

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

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

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Evaluace měřicích metod ve společnosti Wikov Gear s.r.o.

Autor: **Štěpán FRANC**

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

Akademický rok 2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Štěpán FRANC**

Osobní číslo: **S15B0077P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**

Název tématu: **Evaluace měřících metod ve společnosti Wikov Gear 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
2. Analýza současného stavu
3. Vlastní implementace
4. Zhodnocení
5. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- **Tichá, Šárka. Strojírenská metrologie. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1209-6.**
- **Staněk J., Němejc J.: Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací ZČU, Plzeň, 2005**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Melichar, Ph.D.**

Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Libor Radil**

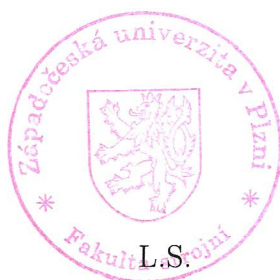
Wikov Gear s. r. o., Plzeň

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



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

V Plzni dne 18. října 2017

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Martinovi Melicharovi, Ph.D. za odborné vedení mojí bakalářské práce a za poskytování rad při jejím vypracování. Dále bych chtěl poděkovat všem zaměstnancům společnosti Wikov Gear s.r.o. a Wikov MGI a.s. za provedená měření a poskytnutí všech rad a podkladů pro vypracování práce.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Franc	Jméno Štěpán		
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B2301 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“			
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Melichar, Ph.D.	Jméno Martin		
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KTO			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>		Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Evaluace měřicích metod ve společnosti Wikov Gear s.r.o.			

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	38	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	28	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b>  <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	<p>Tato práce se zabývá evaluací měřidel a měřicích metod ve společnosti Wikov Gear s.r.o. Cílem práce je porovnat přesnosti dvou měřicích strojů využívaných touto společností, zhodnotit vhodnost jejich používání a na základě výsledků doporučit využití nových měřicích zařízení. Dalším cílem práce je návrh zařízení vhodných pro doplňkovou kontrolu.</p>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>  <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	<p>metrologie, CMM, měřicí rameno, CNC řízený stroj, způsobilost měřidla, <math>c_g</math>, <math>c_{gk}</math>, metoda Ford, laserová hlavice, laser tracker, integrovaný skener</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Franc	Name Štěpán	
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2301 „Department of Machining Technology“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Melichar, Ph.D.	Name Martin	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Evaluation of measuring methods in the Wikov Gear s.r.o. company		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machining Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2018
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	38	<b>TEXT PART</b>	28	<b>GRAPHICAL PART</b>	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This work deals with evaluation of measuring instruments and methods in the Wikov Gear s.r.o. company. Work purpose is compare the accuracy of two measuring machines, which are used by this company, evaluate suitability of their utilization and recommend utilization of new measuring machines based on the measuring results. Next purpose is proposal of machines suitable for additional checking.
<b>KEY WORDS</b>	metrology, CMM, measuring arm, CNC measuring machine, instrument capability, $c_g$ , $c_{gk}$ , method Ford, laser scanner, laser tracker, integrated scanner

## Obsah

Seznam obrázků .....	3
Seznam tabulek .....	4
Seznam zkratk a symbolů .....	5
1 Úvod.....	6
1.1 Představení společnosti.....	6
1.1.1 Historie společnosti Wikov Gear s.r.o. ....	6
1.1.2 Historie skupiny Wikov Industry a.s. ....	7
1.1.3 Výrobní program skupiny Wikov Industry a.s. ....	7
2 Analýza současného stavu .....	8
2.1 Souřadnicové měřicí stroje .....	8
2.1.1 Historie .....	8
2.1.2 Druhy CMM podle konstrukce .....	8
2.1.3 Základní stavební prvky CMM .....	10
2.1.4 Důvody použití CMM .....	14
2.1.5 Zúžení tématu .....	14
2.2 Charakteristika řešeného problému .....	15
2.2.1 Specifikace strojů, stanovení cílů.....	15
2.2.2 Metody pro vyhodnocení provedených měření.....	17
3 Vlastní implementace.....	21
3.1 Postup pro vyhodnocení způsobilosti měřidla.....	22
3.1.1 Bez webové aplikace (ruční výpočet pomocí vzorců).....	22
3.1.2 Pomocí webové aplikace od spol. TŘEŠTÍK.....	22
3.2 Měření koncové měřky .....	23
3.2.1 Vyhodnocení pro stroj Wenzel LHF 3020-40.....	24
3.2.2 Vyhodnocení pro stroj CimCore 7525 .....	28
3.3 Měření válcového kalibru – vnější průměr .....	30
3.3.1 Vyhodnocení pro stroj Wenzel LHF 3020-40.....	31
3.3.2 Vyhodnocení pro stroj CimCore 7525 .....	32
3.4 Měření kalibračního kroužku – vnitřní průměr .....	33
3.4.1 Vyhodnocení pro stroj Wenzel LHF 3020-40.....	34
3.4.2 Vyhodnocení pro stroj CimCore 7525 .....	35



4	Zhodnocení .....	36
4.1	Souhrn výsledků měření .....	36
4.1.1	Výsledky na stroji Wenzel LHF 3020-40.....	36
4.1.2	Výsledky na stroji CimCore 7525 .....	36
4.2	Návrh řešení.....	37
4.3	Návrh doplňujícího zařízení .....	38
5	Závěr .....	43
	Seznam použité literatury a další zdroje.....	44
	Seznam příloh.....	46

## Seznam obrázků

- Obr. 1-1 – Logo skupiny Wikov [1]  
Obr. 1-2 – Převodovka pohonu pásových dopravníků [1]  
Obr. 1-3 – Planetová převodovka pro přílivové elektrárny [1]  
Obr. 2-1 – Stojanový a výložníkový stroj [2]  
Obr. 2-2 – Portálový a mostový stroj [2]  
Obr. 2-3 – Měřicí rameno CimCore [11]  
Obr. 2-4 – Zakončení dotykového systému [27]  
Obr. 2-5 – Laserová snímací hlava značky Nikon [22]  
Obr. 2-6 – Schéma základních stavebních prvků stacionárního stroje značky Mora [3]  
Obr. 2-7 – Základní stavební prvky měřicího ramena značky Faro [10]  
Obr. 2-8 – Měřicí rameno CimCore 7525 [vlastní]  
Obr. 2-9 – Měřicí stroj Wenzel LHF 3020-40 [vlastní]  
Obr. 2-10 – Znázornění opakovatelnosti a strannosti v Gaussově normálním rozdělení [13]  
Obr. 3-1 – Úvodní stránka webu [www.trestik.cz](http://www.trestik.cz) [18]  
Obr. 3-2 – Měřená koncová měrka [vlastní]  
Obr. 3-3 – Odměrování pomocí měřicího ramene [vlastní]  
Obr. 3-4 – Zadané hodnoty ve webovém formuláři aplikace [18]  
Obr. 3-5 – Vyhodnocení pro toleranci  $300,0038_{-0,02}^{+0,02} \text{ mm}$  [18]  
Obr. 3-6 – Vyhodnocení pro toleranci  $300,0038_{-0,025}^{+0,025} \text{ mm}$  [18]  
Obr. 3-7 – Vyhodnocení pro toleranci  $300,0038_{-0,03}^{+0,03} \text{ mm}$  [18]  
Obr. 3-8 – Vyhodnocení pro toleranci  $300,0038_{-0,12}^{+0,12} \text{ mm}$  [18]  
Obr. 3-9 – Vyhodnocení pro toleranci  $300,0038_{-0,115}^{+0,115} \text{ mm}$  [18]  
Obr. 3-10 – Vyhodnocení pro toleranci  $300,0038_{-0,11}^{+0,11} \text{ mm}$  [18]  
Obr. 3-11 – Měřený válcový kalibr – vnější průměr [vlastní]  
Obr. 3-12 – Měřený kalibrační kroužek – vnitřní průměr [vlastní]  
Obr. 4-1 – Příklad varianty doporučeného CMM od firmy Hexagon Metrology [26]  
Obr. 4-2 – Naskenovaná převodová skříň [19]  
Obr. 4-3 – Laserová snímací hlava od firmy Hexagon Manufacturing Intelligence [23]  
Obr. 4-4 – Kontrolér laser trackeru od firmy Hexagon Manufacturing Intelligence [25]  
Obr. 4-5 – Laserová snímací hlavice laser trackeru [25]  
Obr. 4-6 – Ukázka měření pomocí laser trackeru Leica Absolute Tracker [25]  
Obr. 4-7 – Ukázka měření ramenem ROMER Absolute Arm s integrovaným skenerem [20]

## Seznam tabulek

Tab. 3-1 – Naměřené hodnoty koncové měrky strojem Wenzel

Tab. 3-2 – Tabulka průběžných výpočtů pro určení výběrové směrodatné odchylky

Tab. 3-3 – Srovnání výsledných hodnot z obou metod pro toleranci  $300,0038_{-0,03}^{+0,03} mm$

Tab. 3-4 – Naměřené hodnoty koncové měrky strojem CimCore

Tab. 3-5 – Naměřené hodnoty vnějšího průměru strojem Wenzel

Tab. 3-6 – Naměřené hodnoty vnějšího průměru strojem CimCore

Tab. 3-7 – Naměřené hodnoty vnitřního průměru strojem Wenzel

Tab. 3-8 – Naměřené hodnoty vnitřního průměru strojem CimCore

## Seznam zkratk a symbolů

ČKD – Českomoravská-Kolben-Daněk

CMM – Coordinate Measuring Machine

DEA – Digital Electronic Automation

NC – Numeric Control

CNC – Computer Numeric Control

Wi-Fi – Wireless Fidelity

$c_g$  – koeficient opakovatelnosti měřidla [-]

$c_{gk}$  – koeficient strannosti měřidla [-]

K – konstanta části tolerančního pole (zvoleno 20 %) [-]

T – velikost tolerance měřeného rozměru [mm]

$s_g$  – výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního etalonu [mm]

HMR – horní mezní rozměr [mm]

DMR – dolní mezní rozměr [mm]

n – počet měření za podmínek opakovatelnosti [-]

$x_i$  – výsledek i-tého měření [mm]

$\bar{x}_g$  – výběrový (aritmetický) průměr výsledků měření kontrolního etalonu [mm]

$x_r$  – referenční hodnota kontrolního etalonu [mm]

# 1 Úvod

Cílem každého výrobního podniku v oblasti strojírenství by v době vysoké konkurence mělo být, aby vyráběl svoje produkty s určitou mírou přesnosti. Tím se snaží výrobní společnosti vyvarovat výrobě zmetků a ekonomickým ztrátám. Finální přesnost výrobků zaručuje správnost a kvalitu výrobního procesu.

Oblast metrologie je ve strojírenství velmi důležitá část výrobního procesu. Každá strojírenská výrobní společnost má bezpochyby velký zájem na tom, aby její výrobky splňovaly rozměrové parametry, které byly před samotným započítím výroby stanoveny. Pro účely kontroly těchto parametrů, případně odhalení nepřesných rozměrů výrobků, slouží měření, která jsou prováděna různými druhy měřicích zařízení, a to v závislosti na velikosti výrobku, přesnosti provedení a mnoha dalších aspektů.

Cílem této bakalářské práce je zhodnocení a porovnání měřicích metod a měřicích zařízení ve společnosti Wikov Gear s.r.o., a následné nastínění měřicích metod, či návrh nových měřicích zařízení, které by mohly být doplněním, nebo náhradou dosavadního vybavení v této společnosti.

## 1.1 Představení společnosti

### 1.1.1 Historie společnosti Wikov Gear s.r.o.

Společnost Wikov Gear s.r.o. (dále jen „Wikov Gear“) je jednou ze součástí skupiny Wikov Industry a.s., která je tradičním výrobcem mechanických průmyslových převodovek a ozubených kol. V České republice má tato skupina tři výrobní závody, včetně společnosti Wikov Gear se sídlem v Plzni. Dále je součástí skupiny společnost Orbital2 Ltd., zabývající se vývojem a konstrukcí planetových převodovek, které jsou následně vyráběny v závodech v Plzni a Hronově (Wikov MGI a.s.). Podporou skupiny Wikov Industry a.s. v zahraničí jsou také její dceřiná zastoupení v Číně, Rusku a USA. Současným majitelem skupiny Wikov Industry a.s. je pan Martin Wichterle. [1]



Obr. 1-1 – Logo skupiny Wikov [1]

### 1.1.2 Historie skupiny Wikov Industry a.s.

Současný stav skupiny Wikov Industry a.s. vznikl postupným spojením několika tradičních strojírenských společností. Nynější plzeňská pobočka Wikov Gear navazuje na strojírenskou tradici v západních Čechách, konkrétně na společnosti Škoda Ozubená kola s.r.o. a následně Škoda Gear s.r.o., na kterou navázala v roce 2005 již pod svým stávajícím názvem Wikov Gear. [1]

V roce 2004 se do skupiny Wikov Industry a.s. připojil závod v Hronově, nesoucí název Wikov MGI a.s., který navázal na společnost ČKD Hronov a.s. Posledním výrobním článkem skupiny je společnost Wikov Sázavan s.r.o., sídlící ve Zruči nad Sázavou, který od roku 2012 pod tímto novým názvem navázal na společnost Strojírny Sázavan s.r.o. [1]

### 1.1.3 Výrobní program skupiny Wikov Industry a.s.

Wikov se specializuje na návrh, výrobu a servis mechanických průmyslových převodovek do široké škály průmyslových odvětví, jako jsou například gumárenský, chemický, těžební či metalurgický průmysl, energetika a mnoho dalších. Většina vyrobených převodovek je zbožím pro zahraniční zákazníky. Společnost nabízí různé typy katalogových převodovek, ale také převodovky vyrobené na míru podle požadavků jednotlivých zákazníků. [1]



Obr. 1-2 – Převodovka pohonu pásových dopravníků [1]



Obr. 1-3 – Planetová převodovka pro přílivové elektrárny [1]

## 2 Analýza současného stavu

### 2.1 Souřadnicové měřicí stroje

#### 2.1.1 Historie

První souřadnicové měřicí stroje (angl. coordinate measuring machines, dále jen „CMM“) byly vyrobeny přibližně kolem roku 1960. Prvními dvěma firmami, které uvedly CMM na trh, byly britská společnost Ferranti a italská firma DEA (Digital Electronic Automation). Výroba CMM se postupně rozšiřovala do celého světa, především však do zemí západní Evropy, USA a Japonska. [5], [6], [7]

První CMM měly podobu portálových strojů a byly řízeny ručně. Postupně byly vyvíjeny automatizovanější stroje až do té podoby, kterou mají stroje dnes. S jejich vývojem přišly i různé nové varianty CMM, jako např. stroje mostové, či stroje s pohyblivými stoly atd. Následně byl také zahájen vývoj a výroba měřicích ramen, které jsou stejně jako původní portálové stroje obsluhovány ručně, ale jejich konstrukce je velmi odlišná. Měřicí ramena jsou na trhu přibližně 15-20 let. [5], [6], [7]

#### 2.1.2 Druhy CMM podle konstrukce

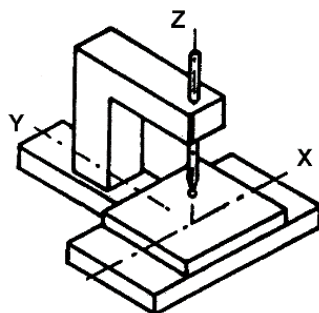
Souřadnicové měřicí stroje lze podle konstrukce dělit do dvou hlavních skupin, a to na:

- a) CNC řízené stroje,
- b) Měřicí ramena.

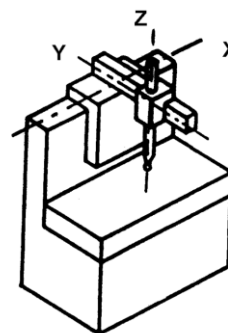
##### a) CNC řízené stroje

Na trhu existuje více variant stacionárních CMM, které jsou řízeny NC programem. Volba konkrétního provedení závisí na velikosti měřených výrobků a požadované přesnosti. Mezi hlavní typy lze zařadit stroje:

- stojanové,
- výložníkové,
- portálové,
- mostové. [2], [5]

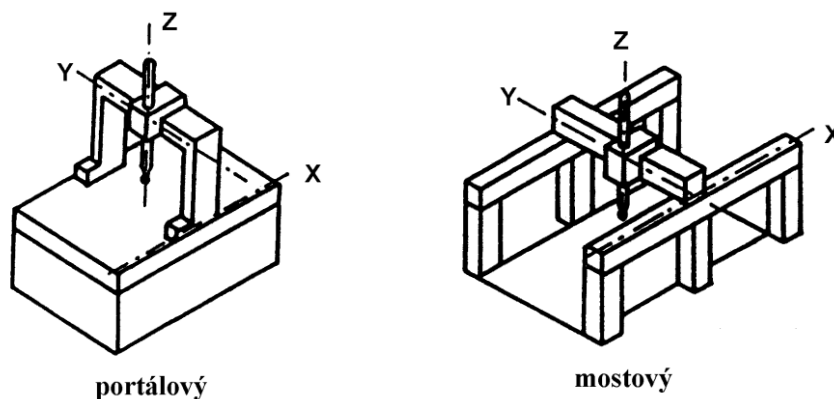


stojanový



výložníkový

Obr. 2-1 – Stojanový a výložníkový stroj [2]



Obr. 2-2 – Portálový a mostový stroj [2]

Stojanové stroje mají omezený rozsah měření, nelze s nimi tedy měřit součásti větších rozměrů. Používají se často např. v různých metrologických laboratořích. [2]

Výložníkové stroje umožňují díky jejich konstrukci dobrý přístup k měřeným součástem. Na tomto typu měřicích strojů lze dobře měřit dlouhé součásti. [2]

Portálové stroje jsou v průmyslové praxi velmi rozšířeným typem CMM. I přes vyšší rozsahy oproti strojům stojanovým a výložníkovým zajišťují vysokou přesnost měření, a to také díky vysoké tuhosti jejich konstrukce. Vyrábí se ve dvou provedeních, konkrétně jako:

- stroje s pohyblivým portálem,
- stroje s pevným portálem – pohybuje se stůl, konstrukce je tužší. [2]

Dalším typem jsou stroje mostové, které se využívají pro největší rozsahy měření. Pomocí těchto strojů lze měřit součásti rozměrů v řádech až několika metrů ve všech osách x, y, z (navíc s možností výrazně vyššího rozsahu v ose y – délka součásti až kolem 30 metrů). Díky velkému prostoru, který stroj zaujímá, je zajištěn dobrý přístup k měřené součásti. Mostové stroje se používají velmi často v leteckém, či automobilovém průmyslu. [2]

#### b) Měřicí ramena

Měřicí ramena jsou jistou alternativou k CNC řízeným souřadnicovým měřicím strojům. Princip fungování přístroje je obdobný. Rozdíl mezi těmito dvěma variantami je hlavně v konstrukci, obsluze zařízení, rozsahu a přesnosti. Zatímco pomocí stacionárních CMM je na základě nadefinovaného programu měřena součást bezobslužně (po manuálních sejmutí počátečních bodů pro orientaci v kartézském souřadnicovém systému stroje), měřicí rameno je po celou dobu měření ovládáno pracovníkem, kterým je manuálně nastavováno do pozic, ze kterých jsou do příslušného softwaru zaznamenávány souřadnice konkrétních naměřených bodů. Současně se zapojením člověka do měřicího procesu se ovšem zvyšuje pravděpodobnost chyb, které negativně ovlivňují přesnost měření (např. chyby vlivem nekonstantní měřicí síly při dotyku měřicí kuličky s povrchem měřeného kusu). [5], [9]

Výhodou měřicích ramen je možnost jejich fyzického přesunu k měřené součásti, což lze využít při měření součástí, se kterými lze obtížně manipulovat, popř. je z určitého důvodu nelze vhodně umístit do souřadnicového systému stacionárních CMM. [5]





Obr. 2-3 – Měřicí rameno CimCore [11]

### 2.1.3 Základní stavební prvky CMM

Programem řízené stroje a měřicí ramena mají vzhledem ke své rozdílné konstrukci také jiné základní stavební prvky.

#### a) CNC řízené stroje

Stacionární CNC řízené stroje se obvykle skládají z těchto částí:

- rám,
- pracovní deska,
- sloupy, mostní konstrukce, portály,
- pinola,
- snímací systém,
- vedení. [2], [4]

První částí stroje je rám. Standardně je to svařenec s vysokými nároky na tuhost i při dynamickém zatížení. U největších CMM (např. mostových, nebo rozměrnějších portálových strojů) tato část stroje není použita a je nahrazena vlastní pracovní deskou, která je instalována přímo od podlahy. [2]

Další částí stroje je již zmiňovaná pracovní deska. Ta je obvykle vyrobena z materiálu, který splňuje podmínky, jako vysoká životnost, objemová stálost, nebo minimální teplotní roztažnost. Z geometrického hlediska je třeba zajistit rovinnost funkčních ploch desky. Nejčastěji je deska vyrobena z granitové žuly, případně z keramiky. U granitu je nutné udržovat povrch neustále jemně mastný, aby nedošlo k přeschnutí materiálu. Také je potřeba uchránit desku před stykem s vodou, která působí deformačně na povrch materiálu. [2], [4]

Portály, mostní konstrukce a sloupy jsou obvykle svařence. Pro kvalitní a přesné měření je třeba zajistit vysokou tuhost celé konstrukce a materiály rozměrově a tvarově stálé. [2]

Pinola je obvykle ocelová, litinová, či duralová tyč kruhového, případně čtvercového průřezu. Tato součást slouží pro uložení snímacího systému stroje. [2]

Snímací systémy CMM jsou děleny na:

- dotykové (kontaktní),
- bezdotykové. [2]

Dotykové systémy využívají k získání souřadnic sejmutých bodů hlavici se zakončením ve formě kuličky, která je nejčastěji vyrobena ze syntetického rubínu. Hlavní vlastností tohoto materiálu je vysoká otěruvzdornost, což je pro objemovou stálost dotykové kuličky velmi důležitou vlastností. Při dotyku kuličky s povrchem měřeného kusu jsou souřadnice daného bodu zaznamenány do konkrétního softwaru. Měření pomocí dotykových systémů není vhodné využívat např. pro měkké materiály, u kterých by mohlo dojít v okamžiku dotyku kuličky k drobnému průhybu, a tím k nepřesnosti měření. Na obrázku 2-4 jsou znázorněny dotykové sondy pro přímé a hvězdicové dotyky. [2]



Obr. 2-4 – Zakončení dotykového systému [27]

Pomocí bezdotykových systémů v současné době nelze měřit s přesností, která by se vyrovnala, či dokonce předčila přesnost dotykových systémů. Přesto je lze s výhodou využít pro řadu měřicích aplikací, např. pro výše zmiňované měření součástí z měkkých materiálů. Vhodné jsou také pro měření uzavřených dutin, či součástí složitějších tvarů, jako např. pro součásti z plastů v automobilovém průmyslu. Nejčastěji je využíváno snímání pomocí laserové měřicí hlavy. Dalšími variantami jsou speciální pneumatické snímače a řádkové kamery. [2]

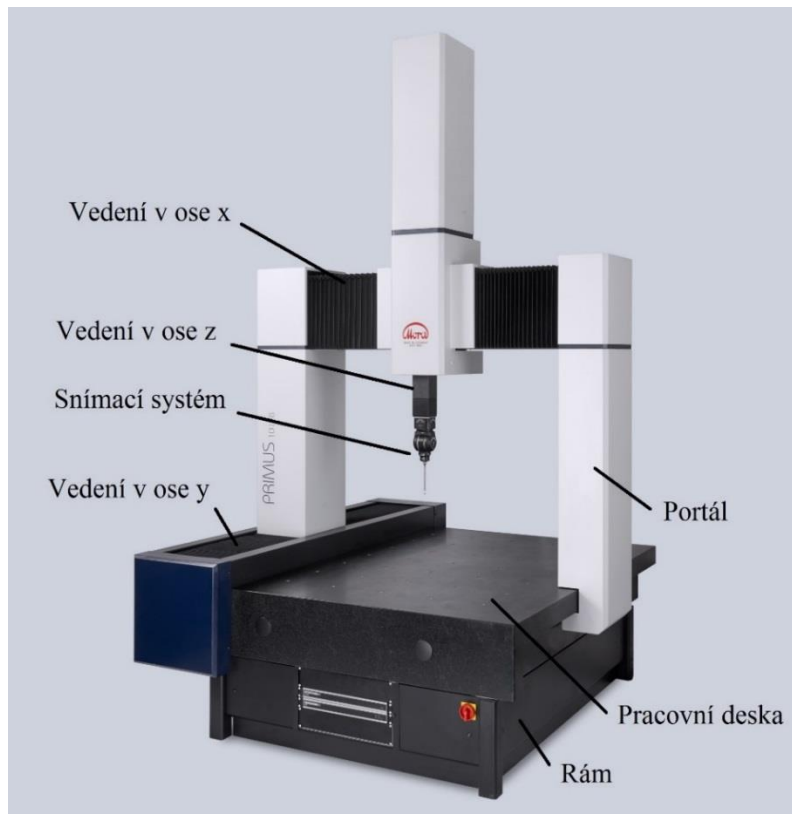


Obr. 2-5 – Laserová snímací hlava značky Nikon [22]

Vzájemný pohyb funkčních částí stacionárního stroje je třeba zajistit vedením, na které je kladeno několik podmínek. Důležité je zajistit uložení pohyblivých částí stroje ve vedení s nízkým třením. Současně s tím ale nesmí být porušena vysoká tuhost celého měřicího systému, která je pro přesnost měření zásadním hlediskem. Dále je také nutné zajistit rovinnost ploch vedení a jejich kolmost ke sloupům (konstrukci) měřicího stroje. [2], [4]

Existuje několik typů vedení:

- valivé vedení – pohyb po kuličkách, či válečkách zajišťuje nízké tření, dobrou odolnost proti opotřebení a vysokou rovnoměrnost pohybů,
- kluzné vedení – výhodou je zachování vysoké tuhosti systému, nevýhodou je vysoký odpor kluzných ploch (nutnost neustálého mazání vedení),
- aerostatické vedení – zajišťuje pohyb na vzduchovém polštáři s tloušťkou 4-8 $\mu$ m. [2]



Obr. 2-6 – Schéma základních stavebních prvků stacionárního stroje značky Mora [3]

#### b) Měřicí ramena

Měřicí ramena jsou stavební strukturou ve srovnání se stacionárními měřicími stroji velmi odlišná. Obvykle se skládají z částí, jako:

- podstavec,
- základna,
- klouby,
- jednotlivé segmenty,
- úchopové prvky,
- snímací systém (hlava). [8], [9]

Rameno lze díky jeho nízké váze přenášet k měřené součásti. K pevnému ustavení ramene do stabilní polohy slouží podstavce. K dispozici jsou např. závitová, či magnetická provedení podstavce. [9]

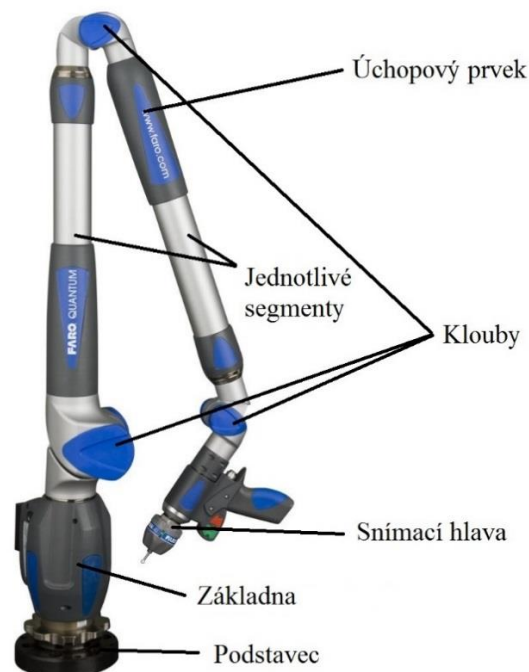
Nad podstavcem se nachází základna (vyhodnocovací jednotka), která obvykle obsahuje baterii, port na připojení kabelu (pokud není zařízení připojeno s počítačovou jednotkou přes Wi-Fi) a další prvky, které slouží k převodu sejmutých souřadnic do počítačové podoby a zajištění chodu celého systému měřicího ramene. [9]

Klouby různých velikostí jsou velmi důležitými prvky měřicích ramen, jelikož umožňují pohyb přístroje v pěti až šesti osách tak, aby bylo možné sejmout body na měřené součásti co nejjednodušeji a nejpřesněji. [9]

Měřicí ramena obsahují obvykle dva segmenty vzájemně vázané přes klouby. První z nich je vázán k ustavené části (také pomocí kloubu) a může být delší, než druhý segment, na jehož konci se nachází snímací systém. Jednotlivé segmenty jsou obvykle vyrobeny z trubek vyrobených z materiálů obsahujících uhlíkové vlákno. Tyto materiály jsou teplotně stabilní, relativně lehké a dostatečně tuhé. Na trubkách jsou instalovány úchopové prvky pro pohodlnější a přesnější manipulaci s přístrojem v průběhu měření. [9]

Snímací hlava slouží k zaznamenávání souřadnic sejmutých bodů na měřeném kusu. Stejně jako jednotlivé segmenty je snímací hlava uložena v kloubu, což umožňuje její otáčení do pozic, ze kterých lze snadno snímat body potřebné k proměření. Na snímací hlavě (popř. na rukojeti u snímací hlavy) se obvykle nachází tlačítko, kterým obsluha potvrzuje sejmutí bodu při dotyku snímací kuličky s povrchem součásti. [9]

Pro měřicí ramena také existují snímací hlavy bezdotykové, obdobně jako u programem řízených strojů. Souřadnice sejmutých bodů jsou u obou variant snímacích systémů odesílány do programu v počítači, pomocí kterého je celý měřicí proces vyhodnocen. [8], [9]



Obr. 2-7 – Základní stavební prvky měřicího ramena značky Faro [10]

#### 2.1.4 Důvody použití CMM

Jednou z hlavních výhod souřadnicových měřicích strojů je univerzálnost jejich použití. Mimo základní rozměrové parametry, jako jsou např. délka, či hodnoty průměrů, lze pomocí CMM měřit velké množství dalších geometrických parametrů součástí, jako:

- přímost,
- rovinnost povrchu,
- kruhovitost,
- válcovitost,
- úhel (kolmost),
- házení a další. [5]

Oproti tradičním měřidlům používaných ve strojírenství mají CMM několik dalších výhod. Velkou výhodou je vysoký rozsah měření, který dosahuje řádově až několika metrů ve všech třech osách kartézského souřadnicového systému. U největších CMM, používaných např. v leteckém průmyslu, může rozsah měření v ose y dosahovat až kolem 30 metrů. [4], [5]

Další výhodou CMM je jejich přesnost. Pomocí programem řízených CMM s dotykovým snímáním lze měřit s přesností až na 1  $\mu\text{m}$ , měřicí ramena disponují nižší přesností, a to řádově až v setinách mm. Přesnost CMM se odvíjí od jejich rozsahu a typu snímacího systému. [4], [5]

Měřením pomocí CMM je možné v některých případech urychlit kontrolu až o 80 % oproti kontrole tradičními měřidly. Zvláště výhodné použití CMM je při opakujícím se měření stejných, či podobných součástí, kde lze opakovaně využít vytvořený program pro měřicí cyklus na CNC řízených strojích. [4], [5]

Další výhodou je možnost volby metody měření v rámci jednoho CMM podle druhu snímacího systému, a to konkrétně mezi dotykovými a bezdotykovými metodami, v závislosti na typu měření, či měřené součásti. Lze tak provádět mimo běžné měření také kontrolu součástí složitějších tvarů, či hůře dostupných míst na součásti. Pro oba typy snímacích systémů je ovšem nutné disponovat samostatným softwarem, který je kompatibilní s daným CMM a typem snímacího systému.

#### 2.1.5 Zúžení tématu

Primárním cílem této bakalářské práce není provedení podrobné rešerše v oblasti CMM. Tato oblast je velmi rozsáhlá, proto je do této práce zařazena pouze část informací, která by v případě podrobné rešerše zaujímal jen určitý úsek z celkového obsahu práce. V podrobnější rešerši oblasti CMM by bylo vhodné (či nezbytné) zmínit se podrobněji o tématech, jako:

- principy a průběh měření pomocí CMM,
- snímací systémy CMM,
- kontrola přesnosti CMM,
- chyby měření CMM,
- scanning. [2], [4]

## 2.2 Charakteristika řešeného problému

### 2.2.1 Specifikace strojů, stanovení cílů

Společnost Wikov Gear disponuje z výše uvedených variant moderních měřicích zařízení měřicím ramenem od firmy Hexagon Manufacturing Intelligence, konkrétně typem CimCore 7525 (v některých zdrojích uváděno jako ROMER Absolute Arm 7525). [8], [11]

Tímto šestiosým přístrojem je možné měřit v rozsahu až 2,5 metru s výrobcem garantovanou opakovatelností bodu až 0,020 mm a prostorovou přesností až  $\pm 0,029$  mm (při dodržení všech podmínek pro zajištění kvality měření, jako při laboratorním měření). Díky nízké hmotnosti (8 kg) může být tento přístroj v případě potřeby přenesen k měřené součásti, pokud by bylo součást obtížné přesunout do prostor, kde je obvykle ramenem měřeno. Pro zachování přesnosti měření je třeba v takovém případě zajistit okolní teplotu 20 °C, což je standardní teplota pro laboratorní měření. [8], [11]



Obr. 2-8 – Měřicí rameno CimCore 7525 [vlastní]

Technická kontrola společnosti Wikov Gear často proměřuje pomocí tohoto přístroje (společně s dalšími vyrobenými součástmi) také prvky převodových skříní, jako jsou:

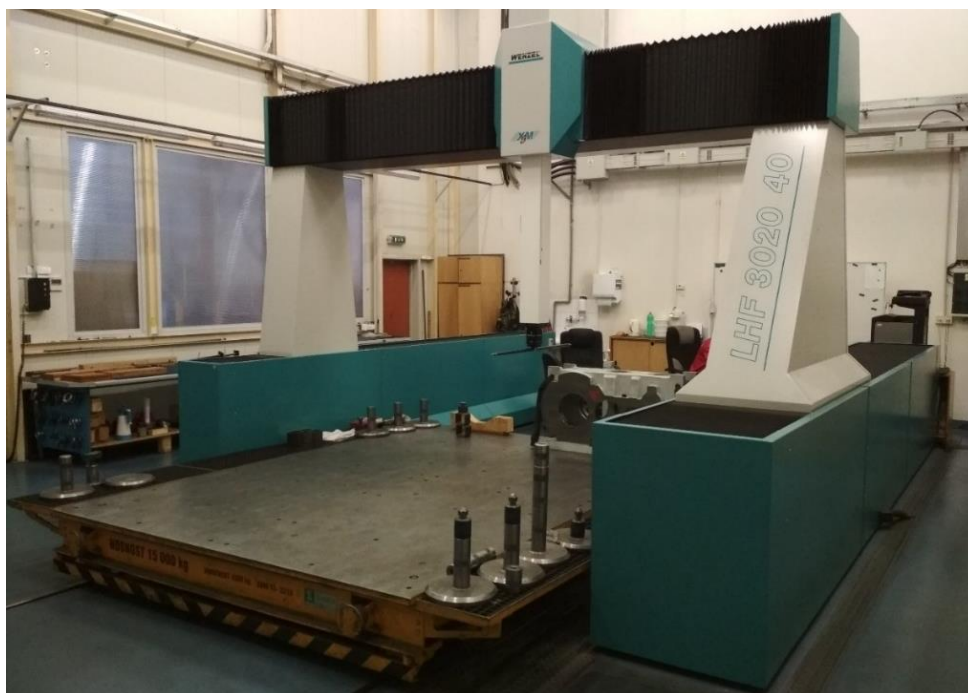
- průměry vývrtů vstupních, popř. výstupních hřídelí převodovky,
- osové vzdálenosti vývrtů pro vstupní a výstupní hřídele podle typu převodovky (rovnoběžnost, různoběžnost, mimoběžnost, sousost),
- další rozměrové, či geometrické prvky tolerované na výrobním výkrese.

Odpovídající přesnost těchto parametrů je velmi důležitá pro kvalitní chod celého mechanismu převodovky. Nedodržení předepsané přesnosti výše zmíněných parametrů by mohlo zapříčinit nepřesnost chodu převodovky, což vede ke snížení účinnosti mechanismu.

Společnost Wikov Gear dále pro vybraná měření využívá stacionární CNC řízený stroj Wenzel LHF 3020-40. Tento stroj není k dispozici v závodě v Plzni, ale v partnerské pobočce Wikov MGI a.s. sídlící v Hronově, nedaleko polských hranic (přibližně 250 km od Plzně).

Tento stroj disponuje výrazně vyšším rozsahem měření (3000 x 4000 x 2000 mm) ve všech osách, i výrobcem garantovanou prostorovou přesností (0,007 mm), která se ovšem společně s délkou měřené součásti nepatrně snižuje. Tento stroj vzhledem k jeho větším rozměrům neobsahuje rám. Pracovní deska stroje je tedy instalována přímo od podlahy pracoviště kontroly (obr. 2-9). Snímací systém stroje je od firmy Renishaw. [12]

Umístění tohoto stroje mimo plzeňskou pobočku je značnou komplikací pro jeho možné využití společností Wikov Gear. Pro možnost měření na tomto stroji je třeba zajistit převoz součástí do vzdálené partnerské pobočky a jejich návrat zpět do plzeňského závodu, což celý kontrolní proces značně zpomaluje. Z tohoto důvodu není plzeňskou pobočkou tento 3D měřicí stroj využíván pro větší část výroby, ale pouze pro vybrané zakázky.



Obr. 2-9 – Měřicí stroj Wenzel LHF 3020-40 [vlastní]

Proto je zapotřebí pomocí měření provedených na obou strojích stanovit vhodnost použití obou těchto měřicích strojů, porovnat jejich přesnosti a určit, pro jaké rozsahy tolerancí jsou tyto stroje způsobilé a spolehlivé měřit. Na základě tohoto vyhodnocení je poté možné rozdělit, kdy lze daný výrobek kontrolovat na rameni CimCore v Plzni, a naopak kdy je nutné, kvůli vyšší přesnosti rozměrových parametrů na daném výrobku, nechat tento výrobek proměřit na stroji Wenzel v Hronově, či na jiném stroji s vyšší přesností, např. u externí firmy, nebo u dodavatele dílů (pokud si společnost nechává vyrobit tyto díly externě mimo vlastní výrobní závod).

### 2.2.2 Metody pro vyhodnocení provedených měření

Pro vyhodnocení jednotlivých měření, provedených pomocí obou zkoumaných měřicích strojů, byla zvolena metoda vyšetřování způsobilosti měřidla, konkrétně metoda Ford, jejíž výsledkem je minimální rozsah tolerančního pole, pro který platí, že měřidlo je způsobilé a je tak spolehlivé pro použití v praxi.

Tuto metodu lze aplikovat ve dvou variantách:

1. zjištění opakovatelnosti měření (měření provádí pouze jeden pracovník),
2. zjištění opakovatelnosti a reprodukovatelnosti současně (měření provádí několik pracovníků).

Pro stanovení způsobilosti měřidel Wenzel a CimCore byla zvolena varianta č. 1. [15]

Pro opakovatelnost měření existuje řada definic. Zjednodušeně lze říci, že opakovatelnost měření udává velikost náhodné chyby zahrnutou ve výsledcích dané měřicí metody. Statisticky to znamená, že z výsledků měření je vyjádřen jejich rozptyl kolem průměrné hodnoty vypočtené z těchto výsledků, bez ohledu na vzdálenost tohoto průměru od konvenčně pravé (referenční) hodnoty měřeného kusu. Konvenčně pravá hodnota je taková hodnota, kterou lze pro daný účel nahradit hodnotu pravou, což je teoretická hodnota, která by byla získána naprosto přesným a bezchybným měřením. [13], [14]

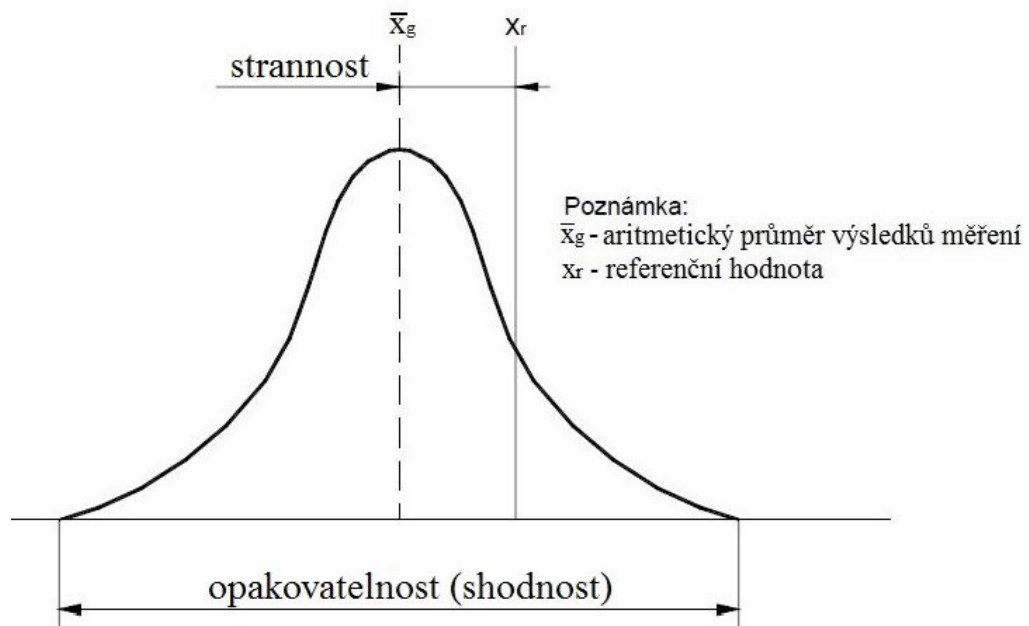
Opakovatelnost lze také definovat pomocí pojmu shodnost, který vyjadřuje variabilitu výsledků při opakovaném měření stejného prvku (rozměru). Opakovatelnost měření poté představuje shodnost měření za dodržení podmínek opakovatelnosti. [16]

Mezi tyto podmínky, které je nutno pro správné vyšetření opakovatelnosti respektovat, patří:

- měření provádí jedna osoba,
- měření je prováděno jedním měřidlem,
- měření je prováděno stejným postupem,
- měří se jeden kus,
- na měřeném kusu je měřen jeden vybraný rozměr vícenásobně, a to minimálně 20x,
- měření je prováděno v krátkém časovém úseku (minimalizace vlivu okolních podmínek),
- v průběhu měření jsou zachovány stejné podmínky pro měření. [13], [15], [17]

Současně s opakovatelností měřidla je řešena pomocí metody způsobilosti měřidla také jeho strannost, která představuje rozdíl mezi konvenčně pravou (referenční) hodnotou etalonu a střední hodnotou všech výsledků měření. Strannost je také brána jako míra systematické chyby měření. [13], [17]





Obr. 2-10 – Znázornění opakovatelnosti a strannosti v Gaussově normálním rozdělení [13]

Jak je výše u podmínek pro vyšetření opakovatelnosti naznačeno, tato metoda je založena na opakovaném měření jedné zvolené rozměrové hodnoty. Měřeným kusem je kontrolní etalon, což je kus, u kterého je známý jeho konvenčně pravý rozměr. Hodnota tohoto rozměru je brána jako referenční, a v ideálním případě by měla být průměrnou hodnotou všech ostatních naměřených výsledků. [13], [15]

Jako etalon může být pro tuto metodu využito několik variant měřených kusů:

- kalibrovaná koncová měrka (pro délkové rozměry),
- kalibrované válcové kalibry (pro vnější / vnitřní průměry),
- skutečný výrobek (konvenčně pravou hodnotu měřeného rozměru je nutné zjistit pomocí měřidla, které disponuje o řád vyšší přesností, než je přesnost zkoumaného stroje).

Po opakovaném naměření daného rozměru je zjištěn rozptyl hodnot vůči referenční hodnotě, který je poté porovnán s částí tolerančního pole (obvykle 15-20 % tolerančního pole), pro které se zjišťuje použitelnost měřidla. Tato část tolerančního pole je ve výpočtu vyjádřena konstantou  $K$ . Výsledkem této metody jsou koeficienty  $c_g$  a  $c_{gk}$ , které určují, zda je měřidlo způsobilé, či nikoliv. [13], [15]

Koeficient  $c_g$  vyjadřuje opakovatelnost měřidla a je dán vztahem [13]:

$$c_g = \frac{K \cdot T}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g}$$

kde:

$c_g$  - koeficient opakovatelnosti měřidla [-]

$K$  – konstanta části tolerančního pole (zvoleno 20 %) [-]

$T$  - velikost tolerance měřeného rozměru [mm]

$s_g$  - výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního etalonu [mm]

a ty jsou dány vztahy [13] :

$$T = HMR - DMR$$

kde:

HMR – horní mezní rozměr [mm]

DMR – dolní mezní rozměr [mm]

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2}$$

kde:

$n$  – počet měření za podmínek opakovatelnosti [-]

$x_i$  – výsledek  $i$ -tého měření [mm]

$\bar{x}_g$  – výběrový (aritmetický) průměr výsledků měření kontrolního etalonu [mm]

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Koeficient  $c_{gk}$  vyjadřuje strannost měřidla a je dán vztahem [13]:

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_r|}{3 \cdot s_g}$$

kde:

$c_{gk}$  - koeficient strannosti měřidla [-]

$x_r$  je referenční hodnota kontrolního etalonu [mm]. [13], [15]

Pomocí koeficientů  $c_g$  a  $c_{gk}$  lze určit, jestli výsledek měření etalonu leží s pravděpodobností 99,73 % ve zvolené oblasti tolerance daného měřidla. Při použití metody Ford obvykle platí, že měřidlo je uznáno jako způsobilé tehdy, kdy jsou hodnoty obou koeficientů  $c_g$ ,  $c_{gk}$  větší, nebo rovny hodnotě 1,33. V některých případech ovšem může také platit, že oba koeficienty musí být pouze ostře větší, než hraniční hodnota 1,33, např. pokud si tuto podmínku vyžádá zákazník. V závislosti na přání zákazníka může být uvažována i jiná mezní hodnota, namísto hodnoty 1,33 (např. v automobilovém průmyslu je ve většině případů používána mezní hodnota způsobilosti 1,67). [13], [15]

Ve výpočetní části této práce je dále uvažováno, že měřidlo je způsobilé, pokud platí, že  $c_g \geq 1,33$ , a zároveň  $c_{gk} \geq 1,33$ .

Z definice koeficientů  $c_g$  a  $c_{gk}$  vyplývá, že  $c_g \geq c_{gk}$ . Výrobci měřidel obvykle preferují, aby byla dodržena nejprve charakteristika  $c_g$  a až následně  $c_{gk}$ . Pro uživatele měřidla je zásadnější spíše dodržení parametru strannosti  $c_{gk}$ . [13]

Ve výpočetní části jsou u metody Ford výsledkem v závislosti na koeficientech  $c_g$ ,  $c_{gk}$  rozsahy tolerančních polí, které určují, v jakých případech lze dané stroje spolehlivě používat pro měření v praxi. Tyto tolerance jsou ve výpočtech této práce používány za uvažování shodné horní a dolní odchylky, tj. např.  $\varnothing 100_{-0,1}^{+0,1}$  mm. Je ovšem nutné podotknout, že zásadní pro vyhodnocení metody způsobilosti měřidla je pouze šířka tolerančního pole, nehledě na jeho umístění vůči referenční hodnotě. Stejně hodnoty koeficientů  $c_g$ ,  $c_{gk}$  jsou tedy výpočtem stanoveny např. pro tolerance:

- $\varnothing 100_{-0,1}^{+0,1}$  mm,
- $\varnothing 100_0^{+0,2}$  mm.

Toto je důležité zmínit pro případ, kdy jsou uvažovány tolerance např. pro vývrty na hřídele v převodových skříních, či rotační součásti, které jsou obvykle na výkrese s tolerancí H a využívají tak toleranci pouze do plusu (např.  $\varnothing 100H7 = \varnothing 100_{+0}^{+0,035}$  mm).

Pokud je vyhodnocením způsobilosti měřidla stanoven minimální rozsah tolerančního pole, pro který je dané měřidlo způsobilé, znamená to, že by toto měřidlo v praxi nemělo být používáno pro měření, která vyžadují přesnost v tolerancích užších, než pro zjištěnou mezní šířku tolerančního pole.

### 3 Vlastní implementace

V rámci hlavního experimentu byly vyhodnoceny tři různé druhy měření, které odpovídají rozměrovým charakteristikám často měřeným na obou měřicích strojích, a to konkrétně:

- délkový rozměr - měření koncové měrky – délka 300 mm,
- vnější průměr - měření válcového kalibru – vnější Ø 100 mm,
- vnitřní průměr - měření kalibračního kroužku – vnitřní Ø 100 mm.

Rozměry kontrolních etalonů byly voleny s ohledem na měřené rozměry na těchto strojích v běžném provozu. Jelikož společnost Wikov Gear na těchto strojích často proměřuje prvky převodových skříní, byly vybrány kontrolní etalony větších rozměrů. Konvenčně pravé rozměry všech měřených kusů, se kterými byly výsledky jednotlivých měření porovnávány, jsou dány kalibračním listem, nebo hodnotou získanou měřidlem s přesností o řád vyšší, než je přesnost přesnějšího z obou zkoumaných strojů (stroj Wenzel).

Veškerá měření byla provedena za dodržení podmínek opakovatelnosti, aby bylo možné výsledky jednotlivých měření považovat za vypovídající. Každý zkoumaný rozměr všech kontrolních etalonů byl obsluhou daného stroje zařízením proměřen celkem 21x.

Pro vyhodnocení jednotlivých výsledků byla použita webová aplikace společnosti TŘEŠTÍK (obchodní název Ing. Josef Třeštík – TREE), dostupná na [www.trestik.cz](http://www.trestik.cz). Tato společnost se dlouhodobě zaměřuje především na vývoj a poskytování softwarových řešení v oblasti řízení kvality, a má několik stovek klientů, včetně společností jako Škoda Auto a.s., či několika společností vyrábějící přístroje pro metrologii. [18]

Pro vyhodnocení prvního měření byly taktéž provedeny výpočty pomocí vzorců uvedených výše v kapitole 2.2.2 „Metody pro vyhodnocení“. Tyto výpočty lze zároveň považovat za kontrolu správnosti výpočtu webové aplikace společnosti TŘEŠTÍK.



Obr. 3-1 – Úvodní stránka webu [www.trestik.cz](http://www.trestik.cz) [18]

### 3.1 Postup pro vyhodnocení způsobilosti měřidla

#### 3.1.1 Bez webové aplikace (ruční výpočet pomocí vzorců)

V případě ručního vyhodnocení výsledků bylo nejprve nutné vypočítat ze všech 21 naměřených hodnot pro dané měřidlo a daný kontrolní etalon aritmetický průměr těchto hodnot, který byl následně využit při výpočtu výběrové směrodatné odchylky výsledků měření. Obě tyto hodnoty byly dále využity ve výpočtech zjišťovaných koeficientů  $c_g$  a  $c_{gk}$ .

Následně bylo zapotřebí odhadnout rozsah tolerančního pole, pro které by měřidlo mělo být způsobilé. Tento přibližný odhad bylo třeba uvažovat v závislosti na druhu měřidla, na základě výrobcem garantované přesnosti, popř. z předchozích měření. Toleranční pole bylo odhadováno za uvažování horní i dolní mezní hodnoty (např.  $\varnothing 100_{-0,1}^{+0,1}$  mm). S takto uvažovanou hodnotou tolerance již bylo možné vypočítat oba zjišťované koeficienty. Hodnota konstanty K byla zvolena jako  $K = 0,2$  (20 %).

V případě, že hodnota některého z obou koeficientů byla výpočtem stanovena jako menší, než mezní hodnota způsobilosti 1,33, měřidlo nebylo uznáno za způsobilé. V takovém případě bylo třeba zvýšit rozsah tolerančního pole (např. o 0,01 mm na  $\varnothing 100_{-0,105}^{+0,105}$  mm) a výpočet bylo nutné provést znovu. Stejný postup byl prováděn opakovaně až do chvíle, kdy byly výsledné hodnoty obou koeficientů větší, než mezní hodnota způsobilosti. Poté bylo měřidlo uznáno pro daný rozsah tolerančního pole za způsobilé.

Pokud nastala situace, že již u prvního odhadovaného rozsahu tolerančního pole bylo výpočtem koeficientů měřidlo uznáno za způsobilé, bylo naopak třeba rozsah tolerančního pole zúžit (opět o 0,01 mm na  $\varnothing 100_{-0,095}^{+0,095}$  mm) a poté provést výpočet znovu. Tento postup byl opakován až do chvíle, kdy byla hodnota alespoň jednoho z koeficientů  $c_g$ ,  $c_{gk}$  nižší, než mezní hodnota způsobilosti. Výsledkem bylo v takovém případě předchozí zkoušené toleranční pole, pro které byly ještě oba koeficienty vyšší, než hraniční hodnota 1,33.

#### 3.1.2 Pomocí webové aplikace od spol. TŘEŠTÍK

Použitím webové aplikace byl výpočet koeficientů určujících způsobilost měřidla zjednodušen. V aplikaci byly využity k výpočtu stejné vzorce a stejný princip, jako při ručním výpočtu.

Pro spuštění výpočtu bylo třeba do formuláře aplikace zadat:

- horní a dolní toleranční mez (reprezentující odhadovanou toleranci),
- konvenčně pravou (referenční) hodnotu měřeného etalonu,
- konstantu K (volba v rozmezí 15-20 %, bylo zvoleno  $K = 20$  %),
- počet opakování měření a konkrétní naměřené hodnoty.

Po zadání všech těchto parametrů byly pomocí webové aplikace vypočteny potřebné hodnoty, jako aritmetický průměr (střední hodnota) ze všech měření, výběrová směrodatná odchylka a oba koeficienty  $c_g$ ,  $c_{gk}$ . Podle výsledných hodnot těchto dvou koeficientů bylo aplikací vyhodnoceno, zda je měřidlo způsobilé, či nikoliv. V případě, že bylo po prvním odhadu tolerančního pole nezbytné výpočet opakovat s odlišným rozsahem tohoto pole, bylo tak jednoduše provedeno přepsáním původně zadaných hodnot a výpočet byl zopakován znovu.

Pro vyhodnocení koncové měrky jsou při použití aplikace od spol. TŘEŠTÍK zařazeny konkrétní snímky obrazovky s výsledky. U výpočtů pro kalibry jsou tyto hodnoty vypsány.

### 3.2 Měření koncové měrky

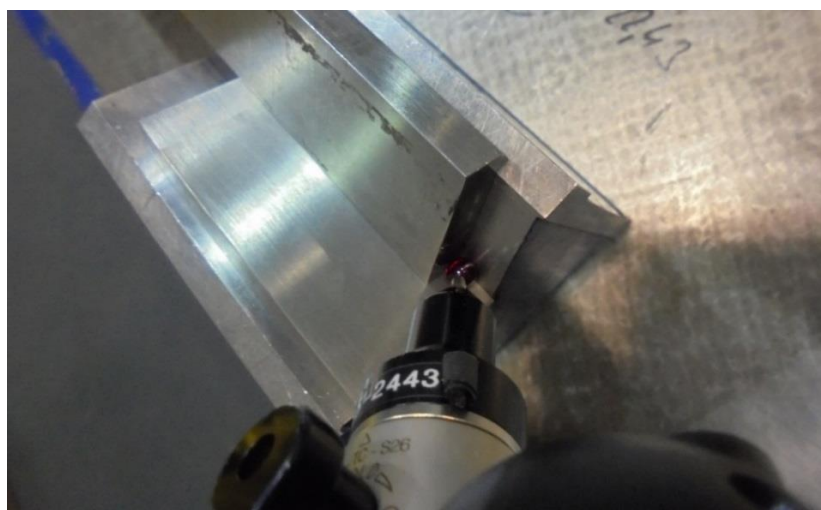
Pro vyhodnocení na obou strojích byla referenční hodnota měrky  $x_r = 300,0038$  mm (zjištěna pomocí délkoměru zn. Zeiss - porovnáním s kalibrovanou koncovou měrkou) a konstanta  $K$ , která určuje část tolerančního pole potřebnou k následným výpočtům, byla zvolena jako  $K = 0,2$  (20 %).

Na obrázku 3-2 je znázorněno, jak byla koncová měrka při měření usazena. Díky opření o velkou část její zadní plochy byla zajištěna stabilita tak, aby při měření nedošlo k jejímu nechtěnému posunutí, které by mohlo přesnost měření ovlivnit. Zároveň byl díky tomuto usazení zajištěn relativně dobrý přístup k oběma krajním měřeným plochám.



Obr. 3-2 – Měřená koncová měrka [vlastní]

Pro měření zvolené měrky se při najetí snímacího systému musely na obou krajních měřených plochách definovat sejmutím několika bodů roviny, jejichž vzdálenost se poté odměřovala. Tento postup byl aplikován opakovaně a bylo tak dosaženo 21 výsledných hodnot, které byly následně využity k vyhodnocení způsobilosti měřidla pro délkové prvky.



Obr. 3-3 – Odměřování pomocí měřicího ramene [vlastní]

### 3.2.1 Vyhodnocení pro stroj Wenzel LHF 3020-40

Pro názornost byly ihned u tohoto vyhodnocení (prvního z celkových šesti měření) vypočteny koeficienty  $c_g$  a  $c_{gk}$  společně s výpočtem webovou aplikací také ručně pomocí vzorců uvedených výše v kapitole 2.2.2 „Metody pro vyhodnocení“.

Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	Odchylka od referenční hodnoty $x_r$ [mm]	Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	Odchylka od referenční hodnoty $x_r$ [mm]
1.	300,0091	0,0053	12.	300,0089	0,0051
2.	300,0090	0,0052	13.	300,0089	0,0051
3.	300,0092	0,0054	14.	300,0091	0,0053
4.	300,0090	0,0052	15.	300,0089	0,0051
5.	300,0090	0,0052	16.	300,0091	0,0053
6.	300,0088	0,0050	17.	300,0090	0,0052
7.	300,0089	0,0051	18.	300,0088	0,0050
8.	300,0088	0,0050	19.	300,0087	0,0049
9.	300,0086	0,0048	20.	300,0085	0,0047
10.	300,0087	0,0049	21.	300,0086	0,0048
11.	300,0091	0,0053	-	-	-

Tab. 3-1 – Naměřené hodnoty koncové měrky strojem Wenzel

#### 1) Ruční výpočet

Nejprve bylo třeba určit aritmetický průměr naměřených hodnot.

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{21} x_i = 300,0088905 \text{ mm}$$

Dále bylo potřeba vypočítat hodnotu výběrové směrodatné odchylky.

Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	$x_i - \bar{x}_g$ [mm]	$(x_i - \bar{x}_g)^2$ [mm]	Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	$x_i - \bar{x}_g$ [mm]	$(x_i - \bar{x}_g)^2$ [mm]
1.	300,0091	$2,09 \cdot 10^{-4}$	$4,39 \cdot 10^{-8}$	12.	300,0089	$9,50 \cdot 10^{-6}$	$9,02 \cdot 10^{-11}$
2.	300,0090	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-8}$	13.	300,0089	$9,50 \cdot 10^{-6}$	$9,02 \cdot 10^{-11}$
3.	300,0092	$3,10 \cdot 10^{-4}$	$9,58 \cdot 10^{-8}$	14.	300,0091	$2,09 \cdot 10^{-4}$	$4,39 \cdot 10^{-8}$
4.	300,0090	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-8}$	15.	300,0089	$9,50 \cdot 10^{-6}$	$9,02 \cdot 10^{-11}$
5.	300,0090	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-8}$	16.	300,0091	$2,09 \cdot 10^{-4}$	$4,39 \cdot 10^{-8}$
6.	300,0088	$-9,05 \cdot 10^{-5}$	$8,19 \cdot 10^{-9}$	17.	300,0090	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-8}$
7.	300,0089	$9,50 \cdot 10^{-6}$	$9,02 \cdot 10^{-11}$	18.	300,0088	$-9,05 \cdot 10^{-5}$	$8,19 \cdot 10^{-9}$
8.	300,0088	$-9,05 \cdot 10^{-5}$	$8,19 \cdot 10^{-9}$	19.	300,0087	$-1,91 \cdot 10^{-4}$	$3,63 \cdot 10^{-8}$
9.	300,0086	$-2,91 \cdot 10^{-4}$	$8,44 \cdot 10^{-8}$	20.	300,0085	$-3,90 \cdot 10^{-4}$	$1,52 \cdot 10^{-7}$
10.	300,0087	$-1,91 \cdot 10^{-4}$	$3,63 \cdot 10^{-8}$	21.	300,0086	$-2,91 \cdot 10^{-4}$	$8,44 \cdot 10^{-8}$
11.	300,0091	$2,09 \cdot 10^{-4}$	$4,39 \cdot 10^{-8}$	-	-	-	-

Tab. 3-2 – Tabulka průběžných výpočtů pro určení výběrové směrodatné odchylky

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2} = \sqrt{\frac{1}{21-1} \sum_{i=1}^{21} (x_i - \bar{x}_g)^2} = \sqrt{\frac{1}{20} \cdot 7,38 \cdot 10^{-7}} = 0,000192 \text{ mm} =$$

$$= 1,92 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$$

Při znalosti hodnot  $\bar{x}_g$  a  $s_g$  již bylo možné dopočítat oba zjišťované koeficienty. Ještě před začátkem výpočtu bylo ale nutné odhadnout rozsah tolerančního pole, pro který by mohl být stroj Wenzel způsobilý měřit. Napoprvé bylo uvažováno, že tento stroj je schopen měřit toleranční pole rozsahu 0,04 mm (tj.  $300,0038_{-0,02}^{+0,02} \text{ mm}$ ). Konstanta K, která je k výpočtu taktéž zapotřebí, byla zvolena jako  $K = 0,2$ .

$$c_g = \frac{K \cdot T}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot (HMR - DMR)}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot (300,0238 - 299,9838)}{6 \cdot 1,92 \cdot 10^{-4}} = \frac{0,2 \cdot 0,04}{6 \cdot 1,92 \cdot 10^{-4}} =$$

$$= 6,944$$

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_r|}{3 \cdot s_g} = \frac{0,1 \cdot 0,04 - |300,0088905 - 300,0038|}{3 \cdot 1,92 \cdot 10^{-4}} = -1,893$$

Podmínka způsobilosti:  $c_g \geq 1,33 \wedge c_{gk} \geq 1,33$

Pro první zkoušenou toleranci bylo zjištěno, že  $c_{gk} < 1,33$ , což znamená, že měřidlo není způsobilé.

Proto bylo třeba rozšířit rozsah tolerančního pole o 0,01 mm na celkových 0,05 mm (tj.  $300,0038_{-0,025}^{+0,025} \text{ mm}$ ) a výpočet opakovat.

$$c_g = \frac{K \cdot T}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot (HMR - DMR)}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot (300,0288 - 299,9788)}{6 \cdot 1,92 \cdot 10^{-4}} = \frac{0,2 \cdot 0,05}{6 \cdot 1,92 \cdot 10^{-4}} =$$

$$= 8,681$$

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_r|}{3 \cdot s_g} = \frac{0,1 \cdot 0,05 - |300,0088905 - 300,0038|}{3 \cdot 1,92 \cdot 10^{-4}} = -0,157$$

I pro druhé zkoušené toleranční pole vyšlo, že  $c_{gk} < 1,33$ , což znamená, že měřidlo není způsobilé.

Toleranční pole muselo být tedy pro výpočet znovu rozšířeno o 0,01 mm, celkově tedy na 0,06 mm (tj.  $300,0038_{-0,03}^{+0,03} \text{ mm}$ ) a výpočet byl opakován.

$$c_g = \frac{K \cdot T}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot (HMR - DMR)}{6 \cdot s_g} = \frac{0,2 \cdot (300,0338 - 299,9738)}{6 \cdot 1,92 \cdot 10^{-4}} = \frac{0,2 \cdot 0,06}{6 \cdot 1,92 \cdot 10^{-4}} =$$

$$= 10,417$$

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_r|}{3 \cdot s_g} = \frac{0,1 \cdot 0,06 - |300,0088905 - 300,0038|}{3 \cdot 1,92 \cdot 10^{-4}} = 1,579$$



V tomto případě byla podmínka způsobilosti splněna a měřidlo je pro tuto toleranci považováno za způsobilé. Znamená to tedy, že v praxi by stroj Wenzel neměl měřit délkové rozměry v případě tolerančního pole užšího rozsahu, než 0,06 mm (tato hodnota představuje rozsah mezi horní a dolní toleranční mezí, nehledě na jeho umístění vůči tolerovanému rozměru).

## 2) Výpočet pomocí webové aplikace

Prvním krokem při výpočtu pomocí webové aplikace bylo zadání všech potřebných parametrů pro výpočet. Většina parametrů byla zadána do formuláře znázorněného na obrázku 3-4. Všechny naměřené 21 hodnot bylo zadáno v následujícím kroku, kam lze tyto hodnoty vkládat jednotlivě, ale také vložením pole hodnot z programu, jako je např. MS Excel, což samotné vkládání značně urychlilo.

Zadejte parametry metody:	
Uživatel měřidla:	Wikov Gear s.r.o.
Název měřidla:	Wenzel LHF 3020-40
Evidenční číslo měřidla:	-
Horní toleranční mez:	300.0238
Dolní toleranční mez:	299.9838
Skutečná hodnota etalonu:	300.0038
Konstanta K[%]:	20 <small>obvykle 15-20 (uvádí se bez %)</small>
Počet opakování:	21 <small>1-50</small>
Počet pracovníků:	1
<input type="button" value="Potvrdit parametry"/> <input type="button" value="Návrat na volbu varianty"/>	

Obr. 3-4 – Zadané hodnoty ve webovém formuláři aplikace [18]

Aplikace poté vypočetla všechny hledané hodnoty. V tomto případě byla napoprvé odhadována šířka tolerančního pole 0,04 mm, tj.  $300,0038^{+0,02}_{-0,02} \text{ mm}$ , tedy shodně, jako u ručního výpočtu provedeného výše.

VÝSLEDEK:	
Střední naměřená hodnota:	<b>300.00889</b>
Vypočtená směrodatná odchylka:	<b>0.00019</b>
Index způsobilosti Cg:	<b>6.94290</b>
Index způsobilosti Cgk:	<b>-1.89277</b>
<b>Měřidlo není způsobilé!</b>	

Obr. 3-5 – Vyhodnocení pro toleranci  $300,0038^{+0,02}_{-0,02} \text{ mm}$  [18]

Jak je patrné z obrázku 3-5, pro tuto toleranci měřidlo nebylo vyhodnoceno jako způsobilé. Proto bylo třeba rozšířit toleranční pole na 0,05 mm (tj. na hodnotu  $300,0038^{+0,025}_{-0,025} \text{ mm}$ ) a výpočet provést znovu, jako tomu bylo u ručního výpočtu. Ve webovém formuláři tak byly přepsány hodnoty horní a dolní toleranční meze a výpočet byl aplikací proveden znovu.

<b>VÝSLEDEK:</b>	
Střední naměřená hodnota:	<b>300.00889</b>
Vypočtená směrodatná odchylka:	<b>0.00019</b>
Index způsobilosti $C_g$ :	<b>8.67863</b>
Index způsobilosti $C_{gk}$ :	<b>-0.15704</b>
<b>Měřidlo není způsobilé!</b>	

Obr. 3-6 – Vyhodnocení pro toleranci  $300,0038_{-0,025}^{+0,025} \text{ mm}$  [18]

Obrázek 3-6, zobrazující vyhodnocení pro nově nastavenou toleranci ukazuje, že ani pro tuto toleranci nebylo měřidlo vyhodnoceno jako způsobilé. Proto bylo třeba toleranční pole znovu rozšířit o 0,01 mm, což představovalo šířku tolerančního pole 0,06 mm, popř. hodnotu  $300,0038_{-0,03}^{+0,03} \text{ mm}$ , a výpočet bylo třeba nechat zopakovat.

<b>VÝSLEDEK:</b>	
Střední naměřená hodnota:	<b>300.00889</b>
Vypočtená směrodatná odchylka:	<b>0.00019</b>
Index způsobilosti $C_g$ :	<b>10.41435</b>
Index způsobilosti $C_{gk}$ :	<b>1.57868</b>
<b>Měřidlo je způsobilé!</b>	

Obr. 3-7 – Vyhodnocení pro toleranci  $300,0038_{-0,03}^{+0,03} \text{ mm}$  [18]

Pro takto zvolenou toleranci již byly hodnoty obou koeficientů  $c_g$ ,  $c_{gk}$  nad požadovanou hranicí způsobilosti 1,33, proto je měřidlo považováno pro tuto toleranci za způsobilé.

Při srovnání ručního výpočtu a výpočtu pomocí webové aplikace lze pozorovat nepatrné odchylky mezi vypočítanými hodnotami (viz tabulka 3-3). Tyto odchylky byly zapříčiněny neshodami v zaokrouhlování mezi oběma variantami výpočtů. Pro celkový výsledek ale tyto odchylky nemají zásadní význam.

Srovnání	$\bar{x}_g$ [mm]	$s_g$ [mm]	$c_g$ [-]	$c_{gk}$ [-]
Ručně	300,0088905	0,000192	10,417	1,579
Aplikací	300,00889	0,00019	10,41435	1,57868

Tab. 3-3 – Srovnání výsledných hodnot z obou metod pro toleranci  $300,0038_{-0,03}^{+0,03} \text{ mm}$ 

Pro další výpočty byla využita pouze varianta s využitím webové aplikace, jejíž správná funkčnost byla výše uvedenými výpočty ověřena. V případě rozšíření, či zúžení tolerančního pole pro výpočty bylo vždy toto pole změněno o 0,01 mm, jako u výpočtů výše.

### 3.2.2 Vyhodnocení pro stroj CimCore 7525

V případě vyhodnocení pro měřicí rameno bylo třeba uvažovat při odhadu velikosti tolerančního pole vzhledem k nižší přesnosti ramen oproti portálovému stroji Wenzel odlišnou hodnotu tolerance. Pro první výpočet bylo odhadnuto toleranční pole o rozsahu 0,24 mm, vztaženo na horní a dolní mezní úchytku tedy  $300,0038_{-0,12}^{+0,12}$  mm.

Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	Odchylka od referenční hodnoty $x_r$ [mm]	Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	Odchylka od referenční hodnoty $x_r$ [mm]
1.	300,014	0,0102	12.	300,015	0,0112
2.	300,015	0,0112	13.	300,019	0,0152
3.	300,016	0,0122	14.	300,019	0,0152
4.	300,019	0,0152	15.	300,016	0,0122
5.	300,014	0,0102	16.	300,018	0,0142
6.	300,011	0,0072	17.	300,017	0,0132
7.	300,018	0,0142	18.	300,016	0,0122
8.	300,016	0,0122	19.	300,020	0,0162
9.	300,018	0,0142	20.	300,011	0,0072
10.	300,017	0,0132	21.	300,019	0,0152
11.	300,015	0,0112	-	-	-

Tab. 3-4 – Naměřené hodnoty koncové měřky strojem CimCore

<b>VÝSLEDEK:</b>	
Střední naměřená hodnota:	<b>300.01633</b>
Vypočtená směrodatná odchylka:	<b>0.00250</b>
Index způsobilosti Cg:	<b>3.20427</b>
Index způsobilosti Cgk:	<b>1.53093</b>
<b>Měřidlo je způsobilé!</b>	

Obr. 3-8 – Vyhodnocení pro toleranci  $300,0038_{-0,12}^{+0,12}$  mm [18]

Z vyhodnocení, které lze vidět na obrázku 3-8, je patrné, že pro zvolený rozsah tolerance bylo měřicí rameno vyhodnoceno jako způsobilé. Vzhledem k takovému výsledku po prvním odhadu tolerančního pole bylo třeba toto pole zúžit a výpočet provést znovu. Rozsah tolerančního pole byl tedy snížen na 0,23 mm, což představuje při oboustranném tolerování  $300,0038_{-0,115}^{+0,115}$  mm.

<b>VÝSLEDEK:</b>	
Střední naměřená hodnota:	<b>300.01633</b>
Vypočtená směrodatná odchylka:	<b>0.00250</b>
Index způsobilosti Cg:	<b>3.07076</b>
Index způsobilosti Cgk:	<b>1.39742</b>
<b>Měřidlo je způsobilé!</b>	

Obr. 3-9 – Vyhodnocení pro toleranci  $300,0038_{-0,115}^{+0,115} \text{ mm}$  [18]

I pro tuto toleranci bylo měřidlo vyhodnoceno jako způsobilé. Bylo tedy třeba znovu o 0,01mm snížit rozsah tolerančního pole, tentokrát na 0,22 mm (tj.  $300,0038_{-0,11}^{+0,11} \text{ mm}$ ).

<b>VÝSLEDEK:</b>	
Střední naměřená hodnota:	<b>300.01633</b>
Vypočtená směrodatná odchylka:	<b>0.00250</b>
Index způsobilosti Cg:	<b>2.93724</b>
Index způsobilosti Cgk:	<b>1.26390</b>
<b>Měřidlo není způsobilé!</b>	

Obr. 3-10 – Vyhodnocení pro toleranci  $300,0038_{-0,11}^{+0,11} \text{ mm}$  [18]

Pro tuto hodnotu tolerance platí, že index  $c_{gk} < 1,33$ , a proto měřidlo není způsobilé.

Pro měřicí rameno CimCore je tedy minimální rozsah tolerančního pole, pro které je měřidlo považováno za způsobilé, hodnota z předchozího výpočtu, což je šířka tolerančního pole  $T = 0,23 \text{ mm}$ . Pro měření délkových prvků by tedy v praxi pomocí tohoto stroje nemělo být měřeno v případě, že požadovaná šířka tolerančního pole předepsaná na výkrese je menší než 0,23 mm.

### 3.3 Měření válcového kalibru – vnější průměr

Pro vyhodnocení na obou strojích byla referenční hodnota tohoto kalibru (střední naměřená hodnota při kalibraci)  $x_r = 100,0118$  mm. Tato hodnota je dána kalibračním listem (viz příloha). Konstanta K, která určuje část tolerančního pole potřebnou k následným výpočtům, byla zvolena jako  $K = 0,2$  (20 %).

Na obrázku 3-11 je měřený válcový kalibr  $\varnothing 100H7$ . Tento kalibr je oboustranný, obsahuje tedy dobrou a zmetkovou stranu současně. V praxi lze narazit i na jednostranné kalibry, kde jsou jednotlivé strany kalibrů na oddělených kusech.

Obě varianty těchto kalibrů se využívají pro zjištění a kontrolu, zda je vyrobená díra v určité toleranci (v tomto případě v toleranci H7). Zmetková strana kalibru (s červeným pruhem) má větší průměr, než strana dobrá, a v případě, že projde měřenou dírou, je tato díra vyrobena nad konkrétní toleranci, což znamená, že jde o neopravitelný zmetek.



Obr. 3-11 – Měřený válcový kalibr – vnější průměr [vlastní]

V tomto případě byl kalibr využit jako etalon vnějšího průměru, jehož proměření (a následné vyhodnocení tohoto měření) mělo za úkol přiblížit přesnost obou strojů při měření vnějších průměrů.

Pro toto měření byla využita dobrá strana kalibru. Pro zachování neměnných podmínek při všech měřeních byly jednotlivé průměry měřeny na shodný počet měřicích dotyků, a to konkrétně na 8 dotyků. Tento počet je poměrně nízký z důvodu, že byl volen s ohledem na měření pomocí ramene (nutnost fyzické obsluhy ramene operátorem, časová náročnost). Měření průměrů pomocí stacionárních 3D měřicích strojů se obvykle provádí řádově na desítky, až stovky měřicích dotyků.

### 3.3.1 Vyhodnocení pro stroj Wenzel LHF 3020-40

Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	Odchylka od referenční hodnoty $x_r$ [mm]	Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	Odchylka od referenční hodnoty $x_r$ [mm]
1.	100,0091	0,0027	12.	100,0088	0,0030
2.	100,0091	0,0027	13.	100,0088	0,0030
3.	100,0090	0,0028	14.	100,0089	0,0029
4.	100,0090	0,0028	15.	100,0087	0,0031
5.	100,0090	0,0028	16.	100,0088	0,0030
6.	100,0089	0,0029	17.	100,0086	0,0032
7.	100,0088	0,0030	18.	100,0087	0,0031
8.	100,0089	0,0029	19.	100,0086	0,0032
9.	100,0088	0,0030	20.	100,0086	0,0032
10.	100,0089	0,0029	21.	100,0087	0,0031
11.	100,0088	0,0030	-	-	-

Tab. 3-5 – Naměřené hodnoty vnějšího průměru strojem Wenzel

Aplikací vypočtené hodnoty aritmetického průměru a výběrové směrodatné odchylky:

- aritmetický průměr  $\bar{x}_g = 100,00883$  mm,
- výběrová směrodatná odchylka  $s_g = 0,00015$  mm.

Pro první výpočet byl odhad tolerance stanoven shodně, jako první odhad tolerančního pole pro koncovou měрку na tomto stroji, konkrétně tedy toleranční pole šířky 0,04 mm, což představuje hodnotu  $\emptyset 100,0118_{-0,02}^{+0,02}$  mm.

Aplikací vypočtené hodnoty koeficientů  $c_g$ ,  $c_{gk}$ :

- $c_g = 8,72941$ ,
- $c_{gk} = 2,25510$ .

Měřidlo je způsobilé.

Jelikož bylo měřidlo vyhodnoceno jako způsobilé pro první zkoušený rozsah tolerance, bylo třeba tento rozsah zúžit na 0,03 mm (tj.  $\emptyset 100,0118_{-0,015}^{+0,015}$  mm) a výpočet opakovat.

Aplikací vypočtené hodnoty koeficientů  $c_g$ ,  $c_{gk}$ :

- $c_g = 6,54706$ ,
- $c_{gk} = 0,07275$ .

Měřidlo není pro tento rozsah tolerance způsobilé.

Výsledná šířka tolerančního pole pro měření vnějších průměrů pomocí stroje Wenzel je tedy 0,04 mm.

### 3.3.2 Vyhodnocení pro stroj CimCore 7525

Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	Odchylka od referenční hodnoty $x_r$ [mm]	Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	Odchylka od referenční hodnoty $x_r$ [mm]
1.	100,019	0,007	12.	100,021	0,009
2.	100,020	0,008	13.	100,022	0,010
3.	100,024	0,012	14.	100,025	0,013
4.	100,027	0,015	15.	100,028	0,016
5.	100,025	0,013	16.	100,025	0,013
6.	100,024	0,012	17.	100,029	0,017
7.	100,031	0,019	18.	100,029	0,017
8.	100,030	0,018	19.	100,030	0,018
9.	100,028	0,016	20.	100,031	0,019
10.	100,027	0,015	21.	100,030	0,018
11.	100,024	0,012	-	-	-

Tab. 3-6 – Naměřené hodnoty vnějšího průměru strojem CimCore

Aplikací vypočtené hodnoty aritmetického průměru a výběrové směrodatné odchylky:

- aritmetický průměr  $\bar{x}_g = 100,02614$  mm,
- výběrová směrodatná odchylka  $s_g = 0,00365$  mm.

Tentokrát byl první odhad tolerančního pole zvolen náhodně poblíž hodnoty, která byla vypočtena při řešení koncové měřky, konkrétně na 0,3 mm, což je  $\varnothing 100,0118_{-0,15}^{+0,15}$  mm.

Aplikací vypočtené hodnoty koeficientů  $c_g$ ,  $c_{gk}$ :

- $c_g = 2,73910$ ,
- $c_{gk} = 1,42955$ .

Měřidlo je způsobilé.

Jelikož měřidlo bylo vyhodnoceno jako způsobilé pro první odhadovaný rozsah tolerančního pole, bylo nutné tento rozsah zúžit na 0,29 mm (tj.  $\varnothing 100,0118_{-0,145}^{+0,145}$  mm) a výpočet opakovat.

Aplikací vypočtené hodnoty koeficientů  $c_g$ ,  $c_{gk}$ :

- $c_g = 2,64780$ ,
- $c_{gk} = 1,33825$ .

Měřidlo je způsobilé.

Měřidlo bylo znovu vyhodnoceno jako způsobilé, bylo tedy zapotřebí rozsah tolerančního pole znovu zúžit, tentokrát na 0,28 mm (tj.  $\varnothing 100,0118_{-0,14}^{+0,14}$  mm) a výpočet opakovat.

- $c_g = 2,55650$ ,
- $c_{gk} = 1,24694$ .

Měřidlo pro tento rozsah tolerančního pole nebylo vyhodnoceno jako způsobilé.

Výsledná šířka tolerančního pole pro měření vnějších průměru pomocí ramene je tedy 0,29 mm.

### 3.4 Měření kalibračního kroužku – vnitřní průměr

Pro vyhodnocení na obou strojích byla referenční hodnota tohoto kalibru  $x_r = 100,0147$  mm. Tato hodnota je také dána kalibračním listem (viz příloha), stejně jako u prvního měřeného kalibru. Konstanta  $K$ , která určuje část tolerančního pole potřebnou k následným výpočtům, byla znovu zvolena jako  $K = 0,2$  (20 %).

Na obrázku 3-12 je měřený kalibrační kroužek  $\text{Ø}100\text{H}7$ . Kalibry tohoto typu (někdy také nazývány jako nastavovací kroužky) slouží ke kontrole vnějších průměrů. Kroužky stejně jako kalibry na díry ukazují, zda je kontrolovaný průměr vyroben v požadované toleranci (v tomto případě opět tolerance H7). Společně s dobrými kroužky jsou využívány kroužky zmetkové, které mají menší vnitřní průměr. V případě, že lze zmetkový kroužek snadno nasadit na vyrobený válcový profil, znamená to, že měřený profil má menší průměr, než je daná tolerance a je to tedy neopravitelný zmetek.



Obr. 3-12 – Měřený kalibrační kroužek – vnitřní průměr [vlastní]

V tomto případě byl kroužek využit jako etalon vnitřního průměru, jehož proměření (a následné vyhodnocení tohoto měření) mělo za úkol přiblížit přesnost obou strojů při měření vyrobených děr a otvorů.

Měřený kroužek je kroužek dobrý. Pro zachování neměnných podmínek při všech měřeních byly jednotlivé průměry měřeny na shodný počet měřicích dotyků, a to konkrétně na 8 dotyků. Tento počet byl zvolen ze shodných důvodů jako u prvního kalibru.



### 3.4.1 Vyhodnocení pro stroj Wenzel LHF 3020-40

Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	Odchylka od referenční hodnoty $x_r$ [mm]	Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	Odchylka od referenční hodnoty $x_r$ [mm]
1.	100,0180	0,0033	12.	100,0180	0,0033
2.	100,0178	0,0031	13.	100,0178	0,0031
3.	100,0177	0,0030	14.	100,0180	0,0033
4.	100,0181	0,0034	15.	100,0181	0,0034
5.	100,0181	0,0034	16.	100,0183	0,0036
6.	100,0178	0,0031	17.	100,0182	0,0035
7.	100,0176	0,0029	18.	100,0180	0,0033
8.	100,0177	0,0030	19.	100,0180	0,0033
9.	100,0179	0,0032	20.	100,0181	0,0034
10.	100,0179	0,0032	21.	100,0181	0,0034
11.	100,0180	0,0033	-	-	-

Tab. 3-7 – Naměřené hodnoty vnitřního průměru strojem Wenzel

Aplikací vypočtené hodnoty aritmetického průměru a výběrové směrodatné odchylky:

- aritmetický průměr  $\bar{x}_g = 100,01796$  mm,
- výběrová směrodatná odchylka  $s_g = 0,00018$  mm.

Tentokrát byl pro první výpočet odhad šířky tolerančního pole stanoven na 0,03 mm, což je hodnota  $\emptyset 100,0147_{-0,015}^{+0,015}$  mm.

Aplikací vypočtené hodnoty koeficientů  $c_g$ ,  $c_{gk}$ :

- $c_g = 5,63647$ ,
- $c_{gk} = -0,49207$ .

Měřidlo není způsobilé.

Pro první zvolený rozsah tolerančního pole nebylo měřidlo vyhodnoceno jako způsobilé. Z toho důvodu bylo třeba toleranční pole rozšířit na 0,04 mm, tedy na  $\emptyset 100,0147_{-0,02}^{+0,02}$  mm.

Aplikací vypočtené hodnoty koeficientů  $c_g$ ,  $c_{gk}$ :

- $c_g = 7,51529$ ,
- $c_{gk} = 1,38675$ .

Měřidlo bylo tentokrát vyhodnoceno jako způsobilé. Výsledný rozsah tolerančního pole, pro který je měřidlo způsobilé v případě měření vnitřních průměrů, je 0,04 mm.

### 3.4.2 Vyhodnocení pro stroj CimCore 7525

Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	Odchylka od referenční hodnoty $x_r$ [mm]	Číslo měření	Naměřená hodnota $x_i$ [mm]	Odchylka od referenční hodnoty $x_r$ [mm]
1.	100,000	0,015	12.	100,002	0,013
2.	100,000	0,015	13.	100,004	0,011
3.	100,001	0,014	14.	100,000	0,015
4.	100,006	0,009	15.	100,001	0,014
5.	100,004	0,011	16.	100,002	0,013
6.	100,004	0,011	17.	100,000	0,015
7.	100,000	0,015	18.	100,001	0,014
8.	100,000	0,015	19.	100,005	0,010
9.	100,004	0,011	20.	100,001	0,014
10.	100,001	0,014	21.	100,001	0,014
11.	100,002	0,013	-	-	-

Tab. 3-8 – Naměřené hodnoty vnitřního průměru strojem CimCore

Aplikací vypočtené hodnoty aritmetického průměru a výběrové směrodatné odchylky:

- aritmetický průměr  $\bar{x}_g = 100,00186$  mm,
- výběrová směrodatná odchylka  $s_g = 0,00188$  mm.

První odhad rozsahu tolerančního pole byl stanoven náhodně s ohledem na to, že pro stroj CimCore byly dosavadní dva výsledky od sebe vzdáleny o 0,06 mm. Pro tento výpočet bylo uvažováno toleranční pole šířky 0,2 mm (tj.  $\varnothing 100,0147_{-0,1}^{+0,1}$  mm).

Aplikací vypočtené hodnoty koeficientů  $c_g$ ,  $c_{gk}$ :

- $c_g = 3,54903$ ,
- $c_{gk} = 1,27004$ .

Měřidlo není způsobilé.

Protože měřidlo nebylo vyhodnoceno jako způsobilé, bylo třeba toleranční pole rozšířit na 0,21 mm, což je při oboustranném tolerování hodnota  $\varnothing 100,0147_{-0,105}^{+0,105}$  mm.

Aplikací vypočtené hodnoty koeficientů  $c_g$ ,  $c_{gk}$ :

- $c_g = 3,72648$ ,
- $c_{gk} = 1,44750$ .

Měřidlo je způsobilé.

Výsledná šířka tolerančního pole pro měření vnitřních průměrů je v tomto případě 0,21 mm.

## 4 Zhodnocení

Hlavním cílem výpočetní práce části bylo stanovit minimální rozsahy tolerančních polí, pro které jsou oba měřicí stroje využívané společností Wikov Gear způsobilé měřit. Měřicí rameno CimCore je v Plzni používáno často, zatímco stacionární 3D měřicí stroj Wenzel společnost využívá příležitostně, jelikož tento stroj není na plzeňské pobočce. Důležitějším je tedy zhodnocení použitelnosti stroje CimCore 7525, od kterého se bude odvíjet návrh dalšího řešení.

### 4.1 Souhrn výsledků měření

#### 4.1.1 Výsledky na stroji Wenzel LHF 3020-40

Společnost Wikov Gear si již před provedenými měřeními byla vědoma, že stacionární CNC řízený stroj Wenzel je oproti měřicímu ramenu výrazně přesnější. Vychází to z jeho konstrukce a také z toho, že měření je řízeno programem, čímž je eliminován jakýkoliv zásadnější zásah člověka do průběhu měření. Přesto bylo cílem provedených měření zjistit, pro jaké konkrétní hodnoty tolerancí je tento stroj způsobilý měřit.

Provedená měření přinesla tyto výsledky:

- pro měření délkových prvků je minimální šířka tolerančního pole 0,06 mm,
- pro měření vnějších průměrů je minimální šířka tolerančního pole 0,04 mm,
- pro měření vnitřních průměrů je minimální šířka tolerančního pole 0,04 mm.

Tyto výsledky splnily očekávání společnosti Wikov Gear. Společnost využívá tento stroj, umístěný v partnerské pobočce v Hronově, k proměření přesnějších součástí, či přesnějších prvků, u kterých nelze provést spolehlivé proměření pomocí měřicího ramene, které je používáno v Plzni. Měření pomocí tohoto stroje pro výrobní účely společnosti je tedy vyhodnoceno jako dostačující.

#### 4.1.2 Výsledky na stroji CimCore 7525

Měřicí rameno CimCore je (podle slov hlavního zkušebního technika společnosti Wikov Gear) v každodenním provozu. Vyhodnocení provedených měření pro tento stroj jsou tedy důležitým ukazatelem, vzhledem k objemu jím měřených součástí a měřených prvků.

Provedená měření přinesla tyto výsledky:

- pro měření délkových prvků je minimální šířka tolerančního pole 0,23 mm,
- pro měření vnějších průměrů je minimální šířka tolerančního pole 0,29 mm,
- pro měření vnitřních průměrů je minimální šířka tolerančního pole 0,21 mm.

Měření potvrdila, že měřicí rameno je oproti stroji Wenzel méně přesné. Společnost Wikov Gear si této skutečnosti byla vědoma již před samotným zadáním úkolu, přesto požadovala provést měření, která přinesla konkrétní mezní hodnoty použitelnosti tohoto stroje.

Na základě dosažených výsledků je třeba konstatovat, že pro účely kontroly veškerého výrobního portfolia společnosti je měření tímto strojem z hlediska přesnosti vyhodnoceno jako nedostačující. V závislosti na tom je třeba definovat, pro jaká měření by tento stroj neměl být používán, ale také naopak říci, pro jaká měření je jeho použití dostačující.

Ke kontrole osových vzdáleností na převodových skříních pro rychloběžné, či pomaloběžné převodovky, kde se tolerance těchto osových vzdáleností hřidelí reálně pohybují až v rozmezí od  $\pm 0,02$  mm do  $\pm 0,05$  mm, je měření pomocí ramene CimCore nedostačující, jelikož uvedené měřené tolerance jsou užšího rozsahu, než měřením zjištěná minimální hodnota šířky tolerančního pole tohoto měřidla. Vhodnost pro další typy měření, jako například pro měření vývrtů, či jiných elementů, je třeba posuzovat podle zjištěných mezních šířek tolerančních polí pro jednotlivé druhy měření.

Vzhledem k tomu, jakým druhem výroby se společnost zabývá, je tento stroj mimo jeho přesnost nedostačující také z pohledu rozsahu měření, jelikož jeho maximální rozsah činí pouze 2,5 metru. Pro případnou kontrolu větších rozměrů je tedy nevhodný. Je třeba ale zmínit, že díky nižšímu rozsahu dosahuje rameno nepatrně vyšší přesnosti, než ramena s rozsahem větším.

Rameno je naopak vhodné využívat pro detekci zásadnějších chyb tak, aby se zabránilo dalším možným problémům, např. při montáži převodovek, kde se v praxi již dříve v některých případech odhalily odchylky osových vzdáleností vývrtů v převodových skříních až v řádu milimetrů, či jiné zásadní rozměrové nedostatky.

## 4.2 Návrh řešení

Jelikož společnost Wikov Gear si je plně vědoma, že pro komplexní zajištění měřicích operací je rameno CimCore nevyhovující, řeší proměření u výrobků, jejichž rozměrové parametry jsou tolerovány v užších rozsazích, formou proměření na výše zmiňovaném stroji Wenzel v Hronově, který je z hlediska přesnosti uspokojující, popřípadě u externích firem či dodavatelů, u kterých si společnost nechává některé díly vyrábět.

Pro zvýšení kvality a hlavně zjednodušení, či urychlení měřicích procesů ve společnosti Wikov Gear se jako ideální varianta nabízí dovybavit společnost komplexním měřicím zařízením (CMM), které by pokrylo veškerou potřebu měření společnosti, ať už s ohledem na dosahovanou přesnost, či rozsah měření.

S ohledem na přesnost by nové zařízení mělo být schopné spolehlivě měřit tolerance až  $\pm 0,02$  mm, tj. měřidlo, které disponuje garantovanou přesností o řád vyšší ( $\pm 2\mu\text{m}$ ).

Pro zajištění druhého zmiňovaného parametru by bylo třeba měřicího zařízení, které by svým rozsahem pokrylo veškerou výrobu společnosti, včetně největších dílů a převodových skříní, které jsou v plzeňském závodě vyráběny. Pro splnění této podmínky by měl být rozsah stroje přibližně 3000 x 5000 x 3000 mm.

Proto se společnosti Wikov Gear doporučuje zakoupení nového stacionárního CNC řízeného souřadnicového měřicího stroje (obdoba popisovaného stroje Wenzel) s výše uvedenými parametry. Cílem zakoupení tohoto stroje je zrychlení a zkvalitnění měřicích procesů ve společnosti Wikov Gear.



Obr. 4-1 – Příklad varianty doporučovaného CMM od firmy Hexagon Metrology [26]

### 4.3 Návrh doplňujícího zařízení

Jednou z dalších oblastí pro zlepšení, kterou se společnost Wikov Gear chce zabývat, je možnost urychlení kontroly doplňkových prvků (převážně na vyrobených převodových skříních), u kterých se nepožaduje tak vysoká přesnost, aby pro jejich proměření bylo zapotřebí využití stacionárního CMM. Touto oblastí se tato práce dosud nezabývala, jelikož není pro společnost tak stěžejním tématem, jako výše řešená oblast přesného měření. Přesto je velmi zajímavou informací a nastíněním možných variant pro zlepšení a urychlení měření v oblasti kontroly méně přesných prvků.

Těmito prvky na převodových skříních jsou například:

- žebra (výztuhy) převodových skříní,
- díry pro různá víčka,
- díry pro spojovací šrouby,
- nálitky (výpustě) pro olej.

Poloha a parametry všech těchto prvků jsou v současné době kontrolovány manuálně za pomoci tradičních měřidel, jako jsou např. posuvná měřítka, nebo mikrometry. Kontrola pomocí zmiňovaných měřidel je vzhledem k počtu těchto prvků, či jejich umístění na konkrétní převodové skříně, relativně dlouhá a pracná záležitost.

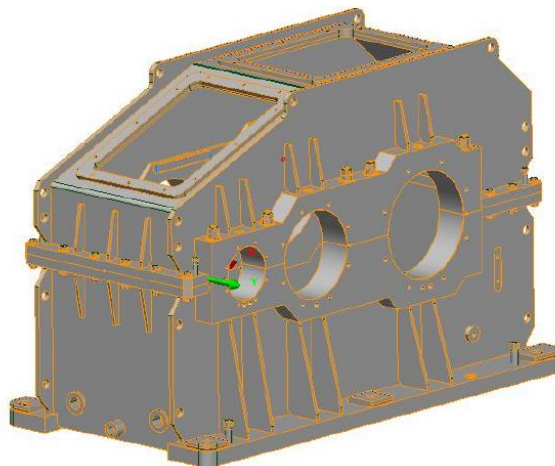
V praxi je kontrola takovýchto prvků velmi důležitá. V případě absence, nebo zásadnější odchylky od výrobního výkresu u některého z těchto prvků by mohlo nastat, že by se tyto nedostatky staly při montáži zásadními, složenou převodovku by bylo nutné rozebrat a skříně by bylo v takovém případě nezbytné opravit, což by celý proces montáže značně prodloužilo.

Vzhledem k tomu, že převodové skříně jsou podle četnosti výroby obvykle odlitky, nebo svařence, u kterých se tolerance v závislosti na velikosti skříně pohybují až v řádech milimetrů, může nastat situace (již dříve nastalo), kdy např. některé z žeber, které slouží jako výztuha skříně, může nepatrně zasahovat do trajektorie některého z ozubených kol převodovky a při jejím následném spuštění by tak toto žebro zasahovalo do jejího chodu.

V takovém případě by bylo nutné žebro opravit tak, aby nebránilo plynulému chodu převodovky.

Pro účely této kontrolní činnosti by bylo vhodné využít např. měření (snímání) pomocí skenování. Společnost Wikov Gear si je vědoma toho, že skenování je oproti dotykovému měření pomocí CMM méně přesné, ale pro kontrolu výše zmiňovaných prvků by tato forma snímání byla plně dostačující.

Kontrola všech prvků, u kterých je podle výrobního výkresu vyžadována vyšší přesnost (průměry vývrtů pro hřídele, osové vzdálenosti apod.), by byla nadále prováděna pomocí některého ze stacionárních dotykových CMM (nově zakoupený stacionární CMM, stroj Wenzel v Hronově, proměření u externí firmy), případně na měřicím rameni, pokud by svojí přesností odpovídalo měřeným prvkům.



Obr. 4-2 – Naskenovaná převodová skříň [19]

Skenováním by byla zajištěna přibližná kontrola převodové skříňe, zahrnující:

- kontrolu úplnosti skříňe - zda skříň obsahuje všechny prvky, které jsou na výrobním výkrese - možnost snadného porovnání naskenované skříňe s 3D modelem od konstruktéra,
- kontrolu umístění doplňkových prvků (žebra, nálitky, díry pro víčka) – prvky, které nejsou tolerovány v takové přesnosti, jako funkční prvky mechanismu převodovky (např. správné umístění žebor vůči pohybujícím se částem převodovky, detekce hrubých chyb v umístění ostatních doplňkových prvků apod.).

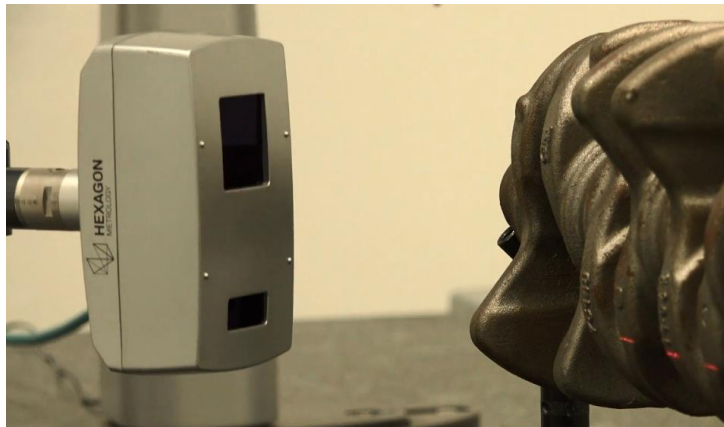
Skenování skříňe by mělo tuto hrubou kontrolu oproti manuální kontrole usnadnit a hlavně urychlit (odhad společnosti je zkrácení kontroly na přibližně polovinu stávajícího času, či dokonce méně). Pracovník kontroly by po naskenování byl povinen manuálně zkontrolovat pouze takové prvky, které proces skenování nezachytí, jako např. závity a jejich hloubky v dírách.

Pro tento typ měření lze uvažovat více variant zařízení, která by splňovala výše uvedené požadavky. Jsou to například:

- a) Laserová snímací hlava na doporučený stacionární CMM,
- b) Laser tracker (Leica Absolute Tracker),
- c) Měřicí rameno s integrovaným skenerem.

a) Laserová snímací hlava na doporučený stacionární CMM

Zřejmě nejjednodušší a nejpraktičtější variantou pro požadovanou kontrolu by bylo pořízení laserové snímací hlavy, která by byla plně kompatibilní se stacionárním strojem doporučeným společností Wikov Gear k zakoupení. Měření takovým způsobem by bylo programováno obdobně, jako je tomu u dotykového snímání. Výhodou této varianty je, že by nebylo nutné pořizovat další samostatný skenovací stroj, ale pouze tuto komponentu, která by se k měření nainstalovala namísto dotykové sondy. Společně s laserovou hlavou by bylo třeba zakoupit příslušný software pro daný CMM a daný snímač. Tato varianta by zaručila dostatečný rozsah měření (shodný s rozsahem daného CMM) a dostačující přesnost pro zjišťované parametry (až v řádu několika setin mm). Pro požadované měření je tato varianta plně vyhovující.



Obr. 4-3 – Laserová snímací hlava od firmy Hexagon Manufacturing Intelligence [23]

b) Laser tracker (Leica Absolute Tracker)

Další variantou skenování je kontrola pomocí tzv. laser trackeru, konkrétně využití stroje typu Leica Absolute Tracker od firmy Hexagon Manufacturing Intelligence, což je stroj pro velkoobjemové měření v řádu až desítek metrů. [25]

Stroj Leica se skládá ze samostatné snímací optické hlavičky, která zajišťuje snímání bodů na měřené součásti, a kontroléru, který je obvykle usazen ve stojanu a je pevně umístěn v měřicím prostoru. Systém propojení mezi optickou hlavičkou a kontrolérem spočívá v nepřetržitém sledování polohy snímací optické hlavičky laserovým paprskem, vycházejícím z hlavičky kontroléru. Snímací hlavičku drží pracovník kontroly v ruce a postupně s ní obchází měřenou součást tak, aby bylo možné proměřit všechny požadované oblasti na součásti. [25]



Obr. 4-4 – Kontrolér laser trackeru od firmy Hexagon Manufacturing Intelligence [25]

Existuje několik typů snímacích hlavic, které zajišťují přenos naměřených bodů do počítačové podoby. Pro výše požadovaný druh měření by bylo nejvýhodnější využití skenovací hlavičky fungující obdobně, jako navržená laserová snímací hlava pro CMM, jejíž pomocí by bylo možné snadno a relativně rychle naskenovat měřenou součást. Pro stroj Leica také existují hlavičky s dotykovým zakončením, popř. sonda s koutovým odražečem, které by bylo možné využít u jiných přesnějších aplikací, než je kontrola doplňkových prvků. [25]



Obr. 4-5 – Laserová snímací hlavička laser trackeru [25]

Přenos naměřených bodů do příslušného softwaru funguje obvykle prostřednictvím Wi-Fi. Propojení snímací hlavičky s kontrolérem je zajištěno kabelově, což je možno vidět na obrázku 4-6. [24]

Při použití tohoto stroje je výhodou jeho velký rozsah a jednoduchost použití. Dosahovaná přesnost tohoto měření je pro požadovanou kontrolu plně dostačující. Nevýhodou této varianty je vyšší pořizovací cena stroje. Pro požadovanou kontrolu by tato varianta byla plně vyhovující.



Obr. 4-6 – Ukázka měření pomocí laser trackeru Leica Absolute Tracker [25]



c) Měřicí rameno s integrovaným skenerem

Další skenovací zařízení, které by bylo možné pro danou kontrolu využít, je měřicí rameno s integrovaným skenerem. Tento stroj obsahuje zakončení ve formě snímací hlavičky, která mimo dotykové sondy obsahuje také integrovaný skener, s jehož pomocí by se požadovaná kontrola dala také provádět. Nevýhodou tohoto stroje je ovšem jeho omezený rozsah a také nižší přesnost měření oproti oběma výše uvedeným variantám. Výhodou této varianty je nižší pořizovací cena. [21]

Na obrázku 4-7 lze vidět rameno od stejného výrobce, jako měřicí rameno, které se již ve společnosti Wikov Gear používá, konkrétně tedy rameno ROMER Absolute Arm s integrovaným skenerem od firmy Hexagon Manufacturing Intelligence. Tato firma nabízí ramena ve variantách rozsahu 2 – 4,5 metru. Vzhledem k požadovaným rozměrům s ohledem na výrobu společnosti Wikov Gear by pro aplikaci tohoto měření na všechny výrobky bylo potřeba zakoupení měřicího ramene na horní hranici rozsahu. Při takovéto variantě ovšem již nemusí být obsluha ramene tak snadnou záležitostí, jako u rozsahů nižších. I přesto by byla tato varianta pro požadované kontrolní měření dostačující. [21]



Obr. 4-7 – Ukázka měření ramenem ROMER Absolute Arm s integrovaným skenerem [20]

## 5 Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo zhodnotit a porovnat 3D měřicí zařízení, která využívá společnost Wikov Gear. V úvodu práce byla tato společnost představena a následně byly stručně popsány souřadnicové měřicí stroje, jejich druhy, stavba a použití v průmyslové praxi.

Ve výpočetní části práce byly pomocí metody způsobilosti měřidla vypočteny minimální rozsahy tolerančních polí, pro které lze vyšetřovaná měřidla považovat za způsobilá a spolehlivá pro jednotlivé typy měření, konkrétně pro měření délkových rozměrů, vnitřních a také vnějších průměrů.

Výsledky stroje Wenzel 3020-40 byly v rámci očekávání společnosti uspokojivé. Tento stroj je pro využití měření této společnosti dostačující. Naopak výsledky pro měřicí rameno CimCore 7525 dostatečně uspokojivé nebyly. Měření prokázala, že tento přístroj nemusí být při proměřování přesněji tolerovaných dílů dostatečně spolehlivý, a proto se společností Wikov Gear doporučuje pořízení nového CNC řízeného stacionárního stroje s dostatečnou přesností měření a vyšším měřicím rozsahem, typově podobného stroji Wenzel, který není umístěn v plzeňské pobočce, proto není možné ho využívat dostatečně často.

Pomocí nově pořízeného měřicího stroje by bylo možné provádět měření veškerého výrobního portfolia společnosti v rámci plzeňské pobočky. Nebylo by tedy nutné nechávat proměřovat některé výrobky externími společnostmi, případně na stroji Wenzel v Hronově. Pořízení výše popisovaného stroje, současně s vytvořením izolovaných prostor, ve kterých by bylo možné na stroji měřit v neměnných laboratorních podmínkách, je bezpochyby nemalou investicí, ale rozhodně se do budoucna tento krok vyplatí.

Dále bylo společnosti Wikov Gear navrženo pořízení doplňkového skenovacího zařízení pro detekci hrubých odchylek a kontrolu doplňkových prvků, vyrobených převážně na převodových skříních. V rámci návrhu byly doporučeny tři varianty skenovacích zařízení. Technologie skenování prozatím nedosahuje takových přesností, jako souřadnicové měřicí stroje fungující na dotykovém principu, ale pro orientační kontrolu by navrhovaná zařízení plně dostačovala. Zároveň by použití skenovacího zařízení nepochybně přineslo zrychlení oproti současné kontrole, která je prováděna pomocí konvenčních mechanických měřidel.

Pořízení tohoto zařízení by bylo ve srovnání se zakoupením výše zmiňovaného programem řízeného CMM méně nákladným krokem. Jeho využívání by mohlo napomoci předejít případným potížím při montáži převodovky, nebo při jejím následném zkušebním provozu. Proto by se tato investice společnosti Wikov Gear rozhodně vyplatila.

## Seznam použité literatury a další zdroje

- [1] *Wikov* [online]. [cit. 2017-10-28]. Dostupné z: <https://www.wikov.com/cs/>
- [2] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1209-6.
- [3] *Primus Bridge type machine by Mora Metrology* [online]. [cit. 2017-11-28]. Dostupné z: <https://www.mora-metrology.de/en/products/bridge-type-machines/primus/>
- [4] *SOUŘADNICOVÉ MĚŘÍCÍ STROJE* [online]. [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:2522>
- [5] DOLÁK, David. *Rešerše souřadnicových měřících strojů CMM a měřících ramen CMMs* [online]. Brno, 2010 [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=30059](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30059). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojírenského inženýrství.
- [6] *CMM Solutions* [online]. [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: <http://www.cmm-solutions.co.uk>
- [7] *History of CMM* [online]. [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: <http://www.wenzel-cmm.co.uk/history-of-cmm/118>
- [8] *CIMCORE ARM overview flyer - CimCore - PDF Catalogue* [online]. [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: <http://pdf.directindustry.com/pdf/cimcore/cimcore-arm-overview-flyer/5158-517419.html>
- [9] *ROMER Absolute Arm - CMM Inc.* [online]. [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: <https://www.cmmxyz.com/romer-absolute-arm-cmm.html>
- [10] *New multisensor probe for advanced portable arm CMMs* [online]. [cit. 2017-11-28]. Dostupné z: <http://www.renishaw.com/en/new-multisensor-probe-for-advanced-portable-arm-cmms--9231>
- [11] *ROMER Absolute Arm / Hexagon Manufacturing Intelligence* [online]. [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <http://www.hexagonmi.com/cs-CZ/products/portable-measuring-arms/romer-absolute-arm>
- [12] *Datenblatt LHF Standard\_Premium* [online]. [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: [http://www.ems-benelux.com/wp-content/uploads/2012/02/WENZEL-Technical-Data-Sheet-LHF-Standard\\_Premium\\_Premium-Select.pdf](http://www.ems-benelux.com/wp-content/uploads/2012/02/WENZEL-Technical-Data-Sheet-LHF-Standard_Premium_Premium-Select.pdf)
- [13] *Pernikar VUTBR* [online]. [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: [http://gps.fme.vutbr.cz/STAH\\_INFO/31\\_Pernikar\\_VUTBR.pdf](http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/31_Pernikar_VUTBR.pdf)
- [14] *Validace metod / EffiChem.cz* [online]. [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <http://www.effichem.cz/produkty/effivaldation-4-0/moduly/validace-metod/>

- [15] *Vyšetřování způsobilosti měřidla "Metoda SPC-Ford" / TŘEŠTÍK* [online]. [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <http://www.trestik.cz/msa-spc-ford>
- [16] *Vyhodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření*[online]. [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: [www.elearn.vsb.cz/archivcd/FMMI/MJ/Animace/Animace%2013%20-%20MSA.pps](http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FMMI/MJ/Animace/Animace%2013%20-%20MSA.pps)
- [17] HRDLIČKA, Martin. *Hodnocení přesnosti a způsobilosti souřadnicového stroje PIONEER DEA* [online]. Brno, 2015 [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=103032](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=103032). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [18] *Firma TŘEŠTÍK* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <http://www.trestik.cz>
- [19] Dokumentace poskytnutá společností Wikov Gear s.r.o.
- [20] *Portable 3D measuring arm / with integrated laser scanner* [online]. [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/hexagon-manufacturing-intelligence/product-5623-567470.html>
- [21] Dokumentace poskytnutá společností Hexagon Manufacturing Intelligence (Hexagon-MI-ROMER-Absolute-Arm-Brochure)
- [22] *Nikon InSight L100, the ultimate CMM laser scanner combining productivity and accuracy* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.sariki.es/en/nikon-insight-l100-the-ultimate-cmm-laser-scanner-combining-productivity-and-accuracy/>
- [23] *HP-L-10.6 Laser Scanning Sensor: Hexagon Manufacturing Intelligence* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.hexagonmi.com/products/coordinate-measuring-machines/cmm-sensors/non-contact-sensors/hpl-laser-scanning-sensor>
- [24] *Co je laser tracker* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: [http://www.topmes.cz/download/?filename=17w9j1g4\\_files%2F09\\_co\\_je\\_laser\\_tracker.pdf&downloadName=Co+je+laser+tracker](http://www.topmes.cz/download/?filename=17w9j1g4_files%2F09_co_je_laser_tracker.pdf&downloadName=Co+je+laser+tracker)
- [25] *Leica Absolute Tracker AT960: Hexagon Manufacturing Intelligence* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.hexagonmi.com/cs-CZ/products/laser-tracker-systems/leica-absolute-tracker-at960>
- [26] *Coordinate Measuring Machines (CMM) Information*[online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: [https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing\\_process\\_equipment/inspection\\_tools\\_instruments/coordinate\\_measuring\\_machines\\_cmm](https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/inspection_tools_instruments/coordinate_measuring_machines_cmm)
- [27] *Renishaw - "YpaH"* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://uran-spb.ru/equipment/renishaw>

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1 – Protokol z měření koncové měrky na stroji Wenzel LHF 3020-40


Příloha č. 2 – Protokol z měření koncové měrky na stroji CimCore 7525

Příloha č. 3 – Kalibrační list válcového kalibru Ø100H7

Příloha č. 4 – Kalibrační list kalibračního kroužku Ø100H7

## **PŘÍLOHA č. 1**

**Protokol z měření koncové měrky na stroji Wenzel LHF 3020-40**

<b>Inspection Report</b> 	<b>WIKOV MGI a.s.</b> Zbečnick 356 CZ-549 31 Hronov www.wikov.com mgiwenzel@wikov.com
Workpiece: 1 / Drawing: Comment: CAD: Measurement: <b>5 / kostka 300mm</b> Date: <b>30.01.18 0:07:40</b> User: <b>M.Radoň</b>	
Mereno na stroji Wenzel LHF 3020-40. Presnost stroje dle ISO10360-2 MPEe=6.0+L/300 (0,001mm) Na Deviations report No.: Protokol No.:	

č.	Prvek Charakteristika	č.	Reference TP		Rozsah	Jméno		Vyžití tolerance
			Pracovní délka	TP		Jméno	Jméno	
	Nominální hodnota	Tol.	Horní tolerance	Do ní tolerance	Aktuální hodnota	Odchyška		
10	Rovina, Sejmuto	2	--	4	0.0001			
	Rovina, Sejmuto	1	--	4	0.0002			
5	Vzdálenost rovina - rovina [r]							
	r 300.0000		0.5000	-0.5000	r 300.0091	r 0.0091	2%	----.*----
11	Rovina, Sejmuto	4	--	4	0.0003			
	Rovina, Sejmuto	3	--	4	0.0001			
5	Vzdálenost rovina - rovina [r]							
	r 300.0000		0.5000	-0.5000	r 300.0090	r 0.0090	2%	----.*----
12	Rovina, Sejmuto	6	--	4	0.0002			
	Rovina, Sejmuto	5	--	4	0.0002			
5	Vzdálenost rovina - rovina [r]							
	r 300.0000		0.5000	-0.5000	r 300.0092	r 0.0092	2%	----.*----
13	Rovina, Sejmuto	8	--	4	0.0002			
	Rovina, Sejmuto	7	--	4	0.0000			
5	Vzdálenost rovina - rovina [r]							
	r 300.0000		0.5000	-0.5000	r 300.0090	r 0.0090	2%	----.*----
14	Rovina, Sejmuto	10	--	4	0.0002			
	Rovina, Sejmuto	9	--	4	0.0000			
5	Vzdálenost rovina - rovina [r]							
	r 300.0000		0.5000	-0.5000	r 300.0090	r 0.0090	2%	----.*----
15	Rovina, Sejmuto	12	--	4	0.0001			
	Rovina, Sejmuto	11	--	4	0.0000			
5	Vzdálenost rovina - rovina [r]							
	r 300.0000		0.5000	-0.5000	r 300.0088	r 0.0088	2%	----.*----
16	Rovina, Sejmuto	14	--	4	0.0002			
	Rovina, Sejmuto	13	--	4	0.0000			
5	Vzdálenost rovina - rovina [r]							
	r 300.0000		0.5000	-0.5000	r 300.0089	r 0.0089	2%	----.*----
17	Rovina, Sejmuto	16	--	4	0.0001			
	Rovina, Sejmuto	15	--	4	0.0000			
5	Vzdálenost rovina - rovina [r]							
	r 300.0000		0.5000	-0.5000	r 300.0088	r 0.0088	2%	----.*----
18	Rovina, Sejmuto	18	--	4	0.0001			
	Rovina, Sejmuto	17	--	4	0.0003			
5	Vzdálenost rovina - rovina [r]							
	r 300.0000		0.5000	-0.5000	r 300.0086	r 0.0086	2%	----.*----

č.	Prvek			č.	Reference TP		Rozsah	Jméno	
	Nominální hodnota	Tol.	Horní tolerance		Pracovní délka	Dolní tolerance		Aktuální hodnota	Odchylka
	Rovina, Sejmuto			20	--	4	0.0002		
	Rovina, Sejmuto			19	--	4	0.0001		
19	Vzdálenost rovina - rovina [r]								
5	r 300.0000		0.5000		-0.5000	r 300.0087	r 0.0087	2%	-----.*----
	Rovina, Sejmuto			22	--	4	0.0003		
	Rovina, Sejmuto			21	--	4	0.0001		
20	Vzdálenost rovina - rovina [r]								
5	r 300.0000		0.5000		-0.5000	r 300.0091	r 0.0091	2%	-----.*----
	Rovina, Sejmuto			24	--	4	0.0003		
	Rovina, Sejmuto			23	--	4	0.0002		
21	Vzdálenost rovina - rovina [r]								
5	r 300.0000		0.5000		-0.5000	r 300.0089	r 0.0089	2%	-----.*----
	Rovina, Sejmuto			26	--	4	0.0000		
	Rovina, Sejmuto			25	--	4	0.0001		
22	Vzdálenost rovina - rovina [r]								
5	r 300.0000		0.5000		-0.5000	r 300.0089	r 0.0089	2%	-----.*----
	Rovina, Sejmuto			28	--	4	0.0002		
	Rovina, Sejmuto			27	--	4	0.0001		
23	Vzdálenost rovina - rovina [r]								
5	r 300.0000		0.5000		-0.5000	r 300.0091	r 0.0091	2%	-----.*----
	Rovina, Sejmuto			30	--	4	0.0001		
	Rovina, Sejmuto			29	--	4	0.0002		
24	Vzdálenost rovina - rovina [r]								
5	r 300.0000		0.5000		-0.5000	r 300.0089	r 0.0089	2%	-----.*----
	Rovina, Sejmuto			32	--	4	0.0001		
	Rovina, Sejmuto			31	--	4	0.0002		
25	Vzdálenost rovina - rovina [r]								
5	r 300.0000		0.5000		-0.5000	r 300.0091	r 0.0091	2%	-----.*----
	Rovina, Sejmuto			34	--	4	0.0000		
	Rovina, Sejmuto			33	--	4	0.0001		
26	Vzdálenost rovina - rovina [r]								
5	r 300.0000		0.5000		-0.5000	r 300.0090	r 0.0090	2%	-----.*----
	Rovina, Sejmuto			36	--	4	0.0000		
	Rovina, Sejmuto			35	--	4	0.0001		
27	Vzdálenost rovina - rovina [r]								
5	r 300.0000		0.5000		-0.5000	r 300.0088	r 0.0088	2%	-----.*----
	Rovina, Sejmuto			38	--	4	0.0001		
	Rovina, Sejmuto			37	--	4	0.0001		
28	Vzdálenost rovina - rovina [r]								
5	r 300.0000		0.5000		-0.5000	r 300.0087	r 0.0087	2%	-----.*----
	Rovina, Sejmuto			40	--	4	0.0001		
	Rovina, Sejmuto			39	--	4	0.0004		
29	Vzdálenost rovina - rovina [r]								
5	r 300.0000		0.5000		-0.5000	r 300.0085	r 0.0085	2%	-----.*----
	Rovina, Sejmuto			42	--	4	0.0000		
	Rovina, Sejmuto			41	--	4	0.0000		
30	Vzdálenost rovina - rovina [r]								
5	r 300.0000		0.5000		-0.5000	r 300.0086	r 0.0086	2%	-----.*----



## **PŘÍLOHA č. 2**

**Protokol z měření koncové měrky na stroji CimCore 7525**



# WIKOV

Project

## Wikov Gear s.r.o.

Tylova 1/57  
316 00 PLZEN  
Czech Republic

Telephone: +420377177110  
Fax: +420377177119

E-mail: [gear@wikov.com](mailto:gear@wikov.com)  
Web Site: <http://www.wikov.com>

Customer	Inspector	<b>Šnajdr</b>
Description	<b>block gauge 300 mm</b>	
Part No.	Customer contact	
Drawing number	Customer phone No.	
Datum	Customer fax No.	
	Report Type	
<b>Measure: Hlavní součást</b>		

### Skupina geometrie 1

#### Vzdálenost dvou rovin 1 (References: *Plocha 1, Plocha 2*)

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
<b>Vzdálenost</b>	0,028	-0,028	-300,000	-300,014	-0,014	-

#### Vzdálenost dvou rovin 2 (References: *Plocha 3, Plocha 4*)

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
<b>Vzdálenost</b>	0,028	-0,028	-300,000	-300,015	-0,015	-

#### Vzdálenost dvou rovin 3 (References: *Plocha 5, Plocha 6*)

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
<b>Vzdálenost</b>	0,028	-0,028	-300,000	-300,016	-0,016	-

#### Vzdálenost dvou rovin 4 (References: *Plocha 7, Plocha 8*)

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
<b>Vzdálenost</b>	0,028	-0,028	-300,000	-300,019	-0,019	-

#### Vzdálenost dvou rovin 5 (References: *Plocha 9, Plocha 10*)

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
<b>Vzdálenost</b>	0,028	-0,028	-300,000	-300,014	-0,014	-

#### Vzdálenost dvou rovin 6 (References: *Plocha 11, Plocha 12*)

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
<b>Vzdálenost</b>	0,028	-0,028	-300,000	-300,011	-0,011	-

#### Vzdálenost dvou rovin 7 (References: *Plocha 13, Plocha 14*)

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
<b>Vzdálenost</b>	0,028	-0,028	-300,000	-300,018	-0,018	-

#### Vzdálenost dvou rovin 8 (References: *Plocha 15, Plocha 16*)

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
<b>Vzdálenost</b>	0,028	-0,028	-300,000	-300,016	-0,016	-

#### Vzdálenost dvou rovin 9 (References: *Plocha 17, Plocha 18*)

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
<b>Vzdálenost</b>	0,028	-0,028	-300,000	-300,018	-0,018	-

## Skupina geometrie 1

**Vzdálenost dvou rovin 10 (References: Plocha 19, Plocha 20)**

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
Vzdálenost	0,028	-0,028	-300,000	-300,017	-0,017	-

**Vzdálenost dvou rovin 11 (References: Plocha 21, Plocha 22)**

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
Vzdálenost	0,028	-0,028	-300,000	-300,015	-0,015	-

**Vzdálenost dvou rovin 12 (References: Plocha 23, Plocha 24)**

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
Vzdálenost	0,028	-0,028	-300,000	-300,015	-0,015	-

**Vzdálenost dvou rovin 13 (References: Plocha 25, Plocha 26)**

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
Vzdálenost	0,028	-0,028	-300,000	-300,019	-0,019	-

**Vzdálenost dvou rovin 14 (References: Plocha 27, Plocha 28)**

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
Vzdálenost	0,028	-0,028	-300,000	-300,019	-0,019	-

**Vzdálenost dvou rovin 15 (References: Plocha 29, Plocha 30)**

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
Vzdálenost	0,028	-0,028	-300,000	-300,016	-0,016	-

**Vzdálenost dvou rovin 16 (References: Plocha 31, Plocha 32)**

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
Vzdálenost	0,028	-0,028	-300,000	-300,018	-0,018	-

**Vzdálenost dvou rovin 17 (References: Plocha 33, Plocha 34)**

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
Vzdálenost	0,028	-0,028	-300,000	-300,017	-0,017	-

**Vzdálenost dvou rovin 18 (References: Plocha 35, Plocha 36)**

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
Vzdálenost	0,028	-0,028	-300,000	-300,016	-0,016	-

**Vzdálenost dvou rovin 19 (References: Plocha 37, Plocha 38)**

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
Vzdálenost	0,028	-0,028	-300,000	-300,020	-0,020	-

**Vzdálenost dvou rovin 20 (References: Plocha 39, Plocha 40)**

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
Vzdálenost	0,028	-0,028	-300,000	-300,011	-0,011	-

**Vzdálenost dvou rovin 21 (References: Plocha 41, Plocha 42)**

	Hi-Tol	Lo-Tol	Nominal	Measured	Deviation	Error
Vzdálenost	0,028	-0,028	-300,000	-300,019	-0,019	-

Number of controlled parts

Inspector's name

Šnajdr

## **PŘÍLOHA č. 3**

**Kalibrační list válcového kalibru Ø100H7**

<b>Zákazník:</b>	<i>Jméno:</i>	<b>Wikov Gear s.r.o.</b>		
	<i>Adresa:</i>	Tylova 1/57, 316 00 Plzeň		
<b>Předmět kalibrace:</b>	<i>Název:</i>	<b>Mezní válečkový kalibr 100H7</b>		
	<i>Evidenční číslo:</i>	Mt 100 H7	<i>Typ:</i>	Oboustranný D/Z
	<i>Výrobní číslo:</i>	-	<i>Výrobce:</i>	-
<b>Datum přijetí předmětu kalibrace:</b>		23.3.2018	<b>Kalibroval:</b>	Tomáš Jindáček
<b>Datum provedení kalibrace:</b>		26.3.2018		Ing. Richard Silovský
<b>Způsob kalibrace:</b>	<i>Metodický předpis:</i>	KALP-KL/55/104	<b>Teplota:</b>	(20,0 ± 0,5) °C
	<i>Kalibrační zařízení:</i>	KZ 8 délkoměr TRIMOS LABC1000B		
	<i>Navazující etalon:</i>	E2 v.č. 3996 Koncové měrky		
<b>Místo provedení kalibrace:</b>	Kalibrační laboratoř - Laboratoř délky a úhlu; Domažlická 2928/3; 301 00 Plzeň			

**Výsledek kalibrace:**

100H7 Strana dobrá:	Tolerance průměru válečkového kalibru podle ČSN ISO 286	<input checked="" type="checkbox"/> Výrobní tolerance	Střední naměřená hodnota mm	Nejistota měření mm
Horní výrobní mez:	100,0080		100,0118	± 0,0013
Dolní výrobní mez:	100,0020			
Mez opotřebení:	99,9960			

100H7 Strana zmetková	Tolerance míry válečkového kalibru podle ČSN ISO 286	<input checked="" type="checkbox"/> Výrobní tolerance	Střední naměřená hodnota mm	Nejistota měření mm
Horní výrobní mez:	100,0380		100,0472	± 0,0019
Dolní výrobní mez:	100,0320			

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.

Ing. Richard Silovský  
vedoucí Laboratoře délky a úhlu

**Datum vystavení:** 27.3.2018



Bez souhlasu lze kalibrační list reprodukovat výhradně jen jako celek.

Uvedené výsledky kalibrovaného předmětu se vztahují jen k datu a místu provedení kalibrace.

**Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o.**

Kalibrační laboratoř - Laboratoř délky a úhlu, Tylova 1581/46, 301 00 Plzeň, Česká republika  
tel.: +420 371 430 770, mobil: +420 730 803 413, e-mail: silovsky@vzuplzen.cz, www.vzuplzen.cz  
PRO-A5501-6 / S10



## **PŘÍLOHA č. 4**

**Kalibrační list kalibračního kroužku Ø100H7**

<b>Zákazník:</b>	<i>Jméno:</i>	Wikov Gear s.r.o.	
	<i>Adresa:</i>	Tylova 1/57, 316 00 Plzeň	
<b>Předmět kalibrace:</b>	<i>Název:</i>	Nastavovací kroužek 100 H7 mm	
	<i>Evidenční číslo:</i>	Mk 100 JD	<i>Typ:</i> -
	<i>Výrobní číslo:</i>	-	<i>Výrobce:</i> Škoda
<b>Datum přijetí předmětu kalibrace:</b>		23.3.2018	<b>Kalibroval:</b> Ing. Richard Silovský
<b>Datum provedení kalibrace:</b>		23.3.2018	
<b>Způsob kalibrace:</b>	<i>Metodický předpis:</i>	KALP-KL/55/102	<i>Teplota prostředí:</i> (20,0 ± 0,5) °C
	<i>Kalibrační zařízení:</i>	KZ 3 délkoměr SIP 1002 M, KZ 5 kruhoměr Talycenta	
	<i>Navazující etalon:</i>	E2 výr.č. 3996, E4 výr.č. 40341, E5 výr.č. N537, E8 výr.č. P72; PE 9	
<b>Místo provedení kalibrace:</b>	Kalibrační laboratoř - Laboratoř délky a úhlu; Domažlická 2928/3; 301 00 Plzeň		
<b>Výsledek kalibrace:</b>			

Parametr	Vyznačená hodnota	Naměřená hodnota	Nejistota kalibrace
Průměr kroužku	100 H7	100,0147	± 0,0023
Úchylka kruhovitosti	-	0,0056	± 0,0008

Hodnoty v mm

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.

Ing. Richard Silovský  
vedoucí Laboratoře délky a úhlu

Datum vystavení: 23.3.2018



Bez souhlasu lze kalibrační list reprodukovat výhradně jen jako celek.

Uvedené výsledky kalibrovaného předmětu se vztahují jen k datu a místu provedení kalibrace.

Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o.

Kalibrační laboratoř - Laboratoř délky a úhlu, Tylova 1581/46, 301 00 Plzeň, Česká republika  
tel.: +420 371 430 770, mobil: +420 730 803 413, e-mail: silovsky@vzuplzen.cz, www.vzuplzen.cz

PRO-A5501-6 / S10

