky se opakujících osmi vln a zvýraznění šedesáti harmonických vln.

Standardní hodnoty v praxi užívaných filtrů jsou:

- 1 - 15 UPR, 1 - 50 UPR, 1 - 150 UPR, 1 - 500 UPR

Výše uvedené hodnoty filtrů jsou mezinárodně uznávané jako standardní UPR rozpětí hodnot pro analýzu odchylky kruhovitosti. U současných moderních přístrojů a do nich implementovaných softwarů, je možné se setkat i s ruční volbou hodnoty filtru - například 17 - 38 UPR.



Obr. 3.11: Příklad využití filtrování dat [23]

Analyzováním harmonických složek lze posuzovat vztahy mezi výsledky měření kruhovitosti a nepřesnostmi výrobních procesů nebo funkčními charakteristikami povrchů, např. hlučností ložisek. Malé frekvence harmonických složek se zpravidla vztahují k chybám seřízení a nastavení. Například jedna harmonická složka (1 UPR) je způsobena nesoustředností os součásti a rotace. Tato nesouostost se běžně odstraňuje a případná hodnota úchylny se zaznamenává před zobrazením profilu. Dvě harmonické složky (2 UPR) představují ovalitu, která je výsledkem špatného obrábění nebo nesprávným vyrovnaním součásti. Tři až šest harmonických složek vzniká ve většině případů upínáním součástí do sklíčidel, kdy má součást po obrobení ideálně válcový tvar, avšak jejím uvolněním ze

sklíčidla se tvar mění v závislosti na počtu upínacích čelistí sklíčidla. Vyšší počet harmonických složek může charakterizovat nadměrné chvění ve výrobním procesu, případně je spojován se stopami, které na povrchu zanechávají řezné nástroje. Správně vybraný druh filtru nám poskytne ideální podmínky pro analyzování naměřeného profilu a zaměření a zlepšení konkrétního slabého místa ve výrobním procesu.

Tabulka 3.1 uvádí volbu doporučených typů filtrů v závislosti na průměru měřené součásti. V praxi bývá často filtr volen dle následného budoucího použití a funkce dílu.

Možné příčiny vzniku různého počtu harmonických vln při měření úchyly kruhovitosti jsou názorně shrnuty v tabulce 3.2.

Průměr dílu	Filtr (UPR)
$D \leq 8$	1-15
$8 < D \leq 25$	1-50
$25 < D \leq 80$	1-150
$80 < D \leq 250$	1-500
$250 < D$	1-1500

Tab. 3.1: Doporučený výběr filtru [23]

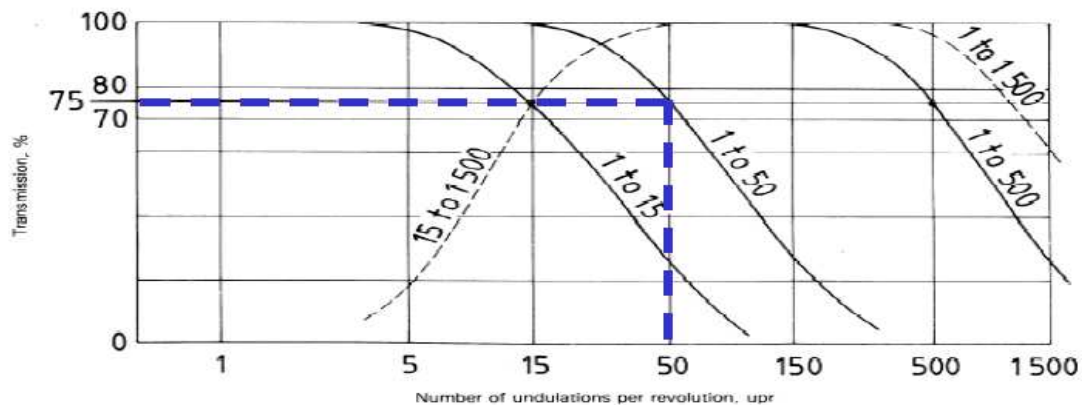
Počet harmonických vln	Možná příčina problému
1	špatně nastavené měření
2	ovalita, nesprávné vyrovnání součásti
3 - 7	typ upnutí obrobku
7 - 15	nestabilita řezného procesu
15 a víc	chvění, reakce materiálu, vibrace nástroje, nevhodné mazání

Tab. 3.2: Harmonická analýza [23]

Další dělení druhů filtrů je v závislosti na tom, jakým způsobem u nich probíhá přenos a zpracování naměřených dat. Existují dva typy: 2CR filtr a Gaussův filtr.

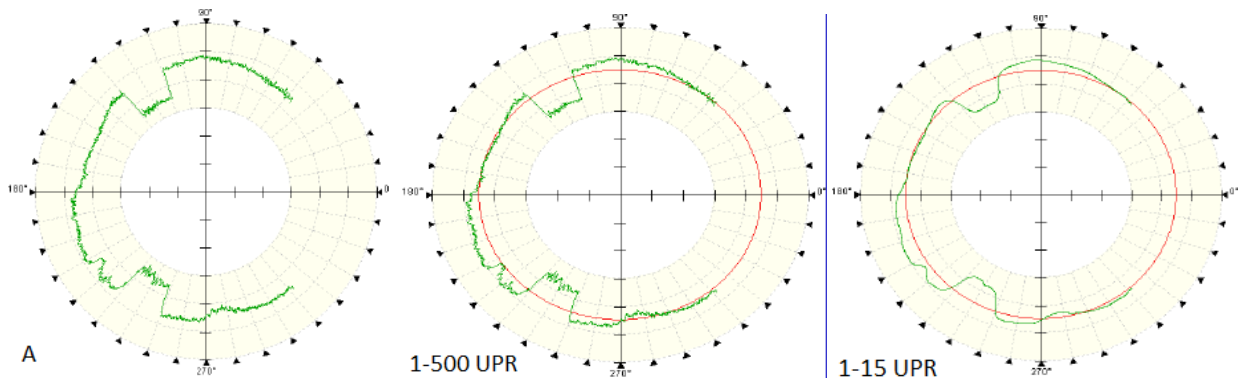
3.7.1 2CR Filtr

Jak už jeho samotný název napovídá, jedná se o elektrický filtr složený ze dvou kondenzátorů a dvou rezistorů. Při jeho volbě dochází ke snížení amplitudy harmonických vln u předem vybrané hodnoty UPR o 25%.



Graf. 3.3: Přenosová charakteristika 2CR filtru při aplikování 1 - 50 UPR [23]

Jak zobrazuje graf závislosti přenosu amplitudy na počtu UPR při aplikování rozpětí harmonických vln 1 - 50 UPR (graf 3.3), například pro hodnoty 1 - 50 UPR bude amplituda snížena o 25%, ale u 51 UPR bude již snížení vyšší a s rostoucími hodnotami UPR bude růst i procentuální podíl snížení přenosu amplitudy. Obdobně to bude u dalších UPR filtrů.



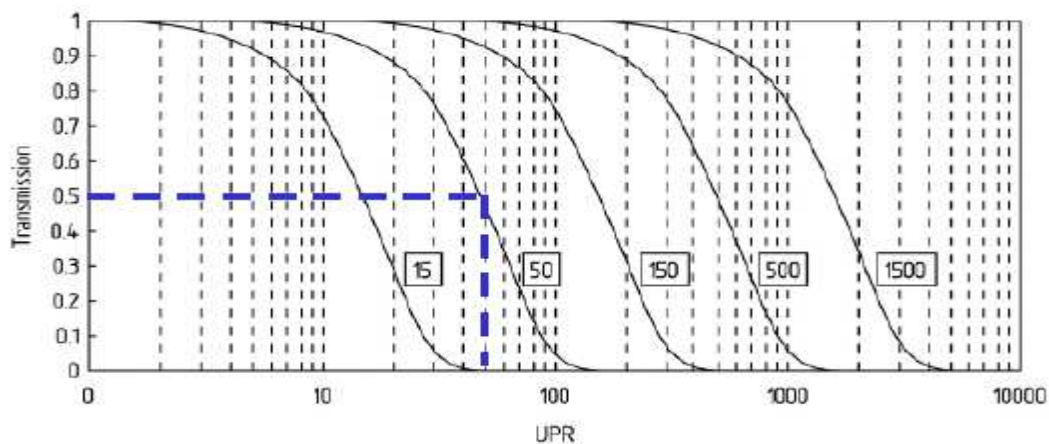
Obr. 3.12: Vliv 2CR filtru při analýze naměřených dat [23]

Příklad použití tohoto typu filtru lze pozorovat na obrázku 3.12. První obrázek (3.12 A) představuje analyzovaný profil bez filtrování harmonických vln dle UPR. Vybraný profil má schválně velké odchylky, aby byl názorně demonstrován vliv 2CR filtru. Prostřední profil, při volbě rozpětí harmonických vln 1-500 UPR a při užití 2CR filtru, umožňuje zachování vysokofrekvenčních vln a nakonec při volbě rozpětí 1-15 UPR je vidět značný efekt filtru na výsledný profil. Nejenom že byly odebrány vysokofrekvenční vlny, ale došlo i k vyhlazovacímu efektu v extrémních hodnotách kruhového diagramu.

3.7.2 Gaussův Filtr

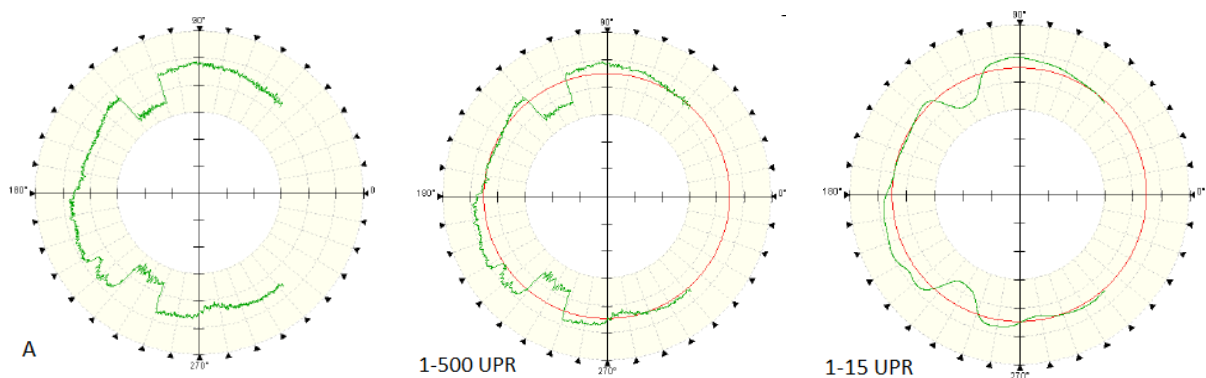
Tento filtr patří do skupiny matematických, kde na rozdíl od 2CR filtru dochází ke snížení velikosti amplitudy o 50% u předem vybraného rozpětí hodnot UPR. Vlastností tohoto filtru je jeho schopnost přesně rozložit naměřená data při počítání střední linie a to s přihlédnutím na naměřené hodnoty před právě filtrovaným bodem a po něm. Hodnota UPR určuje šířku Gaussovy křivky.

Graf přenosu amplitudy v závislosti na použitém rozpětí UPR lze interpretovat obdobně, jako tomu bylo u 2CR filtru, s tím rozdílem, že zde je v našem případě v rozmezí 1 - 50 UPR amplituda snižována o 50%. Vyšší hodnoty UPR budou poté snižovány více.



Graf č. 3.4: Přenosová charakteristika Gaussova filtru při aplikování 1 - 50 UPR [23]

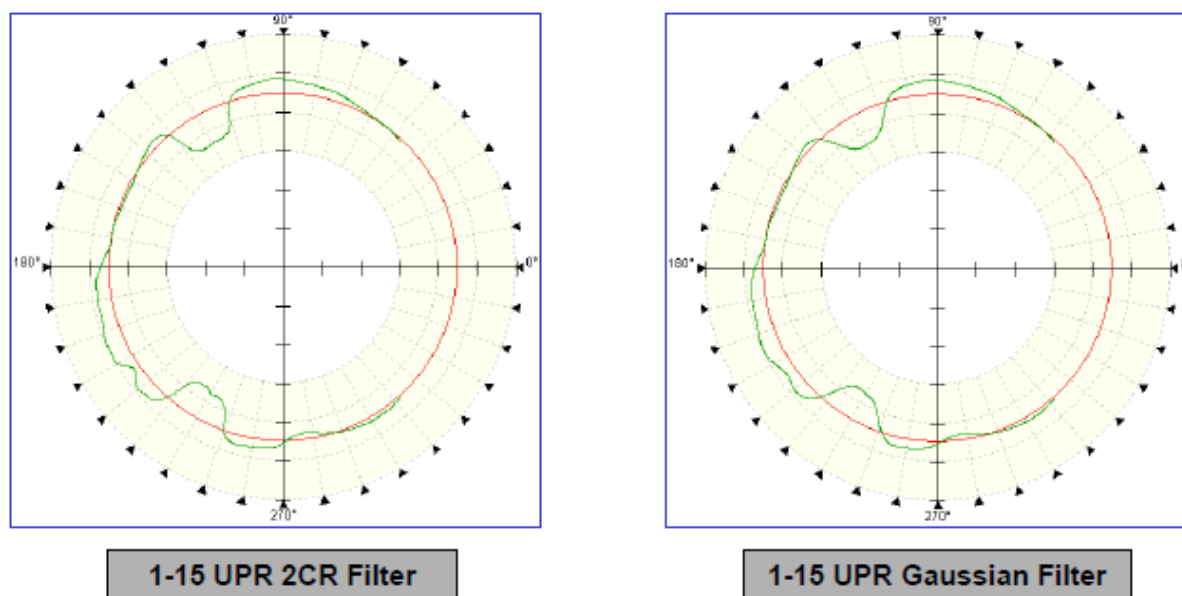
Vzhledem k tomu, že Gaussův filtr má lepší odezvu než 2CR a zároveň při jeho užití dochází k ostřejšímu zaoblení křivek, lze očekávat při analyzování výsledků měření u určitých typů součásti rozdílné výsledky. Při užití tohoto matematického filtru nedochází ani k tak významnému zakřivení profilu. Právě z těchto důvodů je Gaussův filtr doporučován pro analyzování a vyhodnocování úchyly kruhovitosti.



Obr. 3.13: Vliv Gaussova filtru při analýze naměřených dat [23]

Obrázek 3.13 zobrazuje, obdobně jako na obrázku číslo 3.12, tři profily, z nichž první je nefiltrovaný, prostřední při volbě filtrování dle rozpětí 1-500 UPR a nakonec vpravo pro nižší počet harmonických vln 1-15 UPR.

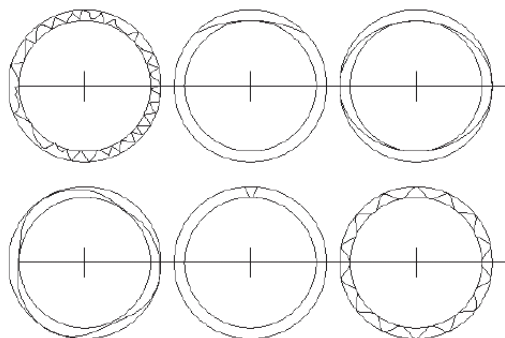
Při vzájemném porovnání Gaussova a 2CR filtru dle jejich vlivu na výsledný vyfiltrovaný profil je na první pohled viditelné, že Gaussův filtr má větší účinek na výsledný diagram, což je pozorovatelné hlavně na hladším průběhu křivky (obr. 3.14).



Obr. 3.14: Vzájemné srovnání 2CR a Gaussova filtru [23]

3.7.3 Zhodnocení

V této kapitole byla vysvětlena důležitost a funkce užívání harmonických analýz při vyšetřování geometrických úchylek. Jejich správná volba a užití umožňují metrologovi zkoumat příčiny vzniku nekruhovitosti profilu. Protože jak demonstruje obrázek níže, pouze pod hodnotou úchytky kruhovitosti se může skrývat několik různých tvarů, ale až dle jejich následného grafického zobrazení lze vyvozovat další závěry.



Obr. 3.15: Rozdílné profily, stejná odchylka kruhovitosti [23]

4 Měření na přístroji Talyrond 585LT

- vypracováno s použitím [5], [8], [26]

Katedra technologie obrábění na Západočeské univerzitě v Plzni zakoupila na podzim roku 2014 kruhoměr řady Talyrond s označením 585LT od anglického výrobce měřicí techniky *Taylor Hobson Ltd.* Toto velice přesné zařízení je schopno měřit od rozsáhlého množství odchylek tvaru, směru a polohy, přes drsnost povrchu, až po specifické aplikace jako například měření pístů nebo analýzu drážek.

	Standardní SW	Nadstandardní SW
Kruhovitost	Rovnoběžnost	Měření pístu
Kolmost	Vertikální přímost	Komutátorové analýzy
Soustřednost	Rovinnost částí oblouku	Tloušťka disku
Souosost	Kruhovitost částí oblouku	Rychlostní analýzy
Sklon	Mapování válcového povrchu	Tloušťka stěny
Válcovitost	Úchylka od skutečné roviny (DFTP)	RTA analýzy
Celkové házení	Úchylka od skutečné kružnice (DFTC)	Analýzy drážek
Rovinnost	Radíální přímost (RSU)	Harmonické
Excentricita	Rovinnost více rovin (RSU)	TalyMap Contour Software
Házení	Kruhovitost více rovin	TalyMap 3D analysis SW
		Obvodové analýzy povrchu
		Analýzy textury povrchu
		Twist analýza

Obr. 4.1: Měřící možnosti přístroje Talyrond 585LT [8]



Obr. 4.2: Talyrond 585LT na katedře technologie obrábění v Plzni [26]

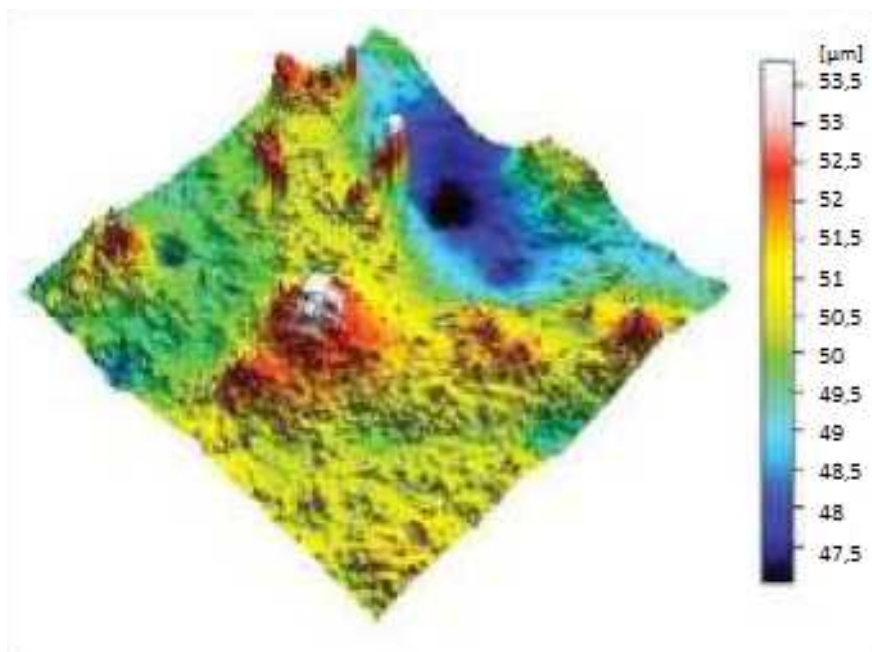
V České republice lze těchto přístrojů spatřit pouze v řádu jednotek kusů, z toho důvodu je Talyrond na plzeňské univerzitě využíván jak pro vědecké a výzkumné měření zaměstnanci a studenty univerzity, tak samozřejmě i západočeskými firmami, provádějící zde různá zakázková měření.

4.1 Software TalyMap

- vypracováno s použitím [7]

Firma *Taylor Hobson Ltd.* dodává své velmi přesné měřicí zařízení s nainstalovaným softwarem TalyMap, jenž se svými funkcemi řadí k nejmodernějším pro 2D, 3D a 4D povrchové analýzy. Zajišťuje rychlou a přesnou tvorbu protokolu, 3D hodnocení dle ISO 25178, přehledné vizuální analýzy a rozměrovou kontrolu.

3D znázornění a analýza je významná pro studium funkčních charakteristik povrchu. Lze tak identifikovat poškození povrchu znemožňující těsnění spojovaných ploch, hodnotit opotřebení dle objemu výstupků nebo posoudit připravenost povrchu pro udržení maziva apod. 3D zobrazení je mimo jiné nutné pro odhalení různých izolovaných poruch povrchu, jako jsou deformace, výmoly, odlupování materiálu a bubliny. K třírozměrnému grafu se s výhodou uvádí čtvrtý parametr, jako například čas nebo teplota, za vzniku plnohodnotného 4D zobrazení.



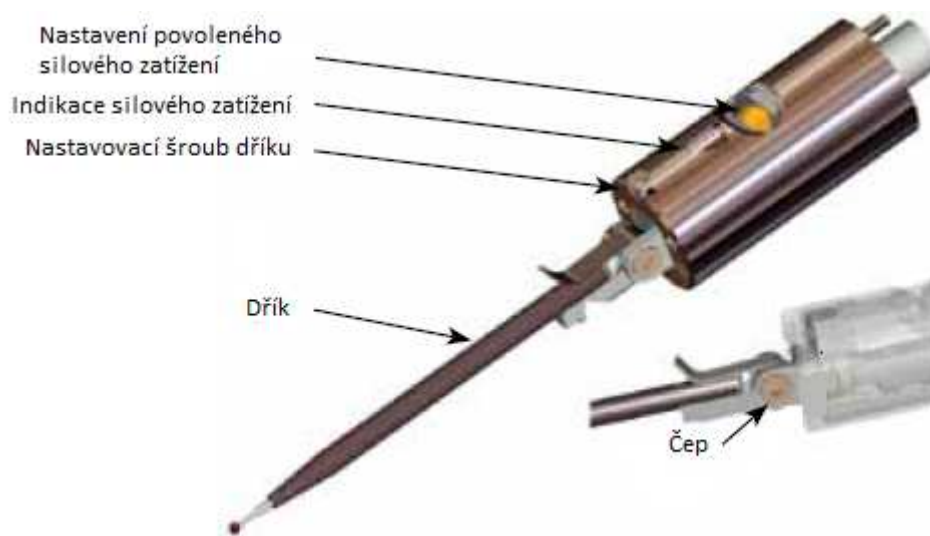
Obr. 4.3: 3D (x, y, z) znázornění s barevnou výškovou stupnicí [7]

4.2 Měřicí zařízení

- vypracováno s použitím [23]

Firma *Taylor Hobson Ltd.* implementuje do svých moderních kruhoměrů vysokokapacitní snímací zařízení s širokým snímacím rozsahem. Uprostřed zařízení se nachází rotující element, sloužící pro nastavení maximálního povoleného zatížení dřívku. Pod ním je stupnice zobrazující aktuální silové zatížení. Při výměně měřené součásti a změně měřeného průměru, tedy i potřebě jiného úhlového naklopení dřívku, lze tento úkon velice snadno provést dlaní a to díky čepu, který je integrován do celé sestavy (obr. 4.4).

Pro přizpůsobení měřicího zařízení typu proměřované součásti je do zařízení zabudována i regulace měřicí síly. Toto je nezbytné pro zajištění správného kontaktu měřicí sondy s povrchem součásti. Například u malých, vysoce přesných součástí, je vyžadována malá přítlačná síla, aby nedošlo k poškození dílu. Naopak u rozměrnějších a hrubších dílu větší síla, zajišťující trvalý kontakt doteku s povrchem součásti.



Obr. 4.4: Detail měřicího zařízení [23]

Požadovaná citlivost celého zařízení je dimenzována tak, aby při měření úchytky kruhovitosti a přibližné délce dřívku sto milimetrů reagovalo a předávalo odezvu na pohyb dřívku o hodnotě $0,001 \mu\text{m}$. I takto malá odchylka vyvolá již v zařízení impulzy o různé velikosti amplitud, které jsou následně převáděny do digitální podoby.

4.2.1 Měřicí dotek

Volba měřicího doteku, jako jediného kontaktu mezi měřenou plochou součásti a měřicím zařízením, hraje velice důležitou roli. Jeho tvar a velikost má vliv na to, jaké informace budou z povrchu sejmuty.

Hodně výrobků opouští obráběcí stroj s ať už více či méně patrnou stopou, kterou zanechal nástroj po obvodu. Tato stopa není ani tak otázkou vyhodnocení úchylek tvaru a polohy, jako spíše drsnosti povrchu.

Ostrý a malý měřicí dotek zaznamená a klesne do každé nerovnosti či stopy po nástroji a následné zobrazení a analýza naměřených dat může zamaskovat a deformovat periodické vlny, které se vztahují k odchylce kruhovitosti. Z toho důvodů je normální užívat rozměrnější doteky, které vhodně přemostí zmiňované výrobní povrchové nerovnosti a nedovolí jim ovlivnit výsledek měření.

Volba průměru měřicí kuličky - v praxi převážně mezi 1 mm, 2 mm a 4 mm - je závislá i na průměru měřené součásti. Vyrábí se z karbidu wolframu, safíru nebo jiného prvku s nízkou mírou opotřebení.

4.3 Nejistota měření

- vypracováno s použitím [5], [24]

Tento pojem je v metrologické praxi velmi aktuální, i když často opomíjený. Zejména u akreditovaných pracovišť, které se zabývají zakázkovým měřením, ověřováním, kalibrací a zkoušením, je dle mezinárodních norem a směrnic vyžadováno, aby veškeré výsledky měření byly uvedeny s hodnotou nejistoty měření, která se vztahuje na daný typ měřicí metodiky.

Nejistotu lze chápat jako parametr charakterizující interval hodnot kolem výsledku měření, který můžeme odůvodněně přiřadit hodnotě měřené veličiny. Může se týkat výsledku měření, hodnot odečtených na použitých strojích, hodnot použitých konstant atd., na kterých nejistota výsledku závisí.

Je vycházeno z principů pravděpodobnosti a statistiky, kdy je uvažováno, že nejistota měření pokryje skutečnou hodnotu s předpokládanou pravděpodobností.

Základní charakteristikou nejistoty je standardní nejistota u , která je vyjádřena hodnotou směrodatné odchylky $s(x)$. Při normálním rozdělení zaručuje výsledek s pravděpodobností 68,27%.

Standardní nejistoty se dle způsobu vyhodnocení člení na:

4.3.1 Standardní nejistoty typu A (u_A)

- jsou získávány z opakovaných měření
- s počtem měření jejich hodnota klesá

- současné technické přístroje a prostředky umožňují zpracování velkého počtu naměřených hodnot, čímž rapidně klesá standardní nejistota typu A
- při nezávislých naměřených hodnotách se standardní nejistota váže na výběrový průměr a určí se výpočtem směrodatné odchylky $s(x)$

4.3.2 Standardní nejistoty typu B (u_B)

- jejich hodnota je nezávislá na počtu měření
- metodika určení této nejistoty spočívá v určení standardní nejistoty vázané na výběrový průměr, určené však jiným způsobem než výpočtem směrodatné odchylky z opakovaných měření

Na přístroji *Talyrond 585LT*, kde byla prováděna většina měřících experimentů, se nejistota měření odvíjí od několika faktorů. Prvním z nich je prostředí, ve kterém je přístroj nainstalovaný a druhým obsluha, ovládající stroj. Základem pro samotný výpočet nejistoty je pak přesnost vřetene v radiálním směru. Další podílející se složky jsou citlivost snímače, vyrovnaní a vystředění kusu. V praxi, při provádění akreditovaných zkoušek výpočtů nejistot, se celková hodnota nejistoty u těchto typů strojů pohybuje u hodnoty $0,01 \mu\text{m}$. Největší mírou se na ní podílí nejistota etalonu, na kterém je zkouška prováděna.

Radiální chyba vřetena činí dle katalogu $0,02 \pm 0,01 \mu\text{m}$, kde $0,02 \mu\text{m}$ je naměřená odchylka kruhovitosti a $0,01 \mu\text{m}$ pak rozšířená nejistota s koeficientem rozšíření $k=2$. Maximální dovolená chyba přístroje je pak uvedena v prospektu $\pm 0,02 \mu\text{m} + 0,00025 \mu\text{m}/\text{mm}$. Zde také záleží na výšce, ve které se měří.

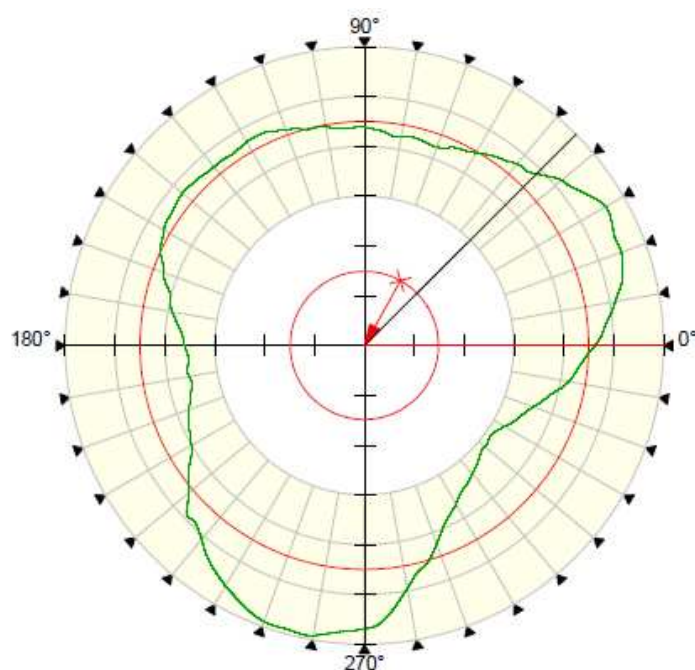
4.4 Měření kruhovitosti

- vypracováno s použitím [26]

Na kruhoměru *Talyrond 585LT* byly změřeny všechny tři - od firmy *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* - obdržené součásti, jejichž popis se nachází v úvodu práce (kapitola 2.2.). Měření probíhalo za teploty $21,1^\circ\text{C}$ a vlhkosti 32%. Všechny tři součásti byly upnuty stejným způsobem, modelínou, aby docházelo k co nejmenším deformacím. K vyhodnocení dat byl použit pokaždé Gaussův filtr a metoda nejmenších čtverců, která je pro matematickou analýzu nejvhodnější.

Výsledná odchylka kruhovitosti bude následně porovnána s ostatními měřícími metodikami.

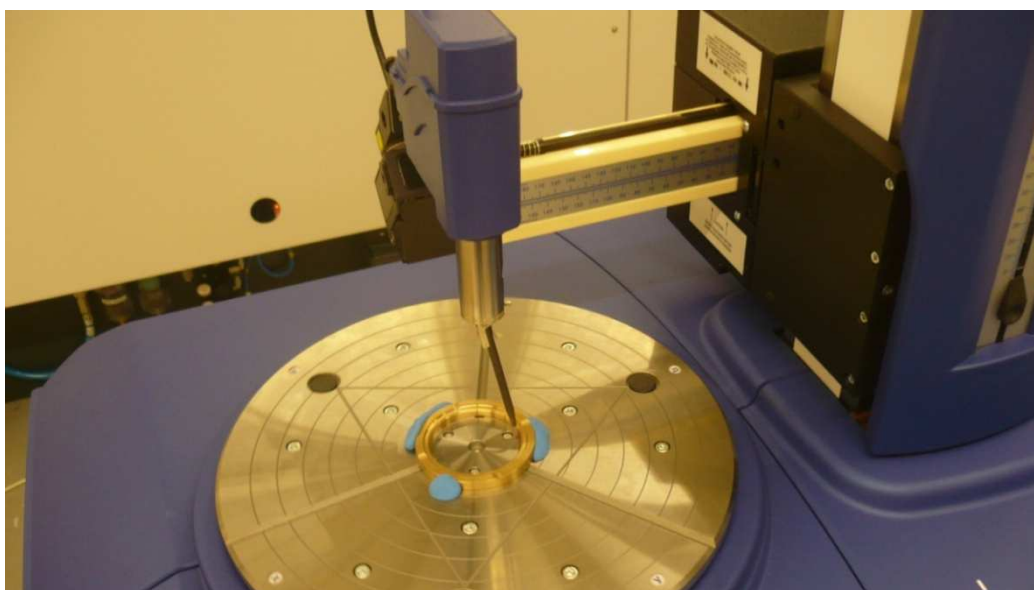
4.4.1 Podložka vnitřní průměr 51 mm



5.12.2014 11:42:51		
Med s tečkou		
360°/Admin/585		
5.12.2014 11:33:13		
Specifikace		
Typ reference	LS kružnice	
Typ filtru	Gauss	
Rozsah filtru	1 - 50 w/o	
Základna	Vřeteno	
Parametry		
RONp (kruhovitost - výstupek)	7,14	µm
poloha RONp	258,2	°
RONv (kruhovitost - prohlubeň)	8,94	µm
poloha RONv	324,5	°
RONt (kruhovitost)	14,08	µm
Házení	15,02	µm
Zahnutý profil	100,0	%
Ecc (excentricita)	1,12	µm
Poloha Ecc	241,1	°
Conc	2,24	µm
Podmínky		
Poloha Z	18,758	mm
Poloha R	-16,217	mm
Poloha snímače		Vertikální
Směr kontaktu		R +
Kontaktní rychlost	2,5	mm/s

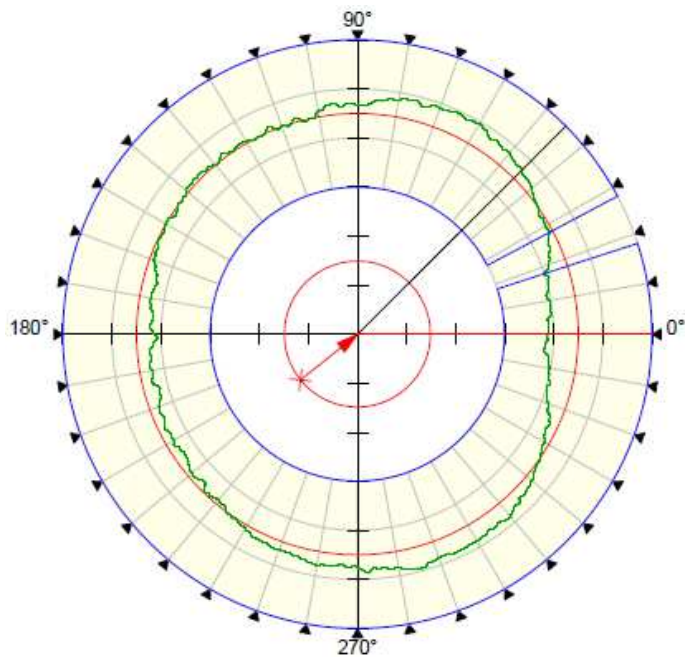
Graf 4.1: Vyhodnocení odchylky kruhovitosti u prvního vzorku [26]

Změřená odchylka kruhovitosti 14,08 µm v tomto případě naprosto splňuje toleranční předpis 0,05 mm. Byla ověřena hypotéza, že kruhovitost a celková výrobní přesnost této součásti je ovlivněna upnutím do tří čelistového sklíčidla a následným chováním materiálu obrobku po uvolnění čelistí. V tabulce lze odečíst mimo jiné i hodnoty úchylek kruhovitosti na nejvyšším, potažmo na nejnižším místě profilu a jejich výskyt dle uvedeného úhlu natočení.



Obr. 4.5: Měření odchylky kruhovitosti u prvního vzorku [26]

4.4.2 Podložka vnitřní průměr 53 mm

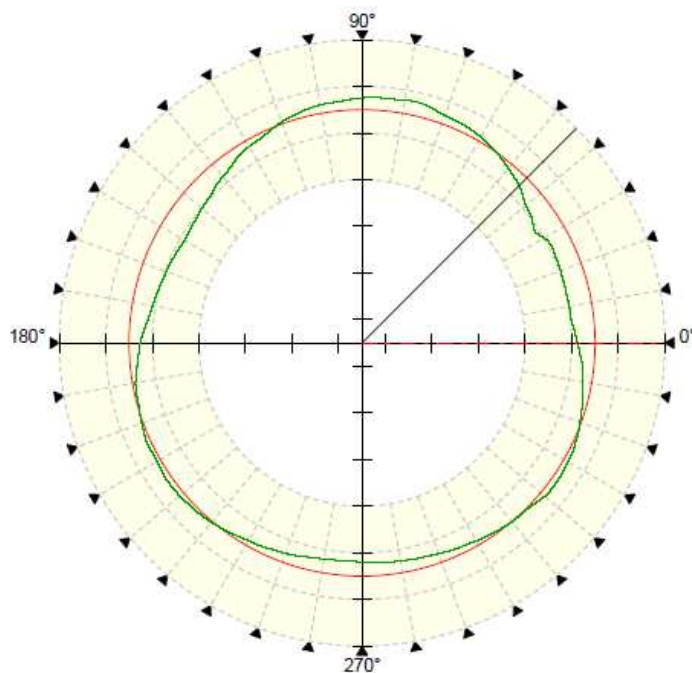


Specifikace		
Typ reference	LS kružnice	
Typ filtru	Gauss	
Rozsah filtru	1 - 150 w/o	
Základna	Vřeteno	
Parametry		
RONp (kruhovitost - výstupek)	2,31	μm
poloha RONp	66,0	°
RONv (kruhovitost - prohlubeň)	3,44	μm
poloha RONv	355,1	°
RONt (kruhovitost)	5,75	μm
Házení	6,61	μm
DFTC (díleč kruhovitost)	2,16	μm
Okno DFTC	10	°
Poloha DFTC	18,01	°
Zahmutý profil	100,0	%
Ecc (excentricita)	1,28	μm
Poloha Ecc	39,7	°
Conc	2,56	μm
Podmínky		
Poloha Z	16,655	mm
Poloha R	-15,210	mm
Poloha snímače		Vertikální
Směr kontaktu		R +
Kontaktní rychlost	2,5	mm/s

Graf 4.2: Vyhodnocení úchylky kruhovitosti u druhého vzorku [26]

Změna výrobního procesu má zásadní vliv na výsledné tvarové a funkční vlastnosti obrobku. Odchylka kruhovitosti činí 5,75 μm, což je téměř třikrát menší hodnota v porovnání s prvním vzorkem. Odchylka se nachází bez problémů v předepsané toleranci.

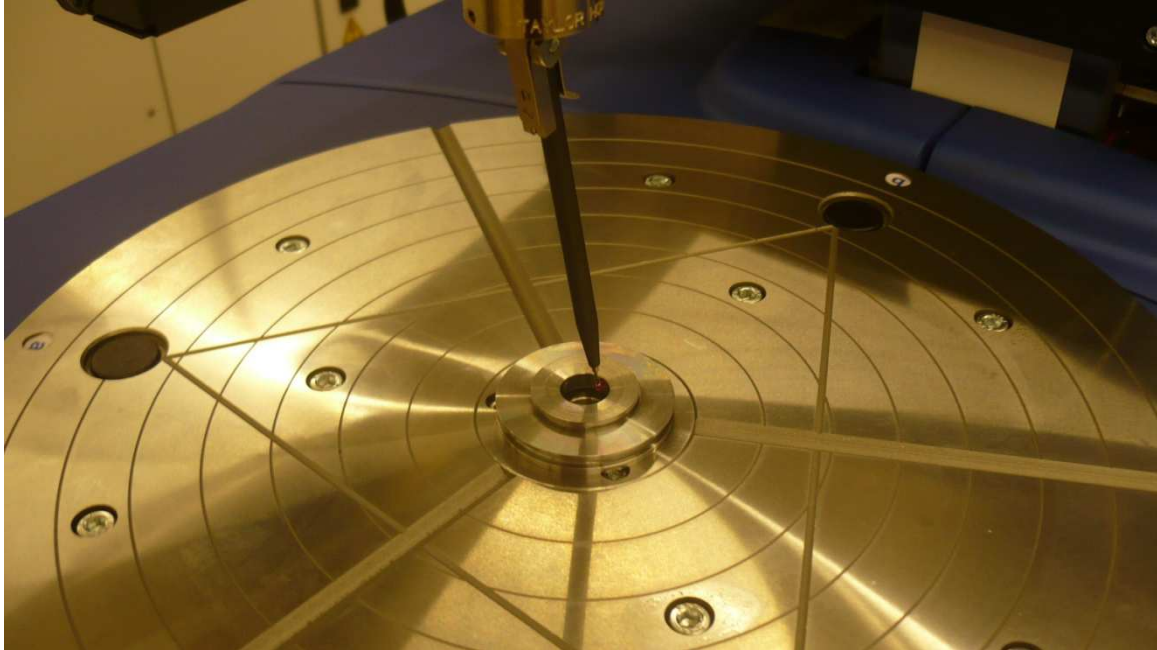
4.4.3 Víčko



Specifikace		
Typ reference	LS válec	
Typ filtru	Gauss	
Rozsah filtru	1 - 50 w/o	
Základna	Vlastní	
Parametry		
RONp (kruhovitost - výstupek)	3,01	μm
poloha RONp	149,9	°
RONv (kruhovitost - prohlubeň)	1,49	μm
poloha RONv	77,7	°
RONt (kruhovitost)	4,50	μm
Házení	4,50	μm
Podmínky		
Poloha Z	2,500	mm
Poloha R	14,310	mm
Poloha snímače		Vertikální
Směr kontaktu		R +
Kontaktní rychlost	2,5	mm/s

Graf 4.3: Vyhodnocení odchylky kruhovitosti u třetího vzorku [26]

Předepsaná odchylka kruhovitosti 6 mikronů je i v tomto případě dodržena. Což je pro firmu *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* přívětivá zpráva, kdy i za absence takto výkonného měřicího stroje a možnosti průběžného proměřování dílů, probíhá výroba dílů a součástí stále ve vysoké úrovni a přesnosti - 4,5 mikronu.



Obr. 4.6: Detail měření odchylnosti kruhovitosti u třetího dílu [26]

4.4.4 Zhodnocení měření

Měřením úchylek kruhovitosti byla získána potřebná výstupní data a představa o výsledných tvarech součástí. Měření probíhá za přítomnosti obsluhy, kdy jeden řez kruhovitosti včetně vyrovnání stolku a vystředění součásti trvá přibližně 10 minut. Zautomatizovat měření není možné, výměna kusů na otočném stolku probíhá manuálně.

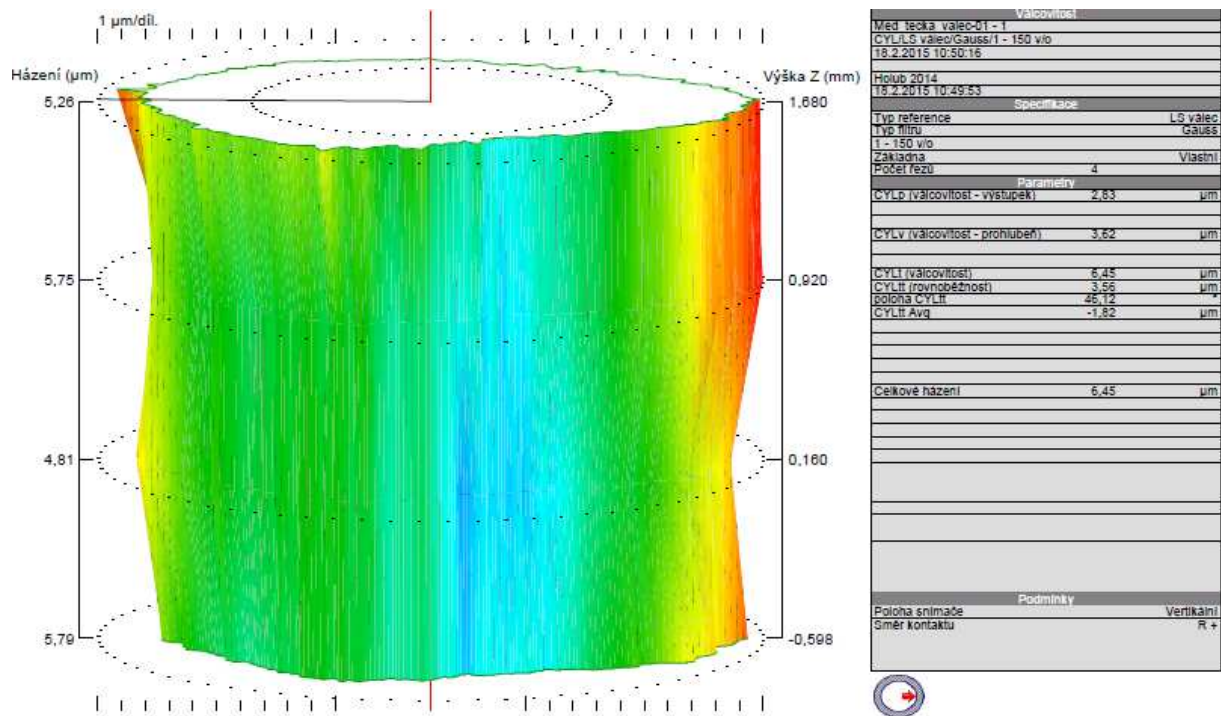
U takto přesného měření v řádu setin až tisícín milimetru ovlivňuje výsledek každý sebemenší detail. Snahou bylo přiblížit se co nejvíce reálným metrologickým podmínkám.

Talyrond 585LT je schopen dle informací výrobce měřit až s přesností 6 nanometrů a po obvodu měřené součásti zaznamenat a vyhodnotit několik desítek tisíc bodů. K výsledku měření se vztahuje určitá nejistota - popisovaná v kapitole 4.3. - kterou je nutno zahrnout.

Diagram vyhodnocení odchyly vřlcovivosti uřivatelı podává komplexnı představu o tvaru mřeného prvku a odchylnách hzenı v jednotlivých řezech mření. Podobnř jako u odchyly kruhovitosti i zde lze zjistit odchylnu vřlcovivosti vřstupku, přrıpadnř prohlubnř. Tvar součástı je po celř vřřce ovlivnřn upnutım do řelıstı, coř se dalo předpokládat dle vřsledkř mření odchyly kruhovitosti. Vřslednř odchylna vřlcovivosti pro tuto součást řını 14,01 μm .

4.5.1 Podlořka vnřtnı průmřr 53 mm

Nıřř odchyly hzenı a vřlcovivosti plus celkovř přesnřřř tvar. To vře mřa za nřsledek odliřnř vřrobnı postup. Odchylna vřlcovivosti 6,45 μm a dalřř hodnoty parametrř jsou řıtelnř z grafu nıře.



Graf 4.6: Vyhodnocenı odchyly vřlcovivosti u druhého vzorku [26]

4.5.2 Vıřko

Součást vıřko byla analyzovřna stejnřm zpřsobem jako předchozı dva dıly s tım rozdılem, ře bylo navıc vyuřřeno funkce softwaru Talymap a vřlcovř plocha byla rozbalena. K nı nřslednř přıřazena barevnř stupnice, vyznařujıcı vřřku jednotlivřch nepravidelnostı. Na vřsledek lze tedy pohlıřet z dalřřch řhľř a vřřmat si jinřch detailř profilu.

Vřslednř odchylna vřlcovivosti řını 4,96 μm .

4.5.3 Zhodnocení měření

Měřením úchyly válcovitosti získáváme již plnohodnotný 3D diagram, díky kterému lze odhalit výrobní nepřesnosti a deformace po celé výšce měřeného prvku. Změřený válcový profil může být natáčen pro zobrazení odchylek ze všech stran. Čas měření je závislý na počtu sejmutých kruhovitých řezů, kdy i zde platí, že čím přesnějšího výsledku chceme dosáhnout, tím více řezů musí být proměřeno. S rostoucí požadovanou přesností roste samozřejmě i čas měření.

4.6 Měření drsnosti povrchu

Měřením úchytek kruhovitosti a válcovitosti byly zjištěny číselné hodnoty odchylek a tvary jednotlivých profilů. Roli na výsledky hraje do určité míry i drsnost povrchu, která ovlivňuje a zároveň je ovlivňována geometrickými tolerancemi. Firma *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* je si tohoto faktu vědoma, z toho důvodu bylo provedeno dodatečné doměření drsností povrchu u tří součástí. K tomuto účelu bylo s výhodou využito kruhoměru *Talyrond 585LT*, který toto měření také umožňuje.



Obr. 4.7: Kontrola přitlačné síly hrotu [26]

Přístroj *Talyrond 585LT* je pro potřeby měření drsnosti vybaven speciálním měřícím ramínkem s hrotem, které lze snadno vyměnit s dotekem pro měření úchylek tvaru a polohy. Před každým měřením probíhá opět vystředění a vyrovnaní dílu a navíc ještě kontrola přítlačné síly hrotu. Nadměrná přítlačná síla by mohla vést k opotřebení nebo až zničení vzorku. V našem případě bylo naměřeno 0,23 gramu z maximálně povolených 0,3 gramu. Podmínka dalšího průběhu měření tedy byla dodržena.

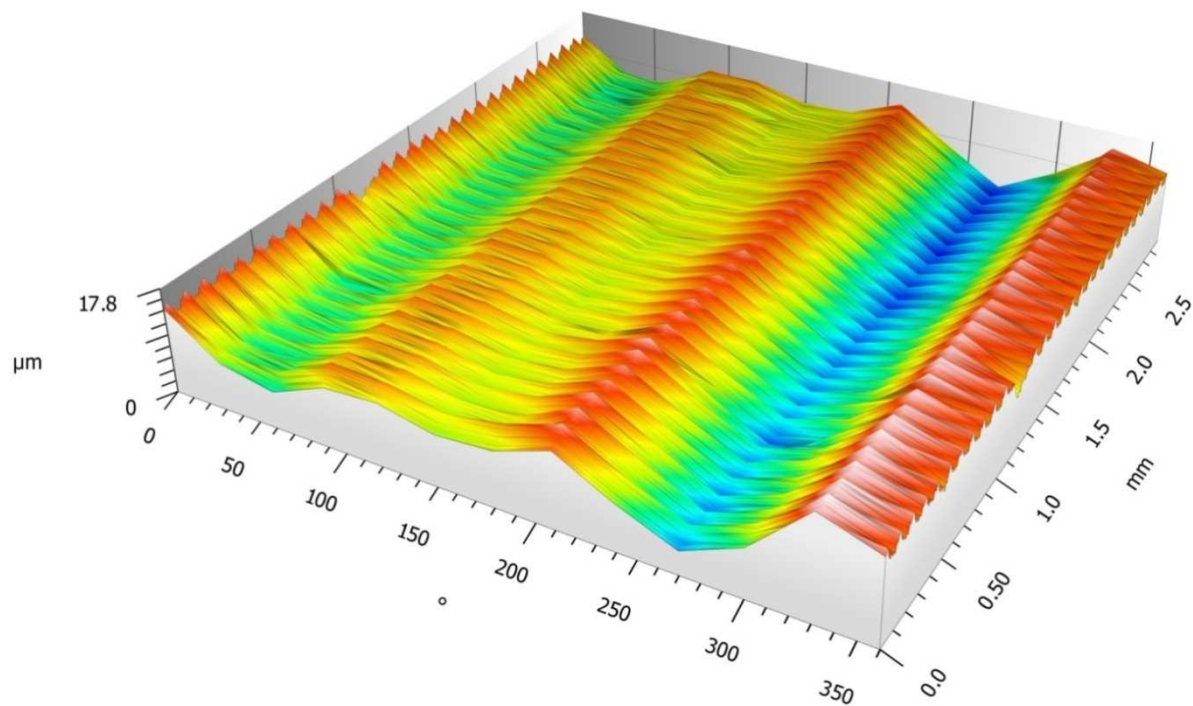
Vzhledem k měření drsnosti povrchu již není striktně vyžadováno jemné upnutí obrobku modelínou, jako tomu bylo u odchylky kruhovitosti či válcovitosti, a proto bylo použito standardní tříčelist'ové sklíčidlo.

4.6.1 Podložka vnitřní průměr 51 mm

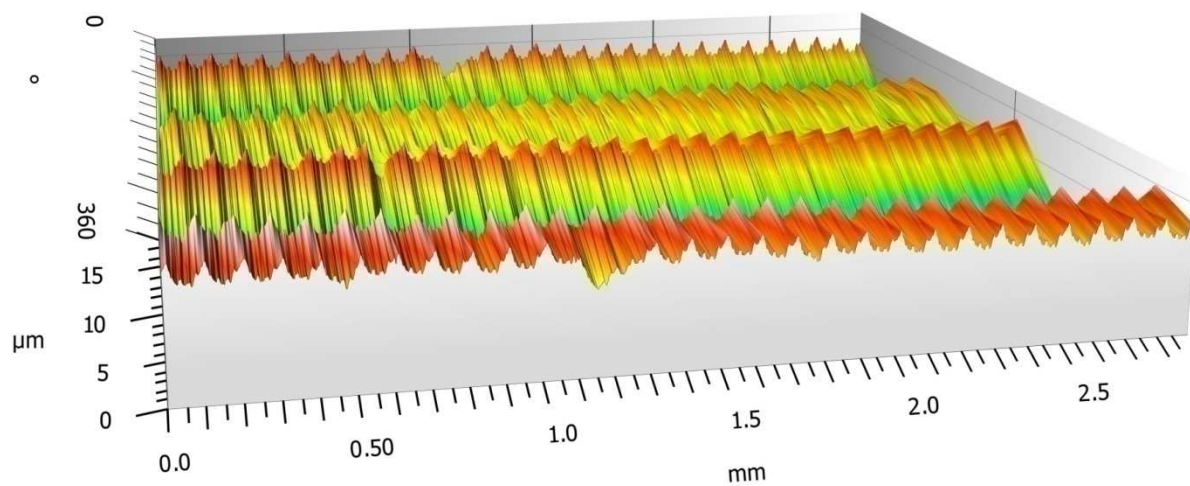
Měření drsnosti povrchu bylo provedeno ve dvanácti místech po obvodu, v rozestupu po třiceti stupních, při pohybu měřícího doteku na délce 2,9 mm v příčném směru. Celková výška měřené díry v ose Z činí 4,5 mm. Měřená délka 2,9 mm se nachází přibližně uprostřed z celkové výšky, aby konečná hodnota drsnosti povrchu nebyla ovlivňována stopami vznikajícími při najetí případně vyjetí obráběcího nástroje z řezu. Měření trvalo 5,5 minuty. Za využití softwaru Talymap byl z naměřených dat vytvořen 3D graf, barevně zobrazující výšku jednotlivých nerovností a vzhled povrchu součásti po celé délce obvodu součásti.



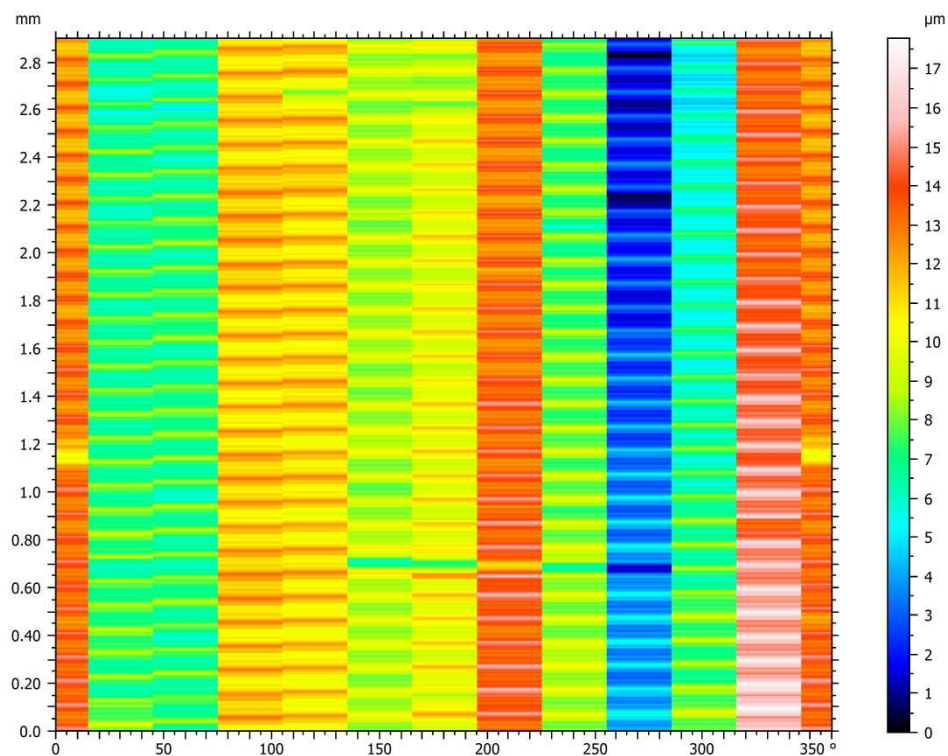
Obr. 4.8: Detail měření drsnosti povrchu u prvniho vzorku [26]



Graf 4.9: Měření drsnosti prvního vzorku [26]

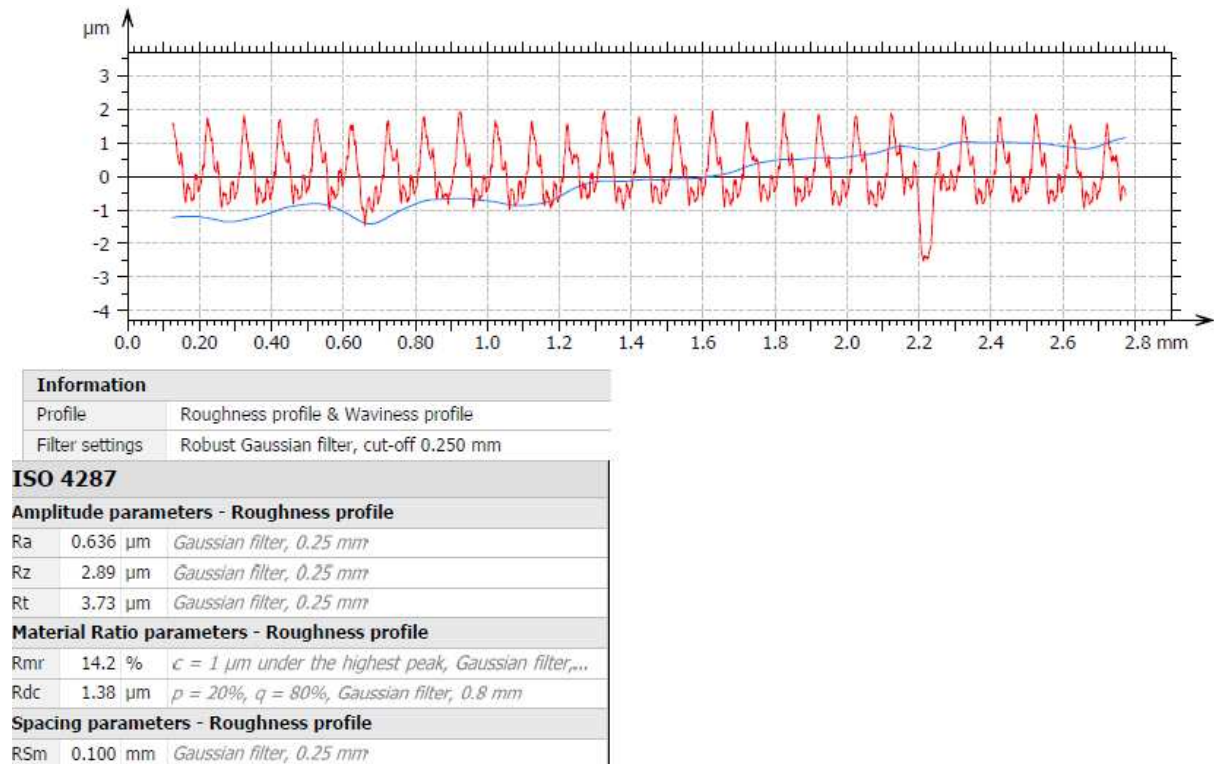


Graf 4.10: Měření drsnosti prvního vzorku - druhý pohled [26]

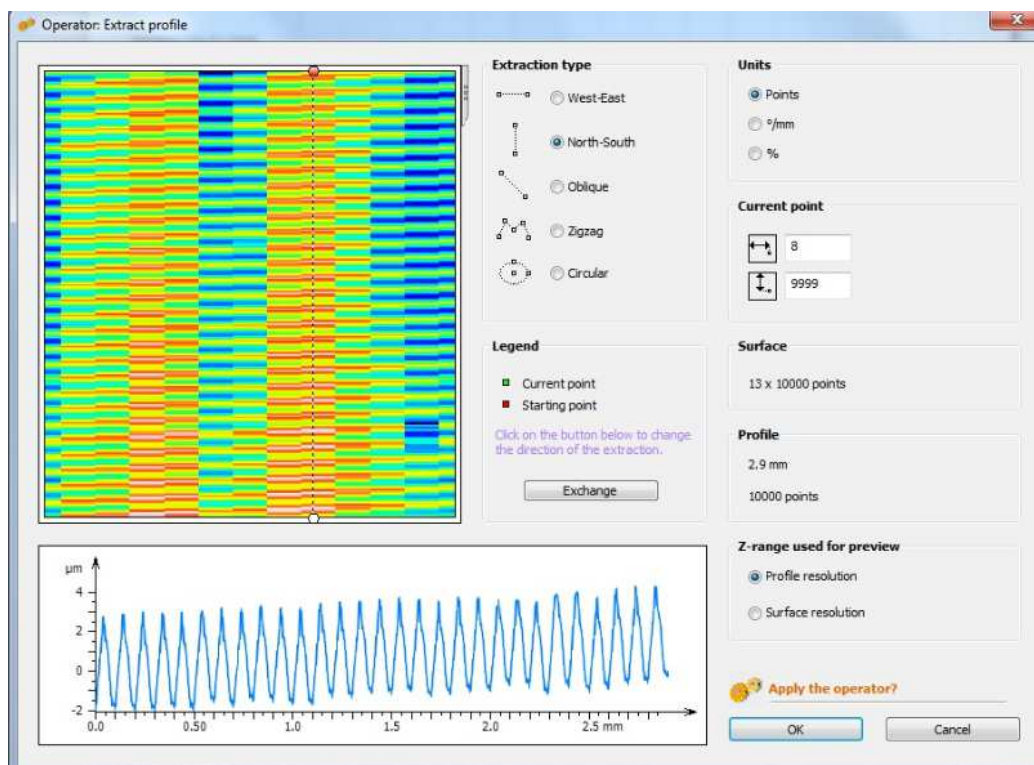


Obr. 4.9: 2D barevné zobrazení hodnot v jednotlivých místech měření po obvodu prvního vzorku [26]

Při následné vizuální analýze naměřených dat není patrný žádný sebevětší výrobní problém. V případě potřeby detailnějšího zkoumání jednotlivých měření software umožňuje zvolit si požadované místo dle úhlu natočení a zde analyzovat další parametry. Dle obrázku číslo 4.9 a grafu číslo 4.9 je například vidět, že při úhlu natočení 270° , ve výšce měření 0,7 mm, došlo ke změně výšek nerovností, což je patrné změnou barevného zbarvení v grafu. Průběh drsnosti a vlnitosti profilu, změřené parametry drsnosti dle ISO 4287 v tomto úhlu natočení jsou patrné z grafu 4.11, kde je červeně vyznačen profil vlnitosti a světle modře profil drsnosti.



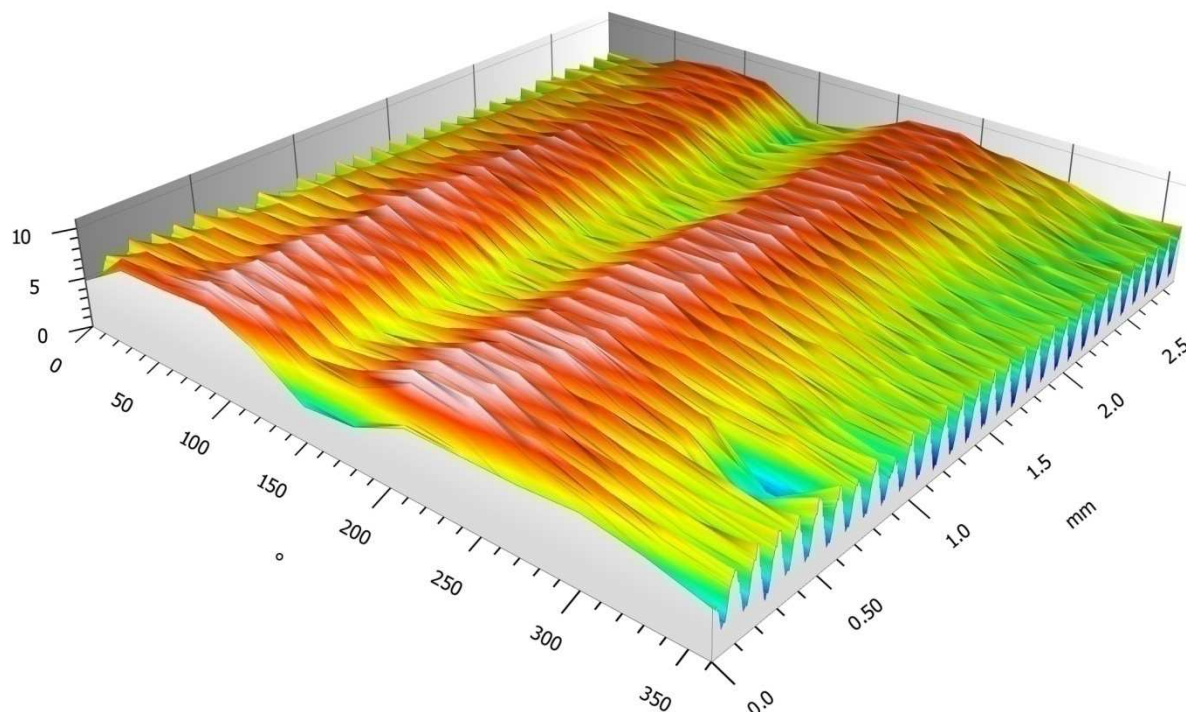
Graf 4.11: Profil a parametry drsnosti u prvního vzorku [26]



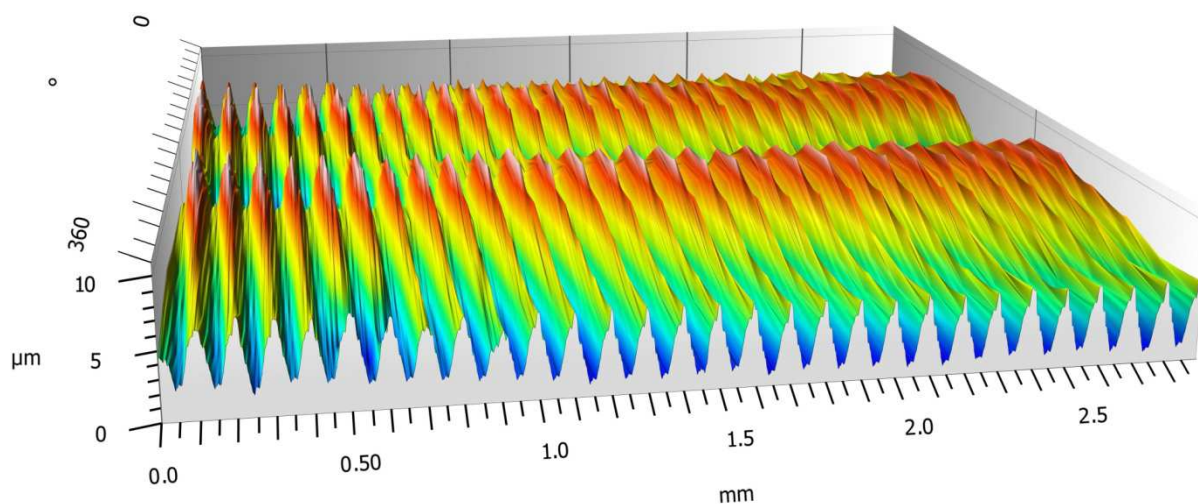
Obr. 4.10: Volba zkoumaného profilu v softwaru Talymap [26]

4.6.2 Podložka vnitřní průměr 53 mm

U druhé podložky s vnitřním průměrem 53 mm bylo měření drsnosti povrchu prováděno za stejných podmínek a stejným způsobem jako u předešlé součásti.

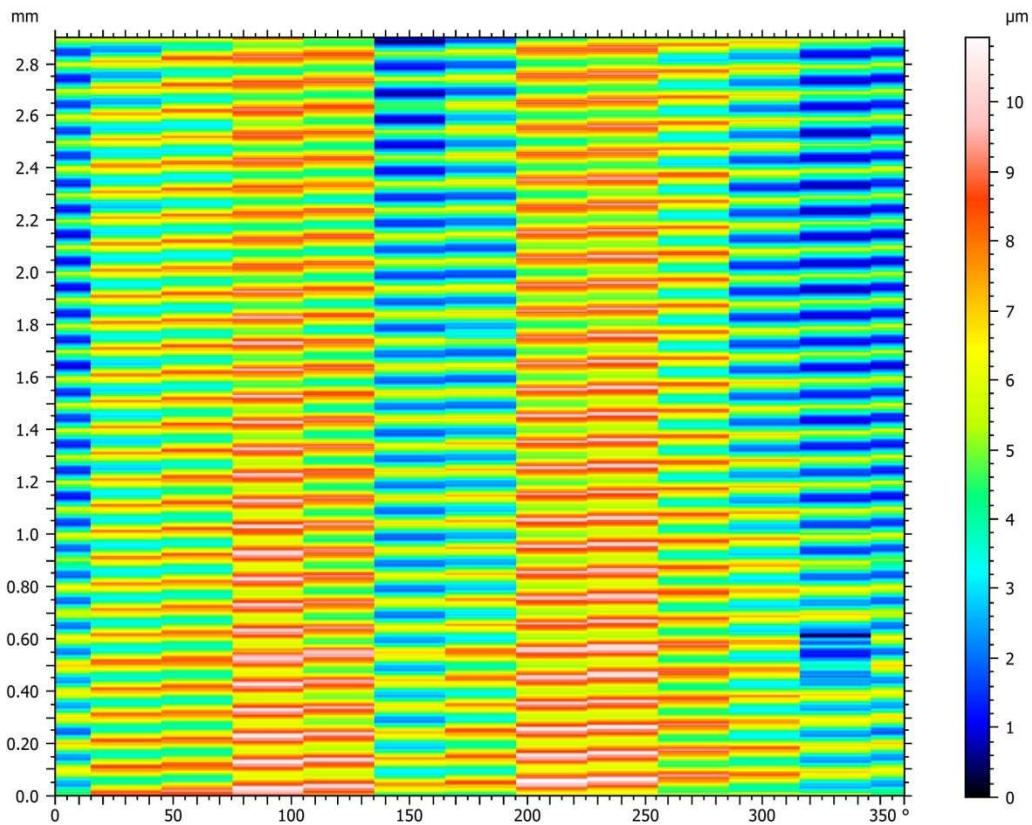


Graf 4.12: Měření drsnosti druhého vzorku [26]

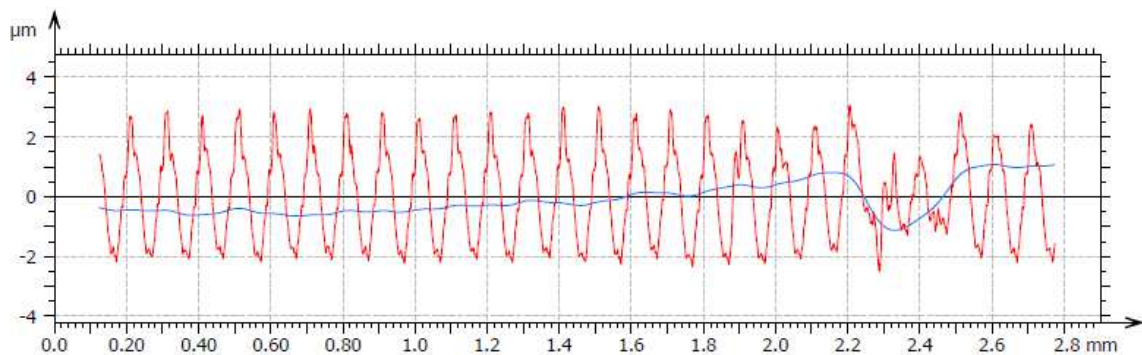


Graf 4.13: Měření drsnosti druhého vzorku - druhý pohled [26]

Pro další analyzování bylo vybráno místo z grafu, které se nachází na úhlovém natočení 330° a ve výšce přibližně 0,65 mm, kde opět, dle náhlé změny barevného stupně označení, lze očekávat změny v drsnosti povrchu.



Obr. 4.11: 2D barevné zobrazení hodnot v jednotlivých místech měření po obvodu druhého vzorku [26]

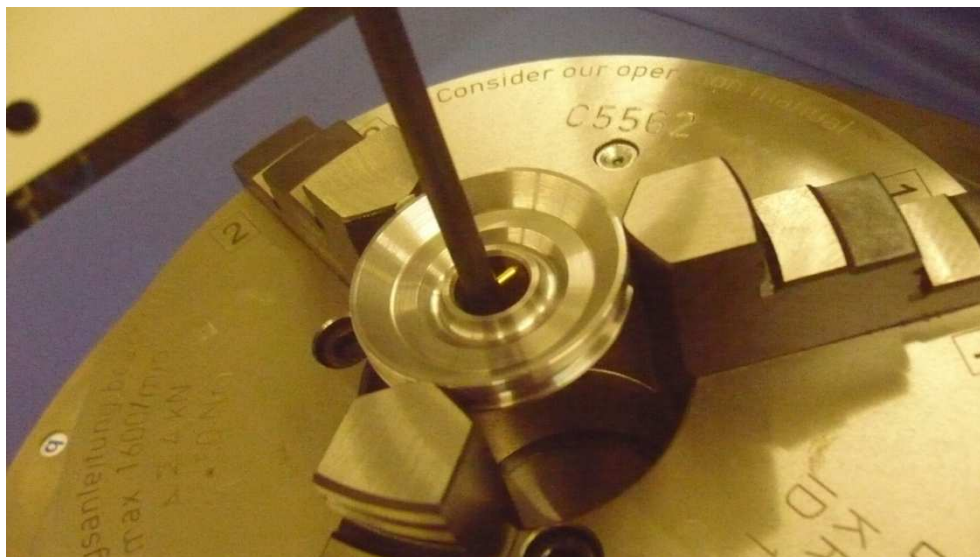


Information		
Profile	Roughness profile & Waviness profile	
Filter settings	Robust Gaussian filter, cut-off 0.250 mm	
ISO 4287		
Amplitude parameters - Roughness profile		
Ra	1.31 μm	Gaussian filter, 0.25 mm
Rz	5.07 μm	Gaussian filter, 0.25 mm
Rt	5.48 μm	Gaussian filter, 0.25 mm
Material Ratio parameters - Roughness profile		
Rmr	7.23 %	$c = 1 \mu\text{m}$ under the highest peak, Gaussian filter,...
Rdc	3.15 μm	$p = 20\%$, $q = 80\%$, Gaussian filter, 0.8 mm
Spacing parameters - Roughness profile		
RSm	0.104 mm	Gaussian filter, 0.25 mm

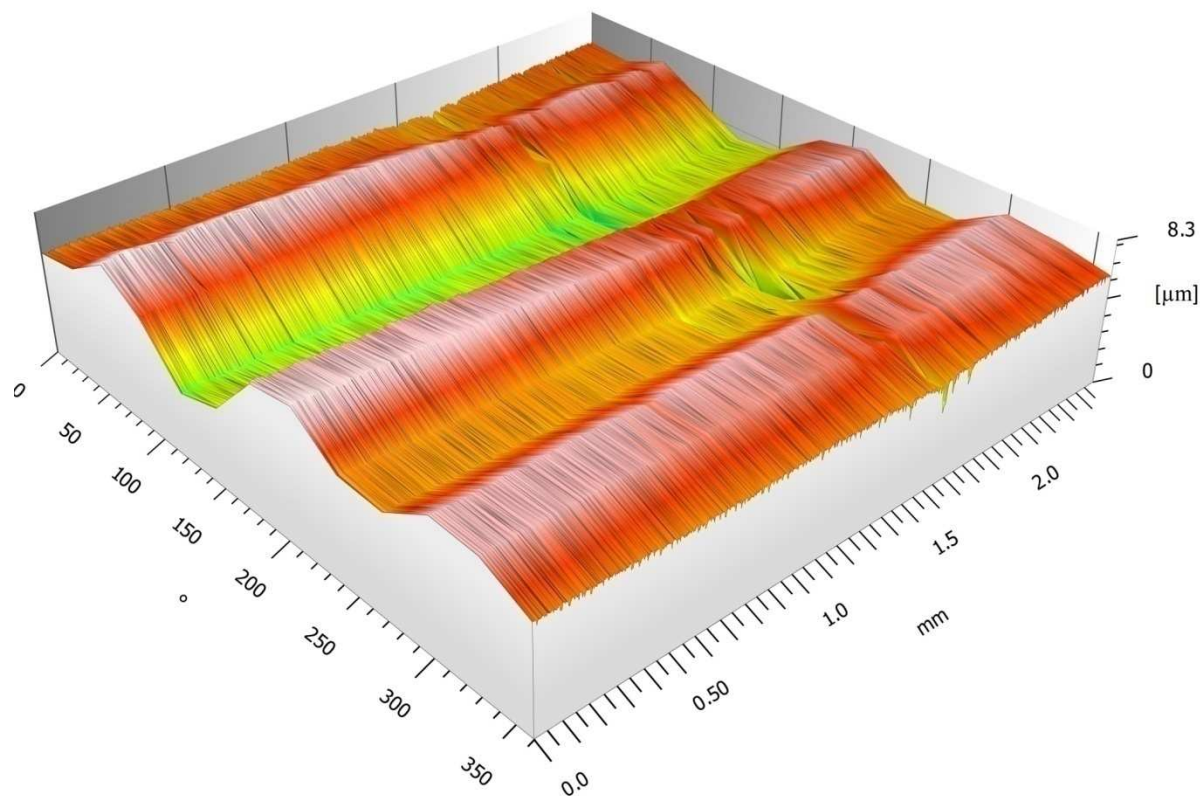
Graf 4.14: Profil a parametry drsnosti u druhého vzorku [26]

4.6.3 Víčko

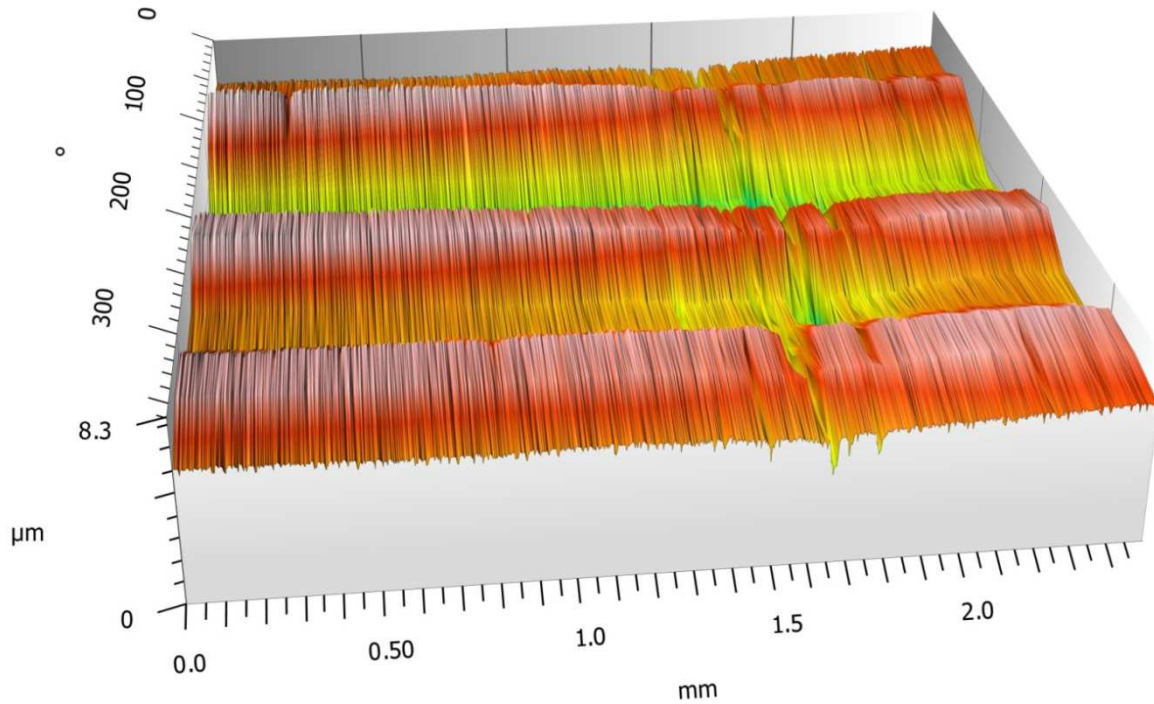
Měření drsnosti povrchu u posledního vzorku typu víčko bylo také úspěšné i přes počáteční obavy vzhledem k velikosti průměru měřeného otvoru 11 mm. Měřicí hrot se nakonec do otvoru s pomocí zkušené obsluhy stroje vešel a měření mohlo proběhnout standardně jako v předchozích případech. Doba měření klesla na 5 minut.



Obr. 4.12: Detail měření drsnosti povrchu u třetího vzorku [26]

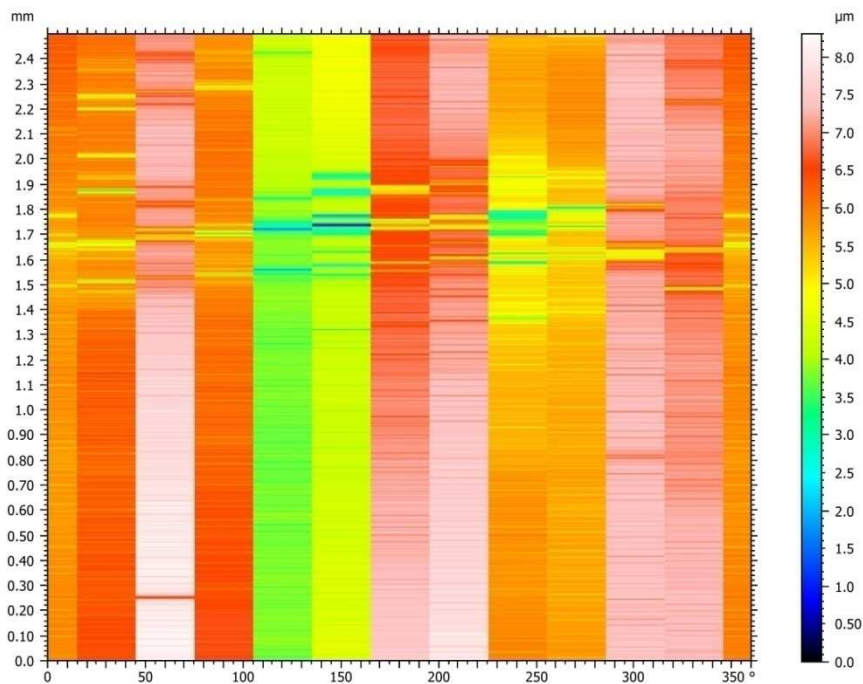


Graf 4.15: Měření drsnosti třetího vzorku [26]

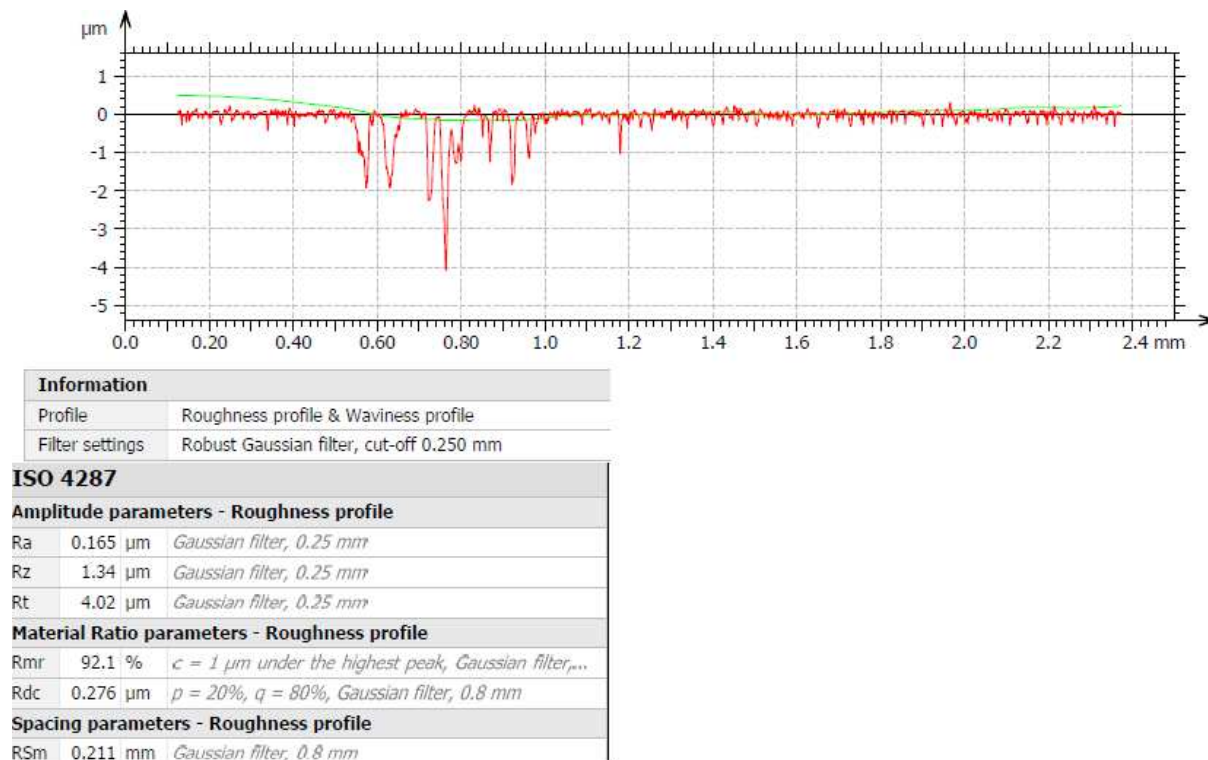


Graf 4.16: Měření drsnosti třetího vzorku - druhý pohled [26]

Z výsledku měření je patrná značná změna drsnosti povrchu po celém obvodu součásti ve výšce přibližně 1,6 - 1,8 mm. Příčinou tohoto jevu je s největší pravděpodobností konečné vystružování díry, kdy u výstružníku po obrobení několika kusů dochází k jeho opotřebení a ztrátě výsledné jakosti povrchu.



Obr 4.13: 2D barevné zobrazení hodnot v jednotlivých místech měření po obvodu třetího vzorku [26]



Graf 4.17: Profil a parametry drsnosti u třetího vzorku [26]

4.6.4 Zhodnocení měření

Měření drsnosti povrchu na přístroji *Talyrond 585LT* bylo názorné a přínosné. Zvláště výsledné grafy jsou dobře čitelné a vhodně zobrazují profil vlnitosti zkombinovaný s profilem drsnosti povrchu, ve kterém díky barevnému spektru nerovností lze snadno odhalit výkyvy ze standardních hodnot.

U prvních dvou součástí byly zjištěny rozdílné hodnoty parametrů R_z a R_a , z čehož lze usuzovat, že stejně jako u měření odchylek kruhovitosti nebo válcovitosti, i zde má na výsledné hodnoty vliv výrobní technologie. U součásti typu víčko jsou vzhledem k přesnějšímu požadavku na kruhovitost díry hodnoty parametrů drsnosti výrazně nižší. Přesto byla odhalena výrobní nepřesnost, způsobená pravděpodobně finálním vystružováním díry na požadovaný rozměr.

Naměřené hodnoty jsou patrné z tabulky:

Součást	R_a [µm]	R_z [µm]
Podložka $\phi 51\text{mm}$	0,636	2,89
Podložka $\phi 53\text{mm}$	1,31	5,07
Víčko	0,165	1,34

Tab. 4.1: Naměřené hodnoty na kruhoměru *Talyrond 585LT* [26]

5 Měření na souřadnicovém měřicím přístroji

Vzhledem k tomu, že v době vypracovávání této práce byl Katedrou technologie obrábění zakoupen nový souřadnicový měřicí přístroj *PRISMO navigator*, nabízelo se tři součásti proměřit i na tomto novém stroji od firmy *ZEISS* a následně naměřené hodnoty porovnat s ostatními CMM.

Pro srovnání přesnosti měření na současném, ve firmě *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* užívaném, 3D měřicím stroji a novém od firmy *ZEISS* bylo měření provedeno zároveň i na starém souřadnicovém katedrálním přístroji *LK G - 90C*.

Měřena byla úchylka kruhovitosti, válcovitosti (ve čtyřech řezech) a průměr díry skenovací metodou.

5.1 LK - 90C

- vypracováno s použitím [12], [26]

Tento přístroj byl vyroben v roce 2000 britským výrobcem *LK Limited*. Jedná se o mostový typ, s motoricky řízenými osami, které jsou uloženy na vzduchových ložiskách s možností měřit i složité tvary. Je vybaven měřicí hlavou od firmy *Renishaw* s označením PH10T. Přesnost měření je 0,001 mm. Použitý měřicí dotek je ve tvaru kuličky o průměru 2 mm.



Obr. 5.1: Kalibrace přístroje [26]

Součást	Odchylka kruhovitosti [mm]	Odchylka válcovitosti [mm]	Průměr díry [mm]
Podložka ϕ 51 mm	0,017	0,012	50,976
Podložka ϕ 53 mm	0,010	0,009	52,978
Víčko	0,020	0,007	11,008

Tab. 5.1: Naměřené hodnoty [26]

5.2 ZEISS PRISMO navigator

- vypracováno s použitím [26], [27]

Velice moderní a přesné měřicí zařízení od německého výrobce ZEISS. Při vysokorychlostním skenování si automaticky nastavuje maximální rychlost měření se zaručenou dosažitelnou přesností, což zaručuje jistotu sejmutí bodů v řádu několika stovek až tisícovek. Časová úspora vzniká i díky tangenciálnímu najíždění a snímání, skenování po šroubovici a dynamické kalibraci snímačů.

Portál je velmi tuhý a lehký díky kombinaci keramiky a kompozitních materiálů na bázi uhlíkových vláken. Všechny osy jsou vybaveny vzduchovými ložisky, nechybí ani elastomerové tlumení vibrací. Maximální povolená hmotnost měřené součásti je 5000 kilogramů.

Za použití pevné snímací hlavy ZEISS VAST GOLD je uváděna chyba měření $0,9 \mu\text{m} + \frac{L}{350}$, kde L je měřená délka v milimetrech. Použitý měřicí dotek je ve tvaru kuličky o průměru 2 mm.



Obr. 5.2: ZEISS PRISMO navigator [26]

Součást	Odchylka kruhovitosti [mm]	Odchylka válcovitosti [mm]	Průměr díry [mm]
Podložka ϕ 51 mm	0,0131	0,011	50,977
Podložka ϕ 53 mm	0,0103	0,005	52,9775
Víčko	0,0072	0,006	11,0132

Tab. 5.2: Naměřené hodnoty [26]

6 Vzájemné srovnání naměřených hodnot

- vypracováno s použitím [1], [26]

V předchozích kapitolách bylo provedeno mnoho druhů měření, na přístrojích s odlišnou přesností, za užití rozdílných metodik měření. V této kapitole jsou všechny naměřené hodnoty srovnány a okomentovány.

6.1 Kruhovitost

Součást	ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.			Katedra technologie obrábění		
	Použitý přístroj, metodika					
	Třibodové měřidlo	Vnitřní dutinoměr	CMM Impact	CMM LK	CMM PRISMO	Talyrond
Podložka ϕ 51 mm	0,008	0,015	0,0158	0,017	0,0131	0,01408
Podložka ϕ 53 mm	0,006	0,006	0,0151	0,010	0,0103	0,00575
Víčko	-	-	0,0051	0,020	0,0072	0,0045

Tab. 6.1: Vyhodnocení odchylky kruhovitosti [mm] [1], [26]

Při porovnávání naměřených hodnot úchylnosti kruhovitosti je vycházeno z předpokladu, že nejpřesnější a nejvíce realitě odpovídající hodnoty byly získány z univerzitního kruhoměru Talyrond 585LT. Výsledky z tří souřadnicových měřicích strojů, které byly v testu použity, se na první pohled relativně slušně přibližují hodnotám naměřených na kruhoměru, ale vždy minimálně u jedné součásti úchylnost kruhovitosti nekoresponduje s hodnotami získanými na Talyrondu. V případě součástí typu podložka, při předepsané toleranci kruhovitosti 0,05 mm, není nutné využívat přesný kruhoměr. Metrologická kontrola je zde dostačující dílenskými ručními metodami, případně užitím souřadnicového měřicího stroje.

Při ověřování úchylnosti kruhovitosti - např. 6 μ m - na souřadnicovém měřicím přístroji je obecně doporučováno použít přístroj, který má maximální dovolenou chybu minimálně o řád lepší. Pokud bude tento předpoklad aplikován na CMM ZEISS PRISMO s přesností $0,9 \mu\text{m} + \frac{L}{350}$, tak tuto podmínku nesplňuje ani základní přesnost přístroje. Tyto chyby samozřejmě mohou nepříznivě ovlivnit výsledek měření.

Výsledek experimentu je tedy takový, že pro součást typu víčko s předepsanou tolerancí kruhovitosti 0,006 mm je měření odchylky kruhovitosti na souřadnicovém měřicím stroji nevhodné a nedostatečné.

6.2 Válcovitost

Součást	ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.		Katedra technologie obrábění	
	Použitý přístroj, metodika			
	CMM Impact	CMM LK	CMM PRISMO	Talyrond
Podložka ϕ 51 mm	0,0156	0,012	0,011	0,01401
Podložka ϕ 53 mm	0,0101	0,009	0,005	0,00645
Víčko	0,004	0,007	0,006	0,00496

Tab. 6.2: Vyhodnocení odchylky válcovitosti [mm] [1], [26]

Úchylka válcovitosti je ve své podstatě opakované měření kruhovitosti v několika řezech součásti. Z toho důvodu zde budou doporučení podobná, jako u předcházejícího vyhodnocení odchylky kruhovitosti.

Přesnost výsledné odchylky válcovitosti zjištěné pomocí souřadnicového stroje se odvíjí od počtu rovin, v kterých bylo měření provedeno. Se stoupajícím počtem těchto rovin roste přesnost výsledku, čas měření, ale naopak vlivem nestálého kontaktu měřicího doteku s plochou součásti dochází ke zvětšování odchylky v porovnání s hodnotou získanou na Talyrondu.

Naměřené hodnoty na souřadnicových měřicích strojích jsou natolik rozdílné v porovnání s hodnotami získanými na kruhoměru, že je nelze se zárukou doporučit k vyhodnocování a dokladování naměřené úchylky válcovitosti.

6.3 Drsnost povrchu

Součást	ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.		Katedra technologie obrábění	
	Použitý přístroj, metodika			
	Surftest SJ - 400		Talyrond 585LT	
	R _a	R _z	R _a	R _z
Podložka ϕ 51 mm	0,74	3,5	0,636	2,89
Podložka ϕ 53 mm	1,62	5,9	1,31	5,07
Víčko	0,17	1,5	0,165	1,34

Tab. 6.3: Vyhodnocení drsnosti povrchu [μ m] [1], [26]

Za účelem porovnání hodnot parametrů drsnosti povrchu v dílenském a laboratorním prostředí bylo s výhodou využito univerzálnosti kruhoměru *Talyrond 585LT*, měřit a vyhodnotit tyto parametry při snadné výměně měřicího doteku.

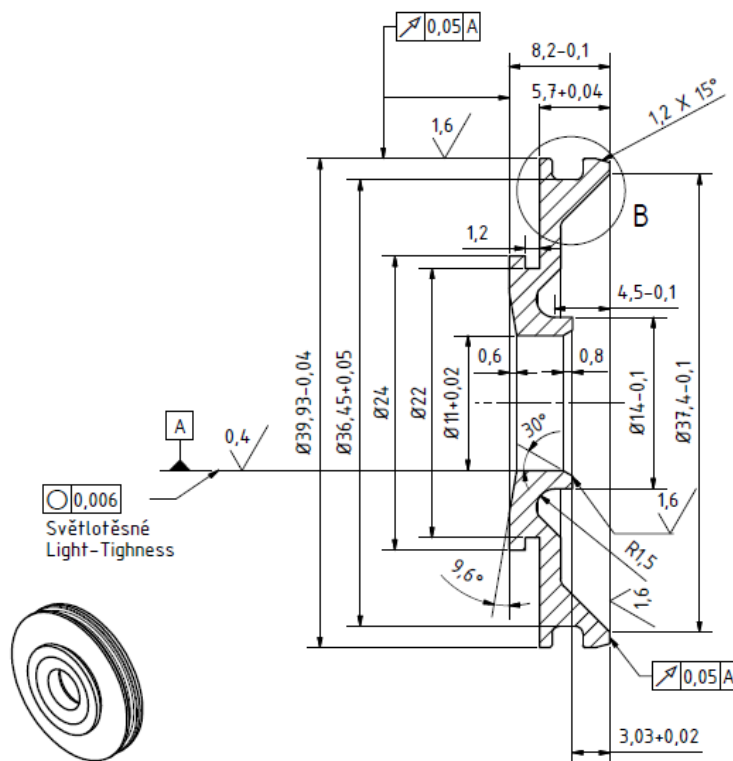
Všechny číselné parametry získané z dílenského přístroje *Surftest SJ - 400* nabývají větších hodnot v porovnání s hodnotami z laboratorního kruhoměru. Nutno zmínit, že celkové odchylky, o které se výsledné hodnoty liší, nejsou nijak vysoké. Vezmeme - li v potaz, že srovnání probíhá s vysoce přesným a několikrát dražším zařízením, lze dílenskou metodiku měření označit za dostatečně přesnou a pro vyráběné součásti a předepsané hodnoty drsností povrchů vyhovující.

7 Technicko – ekonomické zhodnocení

- vypracováno s použitím [1], [10]

Vzájemným porovnáním naměřených hodnot na různých přístrojích bylo zřetelně ukázáno, že měření problematických geometrických tolerancí vychází o třídu lépe a přesněji za užití speciálního kruhoměru, kdy v případě potřeby není problém zákazníkovi dodat měřicí protokoly s výslednými profily součástí.

Technicko - ekonomické hodnocení bylo pojato jako výrobková kalkulace součásti víčko, kdy je předpokládáno, že zákazník dodá výkres součásti a požaduje návrh cenové kalkulace výrobních nákladů. Porovnány budou z hlediska finančních nákladů dvě varianty a to za prvé s externím měřením odchylky kruhovitosti mimo firmu nebo za druhé přímo v prostorách firmy na zakoupeném kruhoměru. Nebude se tedy řešit návratnost nově zakoupeného přístroje, což by bylo v tomto případě u metrologického zařízení obtížnější, ale o kolik by stoupla cena výrobku typu víčko při důsledném měření - případně dokladování odchylky kruhovitosti. Pro potřebu dílenského měření úchyly kruhovitosti je z portfolia výrobků firmy *Taylor Hobson Ltd.* dostačující model *Surtronic R-80*, s kterým bude počítáno jako s možnou investiční variantou při případném rozšiřování strojového parku firmy *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.*



Obr. 7.1: Součást víčko - předmět výrobní kalkulace [1]

7.1 Kalkulace výrobních nákladů

- vypracováno s použitím [1], [10], [14]

Součást víčko by byla vyráběna na multifunkčním soustružnickém centru *Hyper Quadrex 100MSY* od japonského výrobce obráběcích strojů firmy *Mazak*. Stroj je vybaven dvěma vysoce produktivními vřeteny, dvěma obráběcími hlavami, umožňující kompletní obrábění součásti z počátečního polotovaru až do finálního tvaru bez nutnosti přeupínání. Čas obrábění jednoho dílu činí dle výrobního postupu (obr. 7.2) 115 sekund.

Polotovarem je v tomto případě automatová ocel 11 109.0 (nové označení 11SMn30) ve formě tří metrové, plné tyče o průměru 42 mm s tolerančním polem h9.

číslo programu: 8074		stroj: Quadrex 100		KOVOPLZEŇ s.r.o.		Seřizovací list	
název dílu: Víčko				číslo výkresu: C1 3993320105 rev.D		Strojní čas jednoho ks: 115	
délka tyče: 750	konec tyče: 11	kusů z tyče:	síla upnutí: max/11	síla konika:	prog. pro přetočení čelisti: 5	přípravek:	
Horní hlava	Poz.	Název	Data	Označení destičky (nástroje)		Poznámka	
	1Q	díra hotově	R0,4	VCMT080204 MV UE6020			
	2B	tvar hotově	R0,4	WNMG06T304 WG IC9015			
	3	doraz					
	4L	zápich čelo hrubovat	R1,5 S3	GRIP 3051Y IC908			
	5L	díra Ø10,6	R0,2	WCMTL30202 NX2525			
	6S	horní zápich	R0,1 S1,2	SMGTR16X2120C NX2525			
	7L	díra hrubovat	R0,4	CCMT060204 SM HPC710			
	8S	úpich	S3	150.10-3N 10 CP600			
	10S	zadní průměr hrub.	R0,1 S3	GIM 3C IC354			
	12	vrták	Ø10,4	HM			
	Spodní hlava	Poz.	Název	Data	Označení destičky (nástroje)		Poznámka
1L		díra Ø10,8+čelo	R0,2	WCMTL30202 NX2525			
2B		tvar hotově	R0,4	DCMT 11T304 SM HPC710			
4S		zápich	R0 R1,2	SMGTR 16X2120C NX2525			
10U		výstružník	Ø11	HM		poháněný	

Obr. 7.2: Výrobní postup součásti víčko [1]

Jednotlivé složky nákladů se při kalkulaci vyčísľují na kalkulační jednici, tj. na určitý výkon (výrobek, zakázka apod.) vymezený měrnou jednotkou (ks, kg apod.) v tzv. kalkulačních položkách. Doporučené kalkulační položky zahrnuje typový kalkulační vzorec (obrázek 7.3), skládající se z těchto položek:

Přímý materiál

Představuje spotřebu materiálu (základní materiál, polotovary) na výrobu dané součásti vyjádřenou v peněžních jednotkách. Stanovuje se na základě norem spotřeby materiálu.

Režijní materiál

Zahrnuje materiálové položky, které jsou potřebné k výrobě součásti, nejsou ale jeho součástí (řezné kapaliny, nářadí, dokumentace).

Přímé mzdy

Představují spotřebu práce na výrobu daného výrobku, tj. základní mzdy výrobních dělníků. Stanovují se na základě výrobního postupu a norem času.

Výrobní režie

Zahrnuje náklady vznikající v souvislosti s řízením a obsluhou výroby a náklady vyplývající z činnosti výrobních jednotek, ve kterých výroba probíhá (seřízení, stroj, energie).

Správní a odbytová režie

Zahrnuje náklady na logistické činnosti (manipulace, skladování, balení, expedice).

Rabat

Jedná se o slevu nebo srážku z prodejní ceny, obvykle vyjádřenou v procentech. V praxi například věrnostní či množstevní sleva.

Kalkulační schéma:

	Přímý materiál
+	Režijní materiál
<hr/>	
=	Materiál celkem
+	Přímé mzdy
+	Výrobní režie
<hr/>	
=	Vlastní náklady výroby
+	Správní a odbytová režie
<hr/>	
=	Úplné vlastní náklady
+	Zisk
<hr/>	
=	Cena při prodeji za hotové
+	Rabat
<hr/>	
=	Prodejní cena

Obr. 7.3: Typový kalkulační vzorec [10]

Na základě konzultace s firmou *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* byl sestaven kalkulační vzorec nákladů, kde po sečtení všech položek vychází prodejní cena součásti (bez kontroly odchylky kruhovitosti) 37,5 Kč. O kolik korun naroste prodejní cena vlivem externího měření kruhovitosti, je rozebráno níže.

Přímý materiál (21 Kč/kg)	3,5 Kč
Režijní materiál (20% přímého materiálu)	0,7 Kč
Materiál celkem	4,2 Kč
Přímé mzdy (obsluha 200Kč/hod)	6,5 Kč
Výrobní režie (stroj, energie 550 Kč/hod)	17,8 Kč
Vlastní náklady výroby	28,5 Kč
Správní a odbytová režie (10% vlastních nákladů výroby)	2,85 Kč
Úplné vlastní náklady	31,35 Kč
Zisk (15% úplných vlastních nákladů)	4,75 Kč
Cena při prodeji za hotové	36,1 Kč
Rabat (4% z prodejní ceny)	1,4 Kč
Prodejní cena	37,5 Kč

Tab. 7.1: Kalkulace výrobních nákladů na kus [1], [10]

7.2 Varianta č. 1: Externí měření

- vypracováno s použitím [3], [11], [20], [26]

V rámci této varianty bylo osloveno několik firem, které se zabývají zakázkovým měřením, s požadavkem na sestavení cenové kalkulace při zadaných vstupních parametrech. Předmětem externího měření by byla pouze úchylka kruhovitosti, jejíž hodnota a umístění je patrné z technického výkresu zobrazeného na obrázku 7.1. Měření by probíhalo na kruhoměru, denně by se vozilo 5 kusů na přeměření, ideálně vždy první díl po výměně výstružníků popřípadě jiného dokončovacího nástroje. V případě nevyhovující kruhovitosti by došlo k vyřazení celé výrobní dávky, která byla tímto nástrojem obráběna. Požadovány jsou i měřicí protokoly. Doba trvání externího měření byla stanovena v našem případě na jeden rok - 251 pracovních dnů. Což po vynásobení pěti udává 1255 měřených kusů. Všechny níže uvedené ceny jsou bez DPH, bez započítání nákladů na dopravu.

7.2.1 Kontrolní a měrová služba Jihlava

Hodinová sazba - zakázkové měření	690 Kč
Doba měření kusu	8 minut
Vyhotovení protokolu + diagramu	109 Kč/kus
Měřicí přístroj	Talyrond 200
Celková cena za kus	201 Kč/kus
Cena za roční měření (1255 kusů)	$201 \times 1255 = \mathbf{252\ 255\ Kč}$

Tab. 7.2: První návrh cenové kalkulace měření [11]

7.2.2 Český metrologický institut

Hodinová sazba - zakázkové měření	1500 Kč
Doba měření kusu	12 minut
Vyhotovení protokolu + diagramu	již zahrnuto v ceně
Měřicí přístroj	Talyrond 595S
Celková cena za kus	300 Kč/kus
Cena za roční měření (1255 kusů)	$300 \times 1255 = \mathbf{376\ 500\ Kč}$

Tab. 7.3: Druhý návrh cenové kalkulace měření [3]

7.2.3 Prima Bilavčík s.r.o.

Hodinová sazba - zakázkové měření	1400 Kč
Doba měření kusu	3 minuty
Vyhotovení protokolu + diagramu	již zahrnuto v ceně
Měřicí přístroj	Optacom VC-10-EL
Celková cena za kus	70 Kč/kus
Cena za roční měření (1255 kusů)	$70 \times 1255 = \mathbf{87\ 850\ Kč}$

Tab. 7.4: Třetí návrh cenové kalkulace měření [20]

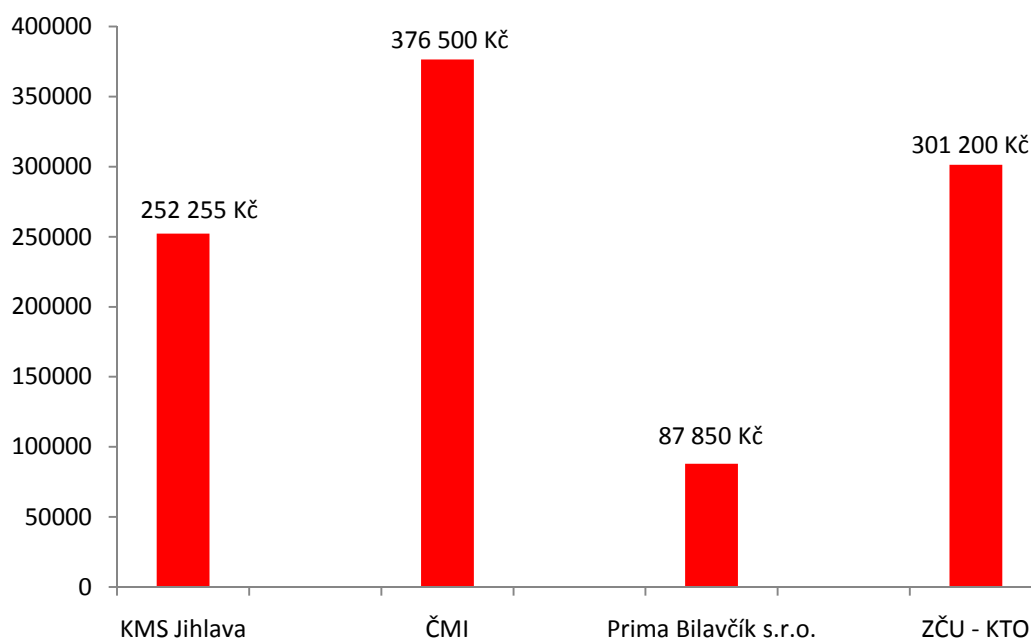
7.2.4 Západočeská univerzita v Plzni

Hodinová sazba - zakázkové měření	1440 Kč
Doba měření kusu	10 minut
Vyhotovení protokolu + diagramu	již zahrnuto v ceně
Měřicí přístroj	Talyrond 585LT
Celková cena za kus	240 Kč/kus
Cena za roční měření (1255 kusů)	240 x 1255 = 301 200 Kč

Tab. 7.5: Čtvrtý návrh cenové kalkulace měření [26]

7.2.5 Zhodnocení varianty

V grafu číslo 7.1 jsou přehledně zobrazeny náklady na externí měření dílu víčko, trvajících po dobu jednoho roku. Jako nevhodná varianta se jeví volba společnosti *Prima Bilavčík s.r.o.*, která nabídla měření na konturografu nebo na souřadnicovém měřicím stroji za cenu rychlého a levného provedení, avšak s nedostatečnou přesností požadovaného výstupu.



Graf 7.1: Porovnání nákladů na externí měření po dobu trvání jednoho roku [3], [11], [20], [26]

Český metrologický institut se zabývá zejména kalibracemi etalonů v návaznosti etalonů v České republice. Pro námi požadované měření by byl užít přesný kruhoměr *Talyrond 595S* s velmi nízkou nejistotou měření $(0,1 + 0,01R) \mu\text{m}$, kde R je naměřená odchylka kruhovitosti v mikrometrech. Z důvodu prvotní poptávky ověření odchylky kruhovitosti 0,006 mm je tato varianta vzhledem k užitému stroji zbytečně nákladná.

Jako ideální se jeví zbylé dvě varianty, ať už z hlediska konečné ceny, tak dle použitého měřicího přístroje. Vliv na konečnou cenu bude mít bezesporu i doprava součástí na místo, kde má být externí měření prováděno. Z toho důvodu je zvolena poslední varianta - spolupráce se Západočeskou Univerzitou v Plzni, která je od sídla firmy vzdálena 15 kilometrů. Se započítáním nákladů na pohonné hmoty a pracovníka, který dopravu zajišťuje, činí denní výdaje spojené s touto činností přibližně 390 Kč.

Bude - li uvažován denní objem výroby vícečků 400 kusů, kdy vždy po 80 kusech bude jedno víčko odebráno pro účely externího měření, pak nárůst prodejní ceny jednoho víčka vlivem externího měření na půdě univerzity bude přibližně o 4 Kč.

Denní náklady na externí měření	$240 \times 5 = \mathbf{1200 \text{ Kč}}$
Denní náklady spojené s dopravou materiálu	390 Kč
Denní produkce vícečků	400 kusů
Nárůst ceny vlivem měření	$1590/400 \doteq \mathbf{4 \text{ Kč}}$
Prodejní cena	$37,5 + 4 = \mathbf{41,5 \text{ Kč}}$

Tab. 7.6: Vyhodnocení varianty číslo jedna [1], [11]

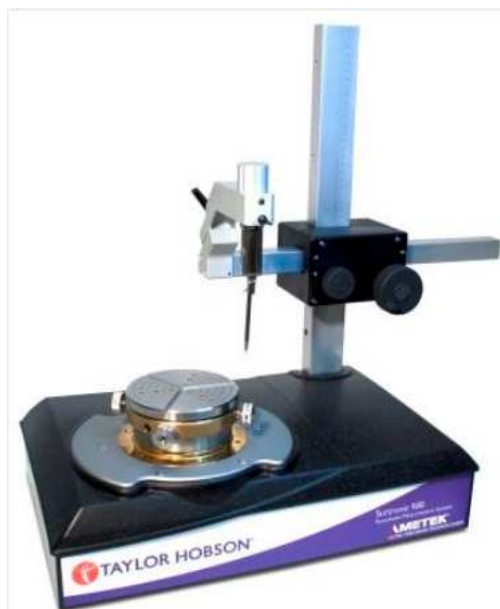
7.3 Varianta č. 2: Měření na zakoupeném kruhoměru

- vypracováno s použitím [5], [6]

V případě dlouhodobějších a opakujících se zakázek s požadavkem zákazníka na dokladování měřicích protokolů s vyhodnocením úchyly kruhovitosti se vyplatí zvážit investici na nákup dílenského kruhoměru. Z portfolia výrobků firmy *Taylor Hobson Ltd.* se jeví jako nejvhodnější varianta model *Surtronic R-80*.

Toto zařízení, s maximálním měřitelným průměrem dílu 300 mm, výšce 280 mm a hmotností 20 kg, se řadí k typicky dílenským. Součástí stroje je přesné, diamantem obrobené, vřeteno, které je uloženo na vzduchových ložiskách s přesností 25 nanometrů. Nechybí ani funkce automatického vyrovnávání. Vyhodnocení výsledků měření probíhá za pomoci přístroje s dotykovým displejem, který je ke kruhoměru připojen.

Při pořizování tohoto měřicího zařízení se do ceny ještě započítává přípravek pro upnutí a u rozměrově malých kruhoměrů je zároveň doporučována protivibrační podložka, která filtruje vibrace vznikající v okolním prostředí. Rozpis jednotlivých nákladových položek je zobrazen v tabulce níže (ceny jsou bez DPH).



Obr. 7.4: Měřicí přístroj Surtronic R - 80 [6]

Kruhoměr Surtronic R - 80	20 000 EUR
Přípravek pro upínání	5 750 EUR
Protivibrační podložka	10 000 EUR
Celkem EUR	35 750 EUR
Celkem Kč (1€≐ 27,5 Kč)	983 125 Kč

Tab. 7.7: Pořizovací náklady přístroje Surtronic R - 80 [5]

Výhodou tohoto typu přístrojů je, že mají dlouhou životnost (10 a více let). Jejich hodinová sazba na provoz je poté relativně nízká.

7.4 Výběr varianty

Nákup nového stroje s sebou vždy nese předpoklad několikaletého využívání, kdy se daná úspora projeví nejdříve po několika letech v provozu. V našem případě je patrné, že při délce projektu 1-2 roky je finančně výhodnější zvolit variantu externího měření, avšak za uvědomění si rizik, která s volbou této varianty souvisí (kapitola 7.4.1).

Náklady na externí měření po dobu 2,5 roku	2,5 x 399 090 = 997 725 Kč
Náklady na koupi kruhoměru	983 125 Kč

Tab. 7.8: Srovnání nákladů u projektu trvajícím dva a půl roku [5], [11]

V případě dlouhodobějších zakázek a poptávek po dokladování protokolů o zjištěné odchylce kruhovitosti je jasnou volbou investice do nového měřicího přístroje. Bod zvratu je dle tabulky výše přibližně po dvou a půl letech. Po této době se stává varianta externího měření ve srovnání s pořízením nového přístroje nákladnější. S přihlédnutím k vysoké délce životnosti přístroje *Surtronic R - 80* a možnosti měřit na něm i jiné odchylky - jako např. rovinnost, kolmost, soustřednost a rovnoběžnost - se jeví jeho případně pořízení jako rozumné řešení.

7.4.1 Nevýhody externího měření

Externí měření dílů zahrnuje určité množství rizik, která je třeba vzít v potaz. Jedním z nich je denní transport dílů do metrologické laboratoře a zpět, což prodražuje celkové náklady na měření. Další nevýhoda je, že měření probíhá až několik hodin poté, co byly dané výrobní dávky vyrobeny a v případě naměřené neshody vzniká firmě poměrně vysoká škoda. S tím souvisí i určitá nepružnost a nemožnost reagovat na výsledky měření.

V ideálním případě by kontrola prvního kusu měla probíhat ihned po výměně dokončovacího nástroje, v prostorách firmy, kdy by v případě nevyhovujícího naměřeného výsledku úchytky kruhovitosti mistr či technolog výrobu pozastavil a provedl nutná opatření pro rychlou nápravu výrobního procesu (seřízení stroje, úprava výrobního postupu). Samozřejmě by vlivem odstávky stroje došlo k určitému zdržení výroby, ale ve srovnání s vyčíslením nákladů na zhotovení celé výrobní dávky ($37,5 \times 80 = 3000$ Kč) by byla tato položka podstatně nižší.

8 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo porovnat vlivy různých metodik měření vybraných úchylek tvaru a polohy. Práce byla realizována ve spolupráci s firmou *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.*, která se zabývá automatizovaným obráběním železných i neželezných kovů a plastů.

Důraz je kladen na odchylky kruhovitosti a válcovitosti, které lze zjišťovat buď jednoduchými dílenskými metodami, nebo u přesných součástí využitím laboratorních, speciálně k tomu určených přístrojů. Vzhledem k tomu, že výsledná kruhovitost, případně válcovitost, může do jisté míry mít vliv i na drsnost povrchu, byla práce rozšířena i o vyhodnocení a porovnání základních parametrů drsnosti povrchu. Z portfolia výrobků firmy byly vybrány tři díly, které byly postupně měřeny na různých strojích s rozdílnou přesností.

První část práce je zaměřena převážně teoreticky. Jsou v ní popsány informace o firmě *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.*, výhody a nevýhody jednotlivých metodik měření, metody vyhodnocování úchylek či problematika filtrování a analyzování naměřených dat se zpětnou vazbou na technologii výroby. Je zde také podrobně rozebrán současný stav průběhu měření úchylek kruhovitosti, válcovitosti a drsnosti povrchu ve firmě.

Druhá část práce je již zaměřena prakticky, kdy bylo využito vysokého potenciálu kruhoměru *Talyrond 585LT*, který byl v době vypracovávání práce Katedrou technologie obrábění zakoupen. S využitím moderního vyhodnocovacího softwaru *TalyMap* došlo k přesnému proměření všech tří dílů a k přehlednému grafickému vyhodnocení naměřených dat. Zvláště pak samotné grafické vyhodnocení drsnosti povrchu podává uživateli kompletní informace o průběhu a velikosti jednotlivých nerovností po celém obvodu součásti.

Aby mohla být posouzena vhodnost měření úchylek kruhovitosti, případně válcovitosti na souřadnicovém měřicím stroji, byly vzorky změřeny i na katedrálních přístrojích *ZEISS PRISMO navigator* a *LK - 90C* a následně porovnány s výsledky zjištěnými při použití kruhoměru. Výsledkem je konstatování, že souřadnicové měřicí stroje nelze vlivem relativně veliké chyby měření použít na ověřování odchylek tvaru v řádu mikrometrů. Naopak u součástí s předepsanou tolerancí v řádu setin milimetru jsou dostatečné dílenské metody měření, jako je například tříbodová metoda či užití vnitřního dutinoměru.

Na závěr práce bylo zpracováno technicko - ekonomické zhodnocení, které bylo pojato formou výrobní kalkulačky. Je vycházeno z předpokladu, že je zákazníkem poptávána výroba součásti typu víčko a zároveň požadovány měřicí protokoly dokladující předepsanou odchylku kruhovitosti. Jsou porovnány dvě varianty a to externího měření úchylnosti či provedení investice a pořízení nového kruhoměru. Vzhledem k vysoké životnosti dílenského kruhoměru až deset let a více a relativně nízké hodinové provozní sazbě, se náklady na externí měření vyrovnají nákladům na koupi nového přístroje po přibližně dvou a půl letech.

Porovnání druhů metodik měření vybraných úchylností tvaru a polohy splnilo požadavky zadavatele diplomové práce. Firma *ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.* získala přehled o stavu přesnosti své výroby a současné metrologické kontrole. V případě dlouhodobé zakázky s požadavkem na přesnou kontrolu geometrických tolerancí bude uvažovat a pořízení nového metrologického vybavení.

9 Seznam použitých zdrojů informací

- [1] ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o. Podklady firmy.
- [2] Česká technická norma. Náhled normy.
http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/01/89673/89673_nahled.htm
- [3] Český metrologický institut. Podklady firmy.
- [4] HOFFMANN GROUP. Katalog firmy, s. 816
<http://landingpages.hoffmann-group.com/bk/band1/en/>
- [5] IMECO TH s.r.o. Podklady firmy.
- [6] IMECO TH s.r.o. Obrázek přístroje Surtronic R -80.
<http://www.imeco-th.cz/img/files/Surtronic%20R-80%20%28CZ%29.pdf>
- [7] IMECO TH s.r.o. Software Talymap.
http://www.imeco-th.cz/img/files/Taly_map_cz_low.pdf
- [8] IMECO TH s.r.o. Talyrond 585.
http://www.imeco-th.cz/img/files/Talyrond%20565H_585H%20%28CZ%29_L.pdf
- [9] Industrybuying. Obrázek přístroje Mitutoyo Surftest SJ - 400.
<https://www.industrybuying.com/dp/mitutoyo-model-no-178-039/ME.MI.MI.MI297.133131/>
- [10] KLEINOVÁ, J. *Ekonomické hodnocení výrobních procesů*. Plzeň: ZČU, 2005
- [11] KMS s.r.o. Podklady firmy.

- [12] Kovopol s.r.o. Souřadnicový měřicí stroj LK typ G - 90C.
http://www.kovopol.cz/koop_3d_mereni_cz.htm
- [13] Mahr. Katalog firmy, s. 303
<http://www.mahr.com/images/OnlineKataloge/Mahr-Metrology-Catalog--CZ--2013/blaetterkatalog/index.html>
- [14] MAZAK. Hyper quadrex 100MSY.
<https://www.mazakusa.com/machines/hyper-quadrex-100msy>
- [15] Mitutoyo s.r.o. Firemní Katalog s. 5
<http://kubousek.com/katalogy/Mitutoyo/prospekty/Drsnomery/index.html#/4/>
- [16] MLČOCH, L., SLIMÁK, L. *Řízení kvality a strojírenská metrologie*. Praha: SNTL, 1987, s. 230 - 236
- [17] MM Průmyslové spektrum. *Optimalizace měření kruhovitosti povrchu*. 2007
<http://www.mmspektrum.com/clanek/optimalizace-mereni-kruhovitosti-povrchu.html>
- [18] MM Průmyslové spektrum. *Směry vývoje kontroly povrchu*. 2013
<http://www.mmspektrum.com/clanek/smery-vyvoje-kontroly-povrchu.html>
- [19] NĚMEJC, J., STANĚK, J. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*. Plzeň: ZČU, 2005
- [20] PRIMA BILAVČÍK s.r.o. Podklady firmy.
- [21] South India Trading Co. Obrázek vnitřního dutinoměru Bowers.
<http://www.southitc.com/holtest-3-pin-micrometer.html>

- [22] Střední škola průmyslová a umělecká, Opava. Měření drsnosti povrchu.
http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/_sablony/KOM_III/VY_52_INOVACE_J-05-18.pdf
- [23] Taylor Hobson Limited. Podklady firmy.
- [24] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie - část 1*. Ostrava: VŠB - TU, 2004
- [25] TumliKOVO. Drsnost obrobeného povrchu.
<http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/>
- [26] Západočeská univerzita v Plzni, Katedra technologie obrábění. Interní podklady.
- [27] ZEISS Česká republika. ZEISS PRISMO navigator.
http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/systemy/bridge-type-cmms/prismo-navigator.html

PŘÍLOHY K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Vliv metodiky měření vybraných úchylek tvaru a polohy ve firmě
ASTRO KOVO PLZEŇ s.r.o.

Obsah:

- Protokoly z měření drsnosti povrchu na přístroji Surfctest SJ - 400.....II až III
- Protokoly z měření drsnosti povrchu na přístroji Talyrond 585LT.....IV až VII
- Protokol o zkoušce kruhoměru Surtronic R128 Taylor Hobson.....VIII až XII

PŘÍLOHA č. 1

Protokoly z měření drsnosti povrchu na přístroji Surftest SJ - 400

Podložka $\phi 53\text{mm}$

Mitutoyo **Suritest SJ-400**
 DATE 2015-03-12
 TIME 10:06:44
 STAND ISO1997
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 1.25mm
 N 5
 λ_c 0.25mm
 λ_s 2.5 μm
 TILT-COMP. ALL
 CURVE-CMP. OFF
 M-SPEED 0.1mm/s
 R-SPEED 1mm/s
 AUTO-RTN OFF
 RANGE 800 μm
 $\pm\text{ESC}$
 DRIVE ON
 STYLUS STAND
 PRE/POST ON

R-PROFILE

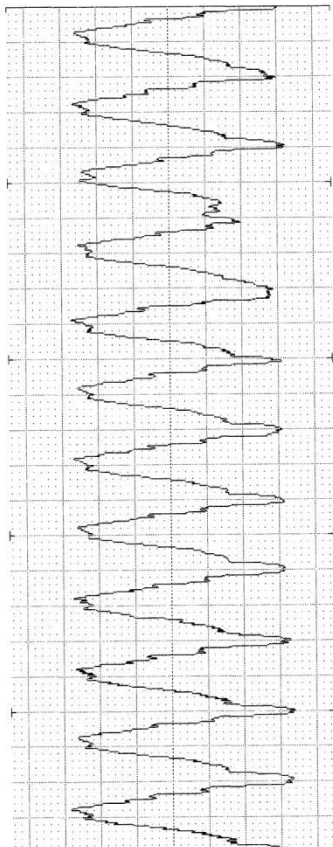
EVA-L 1.25mm
 λ_c 0.25mmX5
 Ra 1.62 μm
 Rz 5.9 μm
 Rq 1.82 μm

R-PROFILE

EVA-L 1.25mm
 $\lambda_c=0.25\text{mmX5}$

$\times 5K$
 $\times 100$

Ver. 2.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
 Hor. 100.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$



Podložka $\phi 51\text{mm}$

Mitutoyo **Suritest SJ-400**
 DATE 2015-03-12
 TIME 10:10:18
 STAND ISO1997
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 1.25mm
 N 5
 λ_c 0.25mm
 λ_s 2.5 μm
 TILT-COMP. ALL
 CURVE-CMP. OFF
 M-SPEED 0.1mm/s
 R-SPEED 1mm/s
 AUTO-RTN OFF
 RANGE 800 μm
 $\pm\text{ESC}$
 DRIVE ON
 STYLUS STAND
 PRE/POST ON

R-PROFILE

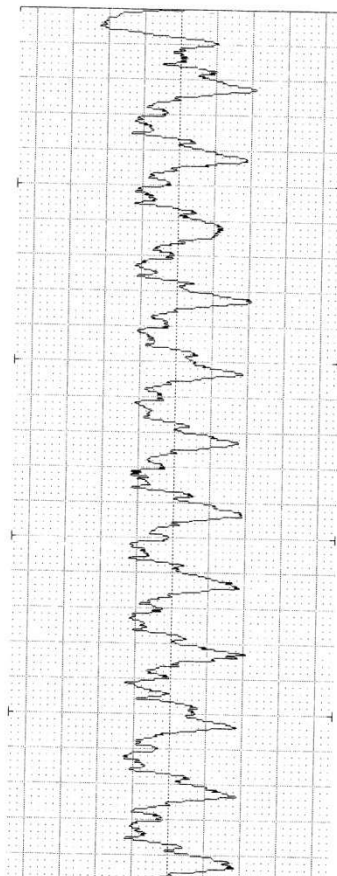
EVA-L 1.25mm
 λ_c 0.25mmX5
 Ra 0.74 μm
 Rz 3.5 μm
 Rq 0.89 μm

R-PROFILE

EVA-L 1.25mm
 $\lambda_c=0.25\text{mmX5}$

$\times 5K$
 $\times 100$

Ver. 2.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
 Hor. 100.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$



III

Víčko

Mitutoyo **Suritest SJ-400**
 DATE 2015-03-12
 TIME 10:12:24
 STAND ISO1997
 PROFILE R
 FILTER GAUSS
 EVA-L 1.25mm
 N 5
 λ_c 0.25mm
 λ_s 2.5 μm
 TILT-COMP. ALL
 CURVE-CMP. OFF
 M-SPEED 0.1mm/s
 R-SPEED 1mm/s
 AUTO-RTN OFF
 RANGE 800 μm
 $\pm\text{ESC}$
 DRIVE ON
 STYLUS STAND
 PRE/POST ON

R-PROFILE

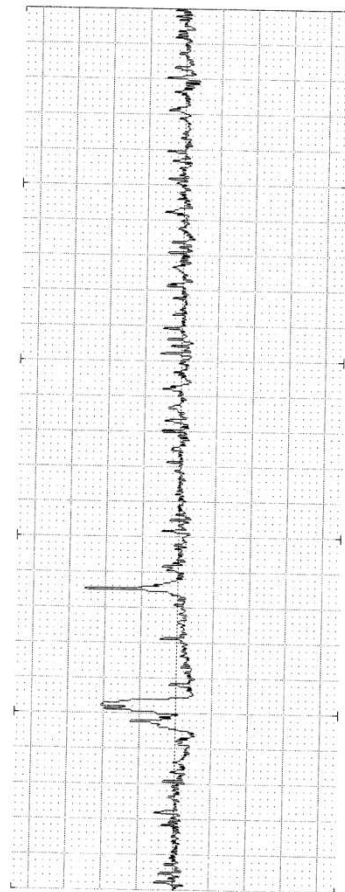
EVA-L 1.25mm
 λ_c 0.25mmX5
 Ra 0.17 μm
 Rz 1.5 μm
 Rq 0.25 μm

R-PROFILE

EVA-L 1.25mm
 $\lambda_c=0.25\text{mmX5}$

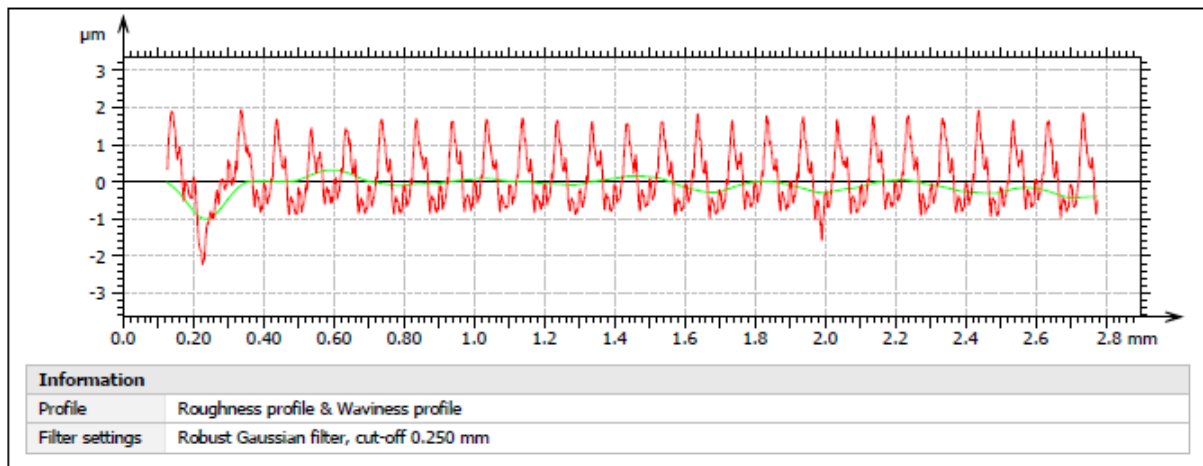
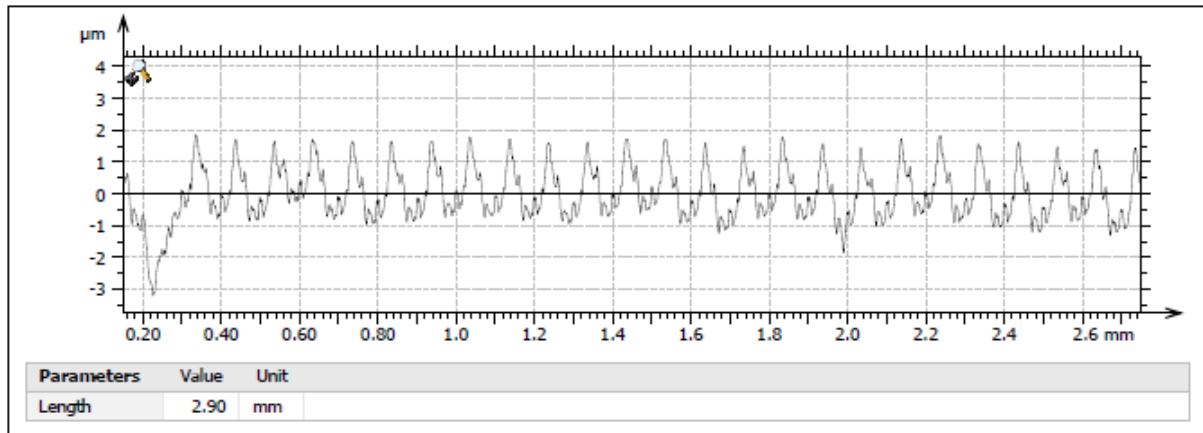
$\times 5K$
 $\times 100$

Ver. 2.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$
 Hor. 100.0 $\mu\text{m}/\text{cm}$

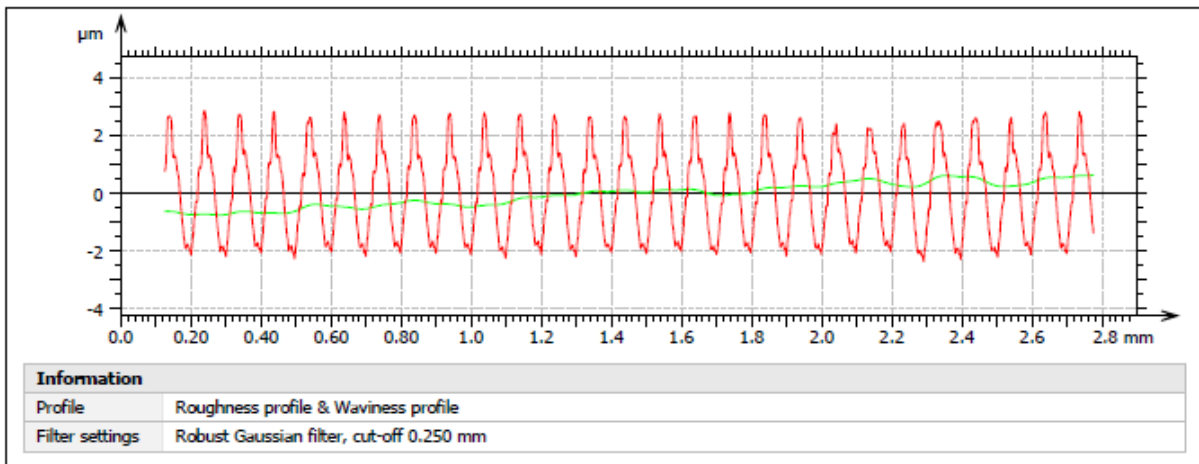
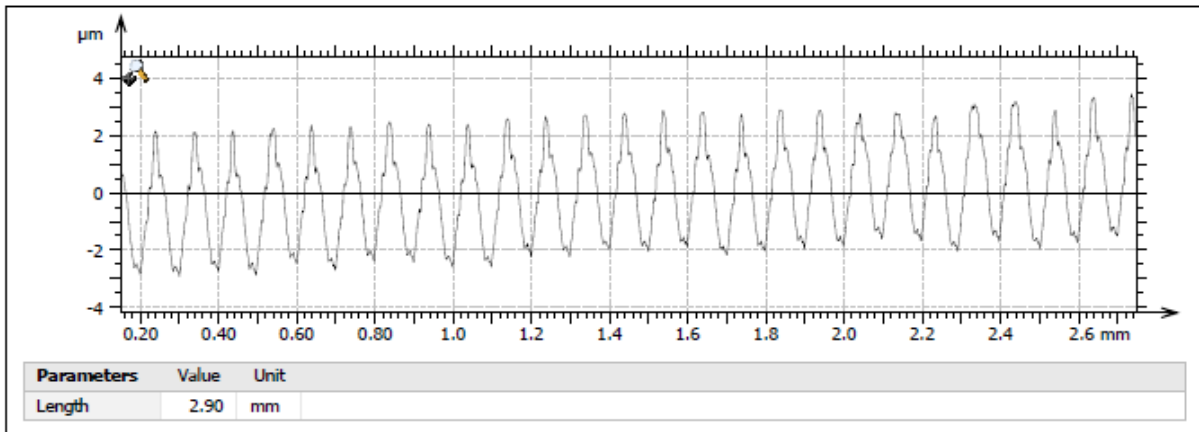


PŘÍLOHA č. 2

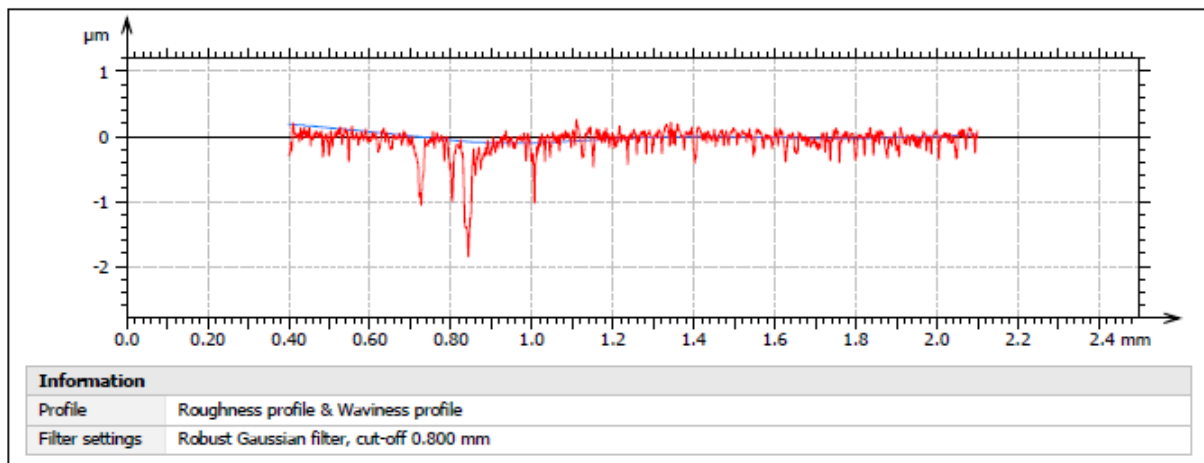
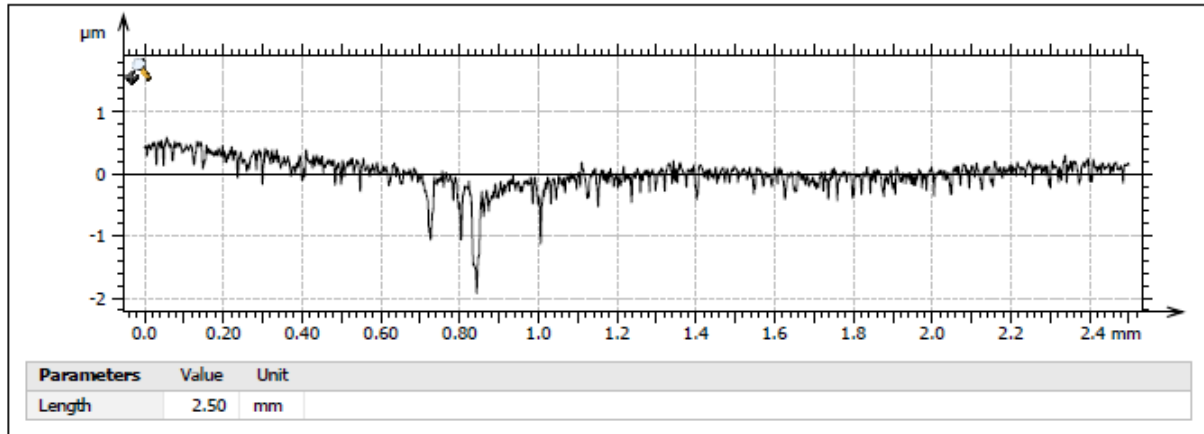
Protokoly z měření drsnosti povrchu na přístroji Talyrond 585LT



ISO 4287		
Amplitude parameters - Roughness profile		
Ra	0.618 µm	Gaussian filter, 0.25 mm
Rz	2.79 µm	Gaussian filter, 0.25 mm
Rt	3.72 µm	Gaussian filter, 0.25 mm
Material Ratio parameters - Roughness profile		
Rmr	17.5 %	c = 1 µm under the highest peak, Gaussian filter,...
Rdc	1.40 µm	p = 20%, q = 80%, Gaussian filter, 0.8 mm
Spacing parameters - Roughness profile		
RSm	0.100 mm	Gaussian filter, 0.8 mm
Amplitude parameters - Waviness profile		
Wa	0.181 µm	Gaussian filter, 0.25 mm
Wz	1.68 µm	Gaussian filter, 0.25 mm
Wt	0.277 µm	Gaussian filter, 0.8 mm



ISO 4287		
Amplitude parameters - Roughness profile		
Ra	1.34 µm	Gaussian filter, 0.25 mm
Rz	4.94 µm	Gaussian filter, 0.25 mm
Rt	5.21 µm	Gaussian filter, 0.25 mm
Material Ratio parameters - Roughness profile		
Rmr	14.8 %	c = 1 µm under the highest peak, Gaussian filter,...
Rdc	3.13 µm	p = 20%, q = 80%, Gaussian filter, 0.8 mm
Spacing parameters - Roughness profile		
RSm	0.100 mm	Gaussian filter, 0.8 mm



ISO 4287		
Amplitude parameters - Roughness profile		
Ra	0.104 µm	Robust Gaussian filter, 0.25 mm
Rz	0.786 µm	Robust Gaussian filter, 0.25 mm
Rt	1.97 µm	Robust Gaussian filter, 0.25 mm
Material Ratio parameters - Roughness profile		
Rmr	98.2 %	c = 1 µm under the highest peak, Gaussian filter, ...
Rdc	0.178 µm	p = 20%, q = 80%, Gaussian filter, 0.8 mm
Spacing parameters - Roughness profile		
RSm	0.193 mm	Robust Gaussian filter, 0.25 mm

PŘÍLOHA č. 3

Protokol o zkoušce kruhoměru Surtronic R128 Taylor Hobson



RNDr. Miroslav Jan Skopal
Mobilní Zkušebna Délkoměrů a výrobních Strojů

CZ – 679 22 Lipůvka 242
IČ: 185 47 397
Email: mzd@volny.cz

Pracoviště: U Hřiště 733, 664 42 Modřice



Zkušební laboratoř č. L 1418 akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.
podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005

PROTOKOL O ZKOUŠCE

N^o MZDS 1230/2014

Datum vystavení: 26.09.2014

list číslo: 1

Klein, zástupce vedoucího laboratoře

počet příloh: 2

Příjmení, funkce, podpis osoby odpovědné za obsah protokolu a razítko

počet listů včetně příloh: 4

Zadavatel zkoušky: IMECO TH s.r.o., U Hřiště 733, 664 42 Modřice, ČR
Stroj a jeho výrobce: Kruhoměr Surtronic R128 Taylor Hobson
Typ a identifikační číslo(a): Surtronic R Series M112/4308 S.N. 015, Snímač Talymin 5 S.N. 112/3124
snímací raménko s 1mm kuličkou - 112/3245,
Rozsah souřadnic: Talymin 5 snímač s rozsahem 2mm, manuální rameno 170mm, manuální
sloup 280mm
MPE (mezni chyby): Chyba zvětšení max. 4% z rozsahu snímače; radiální chyba vřetene
 $\pm 0,025\mu\text{m} + 0,00025\mu\text{m}/\text{mm}$ výšky nad stolem; axiální chyba vřetene
 $\pm 0,025\mu\text{m} + 0,00025\mu\text{m}/\text{mm}$ vzdálenosti od středu
Specifikace zkoušky: Zkouška kruhoměru dle specifikací výrobce
Místo a datum zkoušky: Modřice, 26.09.2014
Podmínky měření: Teplota prostředí $T_s = 22,2 - 22,9$ °C
Pozn.: údaje jsou korigovány v relaci s kalibračními listy
Použitá měřidla ke zkoušce: Pracovní etalon „Skleněná hemisféra“ – i.č. MS_211
Pracovní etalon „Ryskový etalon zvětšení 17,9“ – i.č. MS_210
Registrační teploměr materiálu COMMETER – i.č. MS_209
Pozn: všechna použitá měřidla jsou navázána u národního metrologického institutu
nebo u akreditovaných kalibračních laboratořích

Specifikace o metodě zkoušky:

Zkouška profiloměru byla provedena dle technického postupu laboratoře TP 07202 kapitola 8 a byla zrealizována zkouška chyby snímacího systému, zkouška radiální a axiální chyby vřetene.

Výsledky zkoušky a odhad nejistot měření:

V tabulce jsou uvedeny rozšířené nejistoty U s koeficientem rozšíření $k = 2$ v relaci s ČSN EN ISO 14253-1:2000 a ČSN EN ISO 14253-2:2005.

	Výsledek (μm)	Nejistota U (μm)
Chyba snímacího systému (zvětšení)	17,92	$\pm 0,18$
Radiální chyba vřetene	0,05	$\pm 0,01$
Axiální chyba vřetene	0,03	$\pm 0,01$

Výrok o výsledku zkoušky:

Zkoušený objekt Surtronic R128 je ve shodě se specifikovanými MPE.



PROTOKOL O ZKOUŠCE

N^o MZDS 1230/2014

Výsledek zkoušky v chronologickém pořádku:

Zápis údajů výsledků měření při zkoušce kruhoměru

1. Tabulka výsledků zkoušky snímacího systému (chyby zvětšení)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RONt (μm)	17,920	17,921	17,917	17,920	17,914	17,915	17,928	17,929	17,918	17,924

Hodnota ryskového etalonu zvětšení je 17,94 μm.

2. Tabulka výsledků zkoušky radiální chyby vřetene

	1	2	3	4	5	6
RONt (μm)	0,046	0,041	0,044	0,047	0,046	0,046

Měření probíhalo ve výšce 34mm nad stolem.

3. Tabulka výsledků zkoušky axiální chyby vřetene

	1	2	3	4	5	6
Házení (μm)	0,030	0,034	0,037	0,030	0,037	0,027

4. Tabulka výsledků zkoušky vertikální přímosti

	1	2	3
STRt (μm)			

5. Tabulka výsledků zkoušky rovnoběžnosti vertikálního přímovodu s vřetenem

	1	2	3
PAR (μm)			

6. Tabulka výsledků zkoušky horizontální přímosti

	1	2	3
STRt (μm)			

7. Tabulka výsledků zkoušky kolmosti horizontálního přímovodu k vřeteni

	1	2	3
SQR (μm)			

Seznam příloh:

- Příloha: 1 - grafický záznam teploty prostředí na pracovišti a grafický záznam měření ryskového etalonu zvětšení
2 - grafický záznam měření skleněné hemisféry při stanovení radiální chyby vřetene a grafický záznam měření skleněné hemisféry při stanovení axiální chyby vřetene;

Na pracovišti zadavatele zkoušky měřil: Ing. František Klein



RNDr. Miroslav Jan Skopal
Mobilní Zkušebna Délkoměrů a výrobních Strojů

CZ – 679 22 Lipůvka 242
IČ: 185 47 397
Email: mzd@s@volny.cz

PROTOKOL O ZKOUŠCE

N^o MZDS 1230/2014
příloha 1

Grafický záznam měření teploty prostředí na pracovišti



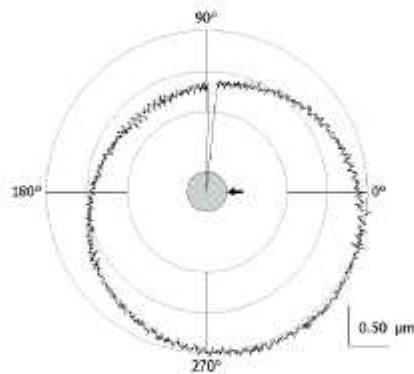
Grafický záznam měření rýskového etalonu zvětšení



11:05:38
2014 Sep 26

ID #1
ID #2

Gaušová: 1500
M2 truhlíka



KRUHOVITOST
17.920 μm

HÁZENÍ
EXC 9.238 μm (266.4°)
30° : 17.920 μm (88.2°)

18.680 μm

Přezkoumal:

List 3 ze 4

Předmětný protokol může být rozšiřován jen v úplném počtu stran včetně příloh a nezměněn
Vytisknuto 22.3.2015 © RNDr. Miroslav Jan Skopal, 2003 - 2014



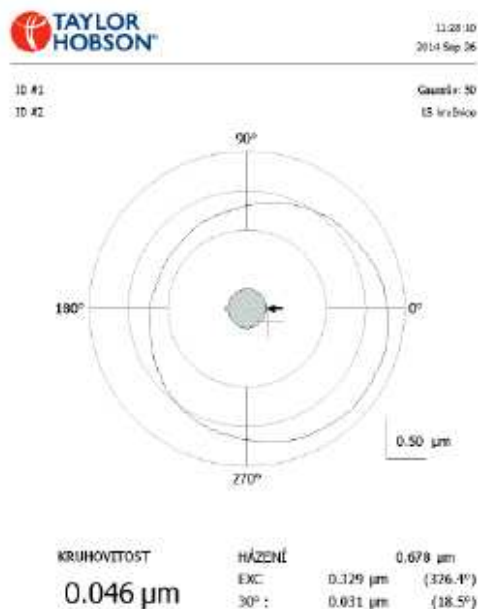
RNDr. Miroslav Jan Skopal
Mobilní Zkušebna Délkoměrů a výrobních Strojů

CZ – 679 22 Lipůvka 242
IČ: 185 47 397
Email: mzds@volny.cz

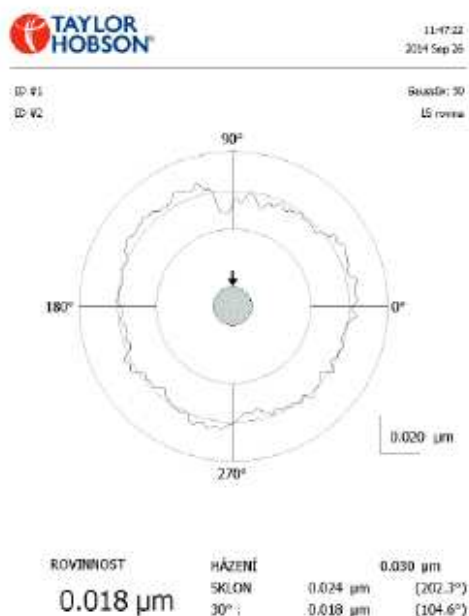
PROTOKOL O ZKOUŠCE

N^o MZDS 1230/2014
příloha 2

Grafický záznam měření skleněné hemisféry při stanovení radiální chyby vřetene



Grafický záznam měření skleněné hemisféry při stanovení axiální chyby vřetene



Konec protokolu o zkoušce.

Přezkoumal:

List 4 ze 4

Předmětný protokol může být rozšiřován jen v úplném počtu stran včetně příloh a nezměněn
Vytisknuto 22.3.2015 © RNDr. Miroslav Jan Skopal, 2003 - 2014