

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Akademický rok 2013/2014

Ondřej JANDA

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2341 Strojírenství  
Studijní zaměření: Zabezpečování jakosti

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Využití metody MSA v běžném strojírenském podniku

Autor: **Ondřej JANDA**

Vedoucí práce: **Ing. Lukáš BEBR**

Akademický rok 2013/2014

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Lukášovi Bebrovi, za cenné rady při řešení problémů analýzy MSA. Dále konzultantovi ze Strojírny Vimperk spol. s.r.o. Ing. Janu Šmrhovi, Ph.D. a metrologovi Alešovi Machovi, za odborné rady z praxe.

## **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**

## **Autorská práva**

Podle Zákona o právu autorském č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně – technických poznatků nebo jakéhokoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Janda	Jméno Ondřej	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B2341 „Zabezpečování jakosti“		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Bebr	Jméno Lukáš	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>DRUH PRÁCE</b>	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Využití metody MSA v běžném strojírenském podniku		

<b>FAKULTA</b>	Strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	62	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	52	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Bakalářská práce obsahuje analýzu systému měření na vybrané součásti, která se ve vybraném podniku obrábí. Cílem práce je zjistit, zda systém měření vyhovuje a zda se jedná o přijatelný systém měření. V opačném případě navrhnout opatření pro zlepšení procesu měření.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	MSA, opakovatelnost, reprodukovatelnost, rozlišitelnost, měřidlo, měření, nejistota měření, číselníkový úchylkoměr, posuvné měřítko, hloubkoměr, variabilita, metoda průměru a rozpětí

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Janda	Name Ondřej
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2341 "Quality Control"	
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Bebr	Name Lukáš
<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>	Application of MSA method in common engineering company	

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KTO	<b>SUBMITTED IN</b>	2014
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	62	<b>TEXT PART</b>	52	<b>GRAPHICAL PART</b>	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	<p>The Bachelor's thesis includes the analysis of measurement system of chosen component cut in the selected company.</p> <p>The aim of this thesis is to determine whether the measurement system is suitable and acceptable. In case of unacceptable measurement system, the aim is to suggest steps to improve the measurement process.</p>
<b>KEY WORDS</b>	MSA, repeatability, reproducibility, readability, gage, measure, measurement uncertainty, dial gage, vernier caliper, depth gage, variability, method of average and range

## Obsah

1	Úvod, představení firmy .....	4
1.1.	Historie firmy .....	4
1.2.	Předmět činnosti .....	5
1.3.	Obráběcí stroje .....	5
1.3.1.	4D CNC obráběcí centrum.....	5
1.3.2.	5D CNC obráběcí centrum.....	6
1.4.	Obráběné díly .....	6
2	Analýza současného stavu společnosti .....	7
2.1.	Oddělení kontroly.....	8
3	Teoretický rozbor MSA.....	9
3.1.	Metoda MSA .....	9
3.2.	Proces měření .....	9
3.3.	Problematika měření .....	10
3.4.	Variabilita procesu měření .....	11
3.5.	Variabilita polohy.....	11
3.5.1.	Strannost .....	11
3.5.2.	Stabilita .....	12
3.5.3.	Linearita .....	12
3.6.	Variabilita systému měření.....	12
3.6.1.	Způsobilost.....	12
3.6.2.	Výkonnost.....	12
3.7.	Variabilita šíře .....	13
3.7.1.	Shodnost.....	13

3.7.2.	Opakovatelnost .....	13
3.7.3.	Reprodukovatelnost .....	14
3.7.4.	Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (GRR).....	15
3.7.5.	Citlivost.....	16
3.7.6.	Konzistence.....	16
3.7.7.	Uniformita.....	16
3.8.	Příprava studie MSA .....	16
3.9.	Vývojový diagram pro přípravu studie MSA.....	18
3.10.	Postup studie.....	19
3.11.	Realizace studie .....	19
3.12.	Studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti.....	20
4	Vlastní aplikace .....	21
4.1.	Průběh analýzy MSA .....	21
4.2.	Představení součástí .....	24
4.2.1.	Použití součástí v provozu .....	25
4.3.	Ukázky měřených rozměrů .....	26
4.4.	Výběr měřidel.....	28
4.5.	Výpočet rozlišitelnosti.....	29
4.6.	Výpočet nejistoty měření typu A .....	30
5	Vyhodnocení.....	35
6	Závěr.....	37



## Seznam použitých zkratk

MSA	Measurement Systems Analysis, analýza systémů měření
R&R	Repeatability and Reproducibility, opakovatelnost a reprodukovatelnost
GRR	Gage Repeatability and Reproducibility, opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla
OZKV	Oddělení zajišťující kvalitu výroby
CNC	Computer Numeric Control, číslicové řízení počítačem
PPAP	Proces schvalování dílu do sériové výroby
např.	například
tzv.	takzvaný
cca.	přibližně [circa]
obr.	obrázek
pozn.	poznámka
apod.	a podobně
ev. č.	evidenční číslo
ozn.	označení
tj.	to je, to jest
atd.	a tak dále
viz	odkaz na jinou stránku nebo kapitolu
°C	stupeň Celsia

## 1 Úvod, představení firmy



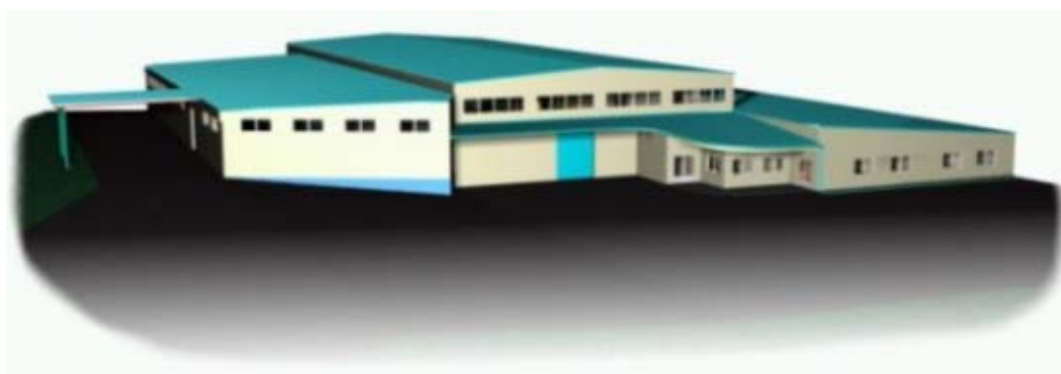
Obrázek 1 – Logo firmy [4]

### 1.1. Historie firmy

Společnost Strojírna Vimperk spol. s r.o. byla založena v roce 1993. Hlavním záměrem bylo zavedení výroby v oboru kovoobrábění. Počátek výroby probíhal v pronajatých prostorách a od roku 1998, po zprovoznění nové výrobní haly o výměře 1440m<sup>2</sup>, se produkce přesunula do Vimperka.

Kromě výrobní haly byla vybudována administrativní část firmy a prostory provozního zázemí. Postupným rozšiřováním výroby se společnost stala významným zaměstnavatelem ve zdejší oblasti a v současnosti v ní pracuje šest desítek zaměstnanců.

Předmětem kovoobrábění na CNC strojích jsou díly pro nákladní a osobní automobily, které jsou dodávány ve velkých sériích především do západoevropských zemí. [1]



Obrázek 2 – Areál firmy [4]

## 1.2. Předmět činnosti

Strojírna Vimperk spol. s r.o. se zabývá obráběním odlitků a výkovků z litiny, oceli a lehkých slitin v desetitisícových sériích. Ve spolupráci se svými subdodavateli je schopna zajistit i tepelné zpracování výrobků a jejich povrchovou ochranu.

Ve firmě jsou zavedeny tyto manažerské systémy:

- systém řízení kvality společnosti certifikovaný dle normy ISO 9001:2008
- systém řízení ochrany životního prostředí certifikovaný dle normy ISO 14001:2004

Výrobní proces je pod trvalou kontrolou a je nepřetržitě přezkušován z hlediska odchylek od požadavků. Složité tvary obrobků jsou přeměřovány na CNC portálovém měřicím zařízení od firmy Carl Zeiss. [1]

## 1.3. Obráběcí stroje

Strojový park se skládá z deseti CNC obráběcích center, jejichž obráběcí rozsahy plně pokrývají běžnou paletu všech součástí, používaných na osobních i nákladních dopravních prostředcích a manipulační technice. V kooperaci je firma schopna zajistit i zpracování větších dílů. Firma nabízí obrábění na 4D a 5D CNC centrech do rozměru 1200x800x1200mm. [1]

### 1.3.1. 4D CNC obráběcí centrum

Horizontální obráběcí centrum Hüller-Hille nbh 630

- Čtyř-osé frézování
- Rozsah obrábění 1050x800x1000 mm



Obrázek 3 – CNC obráběcí centrum Hüller-Hille nbh 630 [1]

### 1.3.2. 5D CNC obráběcí centrum

Vertikální obráběcí centrum: Matec – 30 HV

- Pěti-osé frézování
- Rozsah obrábění 1300x600x800 mm
- 2 pracovní prostory
- Otočná hlava +/- 105°



Obrázek 4 – CNC obráběcí centrum Matec – 30 HV [1]

### 1.4. Obráběné díly

Součásti se obrábějí zejména pro automobilový průmysl, na obrázku je příklad některých odlitků.



Obrázek 6 – Portalgehäuse [1]



Obrázek 5 – Držák brzdy [1]

## 2 Analýza současného stavu společnosti

V současné době má Strojírna Vimperk spol. s.r.o. k dispozici 9 CNC obráběcích strojů (např. Hülle Hille, Matec) a 2 CNC soustruhy. Tyto stroje obrábějí cca 80 druhů součástí (např. Tragarm, Differential, Axle Knee). Za rok společnost obrobí celkem cca 180 000 dílů. [4]

Areál firmy má 5 částí, výrobní halu, kde se nacházejí obráběcí stroje. Dále pak sklad s materiálem, který se následně odváží k dalšímu zpracování. Vedle skladu se nachází zastřešený areál, kde se přijímá nový materiál k následnému zpracování. K transportu materiálu má firma k dispozici 2 vysokozdvizné vozíky. Část, kde se kontrolují a připravují nástroje a řezné destičky pro obráběcí stroje, tzv. nástrojárna, v této části firmy se nacházejí rovinná bruska, univerzální hrotový soustruh, vertikální konzolová frézka, sloupová vrtačka, svářecí technika a rámová pila. Tyto stroje slouží k pomocným a opravným pracím. V přední části areálu jsou kanceláře.



Obrázek 7 – Přední strana firmy [1]

Ve firmě pracuje celkem 66 zaměstnanců v nepřetržitém provozu, z toho 40 zaměstnanců pracuje jako obsluha strojů. Seřizování, údržba strojů a přestavbu palet ve stroji mají na starosti 3 seřizovači. Firma má také k dispozici 2 elektrikáře, kteří se starají mimo jiné i o údržbu strojů. Vstupní a výstupní kontrolu mají na starosti 4 kontroloři. Dalších 10 zaměstnanců pracuje v kanceláři, starají se o vyřizování zakázek, jednají se zákazníky, vyřizují reklamace a kontrolují finance firmy. Manipulaci s materiálem po celém areálu, nakládání a vykládání beden z kamionu má na starost 1 zaměstnanec, k manipulaci s materiálem používá vysokozdvizný vozík. V technologii pracuje 6 zaměstnanců, kteří se starají o řezné nástroje, údržbu a výrobu upínacích přípravků a vytváření programů. [4]

## 2.1. Oddělení kontroly

Ve firmě pracují zaměstnanci, jejichž úkolem je zajistit správnou vstupní a výstupní kontrolu, tzv. kontroloři. Tito pracovníci měří jednotlivé díly na 3D CNC portálovém měřicím zařízení



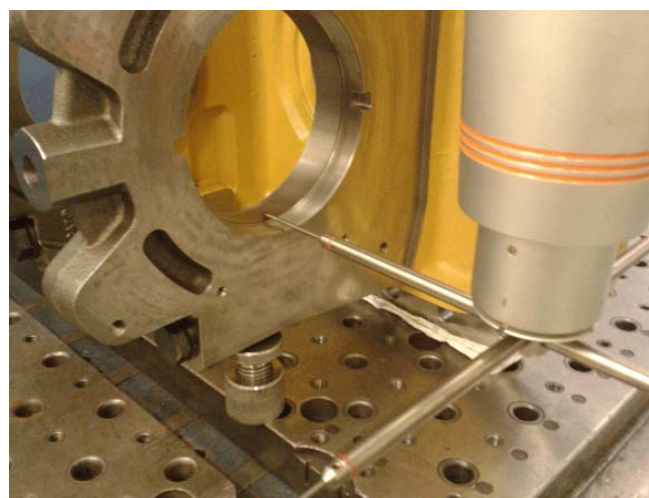
Obrázek 8 – 3D CNC portálové měřicí zařízení [10]

(viz.: obr. 8) v programu s názvem Calypso. Kontroloři mají také na starosti archivování kontrolních karet, kam pracovníci jednotlivých obráběcích strojů zaznamenávají naměřené hodnoty. Dále používá počítačový software s názvem Palstat pro evidenci měřidel. Před začátkem sériové výroby se nejprve obrobí jedna součást. Následně se obrobek přeměří na 3D CNC portálovém měřicím zařízení, zda jsou rozměry v toleranci. Pokud jsou rozměry v toleranci, zahajuje se výroba. Pokud rozměry nevyhovují, musí se program ve stroji zkorigovat na hodnoty, dle výsledků protokolu. Stejný postup platí pro běžnou výrobu, kdy se jednotlivé obrobky měří minimálně jednou denně. Pro ustavování těžkých a velkých součástí na portálové zařízení, kde se musí se

součástí zacházet opatrně, aby se stroj i součást nepoškodily, pracovníci používají manipulátor (obr. 10). Poté, co se součást položí na měřicí stroj, musí se vyrovnat. Vyrovnává se na rovinné desce pomocí nastavitelného šroubu, jak je možno vidět na fotografii (obr. 9) anebo pomocí vodováhy.



Obrázek 10 – Manipulátor [10]



Obrázek 9 – Ustavená součást [10]

## 3 Teoretický rozbor MSA

### 3.1. Metoda MSA

MSA (zkratka z anglického Measurement Systems Analysis), v překladu Analýza systémů měření (dále jen MSA). Používá se pro měření kvality, zejména v automobilovém průmyslu. **Nejpoužívanější je metoda opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (R&R - Repeatability and Reproducibility)**. Další z metod je nezávislá výběrová metoda a metoda regulačních diagramů. Analýza měřicího systému je jedna z metod, která vychází ze zkušeností amerických automobilek. Zaměřuje se na analýzu zdrojů nejistot měření. Pro měření nestačí mít jen kalibrované měřidlo, ale sleduje se měřicí systém jako celek. Cílem je zjistit vliv operátora na naměřené hodnoty. [6]

Sama o sobě je MSA analytická technika pro posouzení systému měření, která je však součástí nějakého systému měření jakosti. Přestože byla tato analýza původně vyvinuta v automobilovém průmyslu, používá se vzhledem ke své praktičnosti a univerzálnosti také v dalších odvětvích.

Metoda MSA se používá pro hodnocení jak samotného měřidla (např. kalibrovaného měřidla), tak na posouzení celého systému měření. [2]

Sledované měřidlo se kontroluje v daném časovém okamžiku. Hodnotíme průměry a rozpětí naměřených hodnot. Analýza měřicích systémů se používá k určení zdroje nepřesnosti měřicího systému za účelem jeho vylepšení. [7]

Metoda se zaměřuje na analýzu zdrojů nejistot v celém procesu měření, protože vychází z předpokladu, že nestačí mít jen přesné měřidlo, ale vliv mohou mít i jiné faktory a proto hodnotí měřicí systém jako celek. Jedním z cílů je zjistit vliv faktorů na variabilitu výsledků měření, tedy jaký mají faktor v celém procesu měření vliv na proměnlivost výsledků. Metoda MSA klade důraz na opakovatelnost a reprodukovatelnost měření. Hlavním cílem je vylepšení přesnosti celého systému měření. [9]

### 3.2. Proces měření

K efektivnímu řízení variability libovolného procesu je třeba vědět:

- co by měl proces dělat,
- co se může pokazit,

- co proces dělá.

Co by měl proces dělat, definují specifické a technické požadavky. Účelem analýzy způsobů a důsledků poruch procesu je definovat riziko související s možnými poruchami procesu a navrhnout nápravné opatření ještě před výskytem těchto poruch. Výsledek se přenáší do plánu, kontroly a řízení. Poznatky o tom, co proces dělá, se získávají na základě hodnocení parametrů nebo výsledků procesu.

Zařízení je pouze částí procesu měření. Vlastník procesu musí vědět, jak správně toto zařízení používat a jak analyzovat výsledky. Vlastník procesu má povinnost monitorovat a řídit proces měření tak, aby zjistil stabilní a správné výsledky, což zahrnuje zohlednění celkové analýzy systému měření – pro studování měřidla, postupu, uživatele a prostředí. Důležité je zohlednit běžné provozní podmínky. [2]

### 3.3. Problematika měření

Při hodnocení systému měření musí být věnována pozornost třem základním otázkám:

a) Systém měření musí prokázat odpovídající citlivost:

- práh citlivosti přístroje je určen návrhem a slouží jako základní výchozí bod pro volbu systému měření
- efektivní rozlišitelnost systému měření s ohledem na práh citlivosti se určí, zda má měření citlivost pro zjišťování změn variability produktu nebo procesu pro danou aplikaci a podmínky

b) Systém měření musí být stabilní:

- v podmínkách opakovatelnosti je variabilita systému měření způsobena pouze náhodnými příčinami, a nikoliv příčinami
- pracovníci provádějící analýzu měření musí vždy uvážit praktický a statistický význam

c) Statistické vlastnosti (chyby) se shodují v očekávaném rozsahu a jsou adekvátní pro daný účel měření. [2]



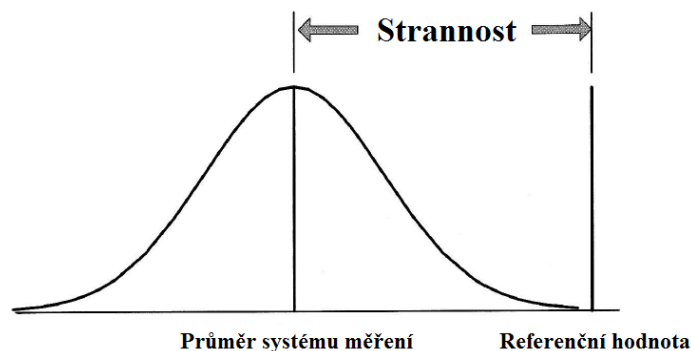
### 3.4. Variabilita procesu měření

U procesu měření se celková variabilita měření popisuje jako normální rozdělení. Normální rozdělení pravděpodobnosti je předpoklad standardních metod analýzy systému měření. Ve skutečnosti existují systémy měření, které nejsou normálně rozděleny. [2]

### 3.5. Variabilita polohy

#### 3.5.1. Strannost

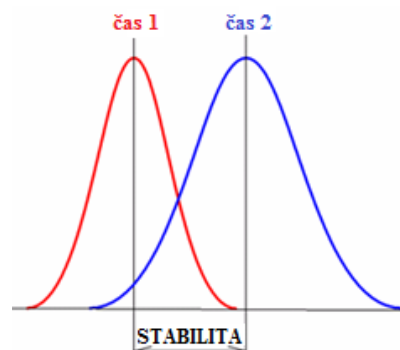
Strannost je rozdíl mezi pravou a pozorovanou průměrnou hodnotou měření provedených u stejné charakteristiky na stejném dílu. Strannost je míra systematické chyby procesu měření. Mezi možné příčiny nadměrné strannosti patří: přístroj je třeba kalibrovat, přístroj, zařízení nebo přípravek je opotřeбенý, je použité špatné měřidlo pro danou aplikaci. Referenční hodnota je hodnota, která slouží jako smluvní reference pro měřené hodnoty. Dříve se nazývala přesnost. [2]



Obrázek 11 – Strannost [2]

### 3.5.2. Stabilita

Stabilita je celková variabilita výsledků měření získaných systémem měření na stejném hlavním etalonu nebo na stejných dílech, když se provádí měření jedné charakteristiky v dostatečně dlouhém časovém úseku. Možnými příčinami stability jsou: přístroj vyžaduje kalibraci, špatná údržba a opotřebený nebo poškozený hlavní etalon. [2]



Obrázek 12 – Stabilita [6]

### 3.5.3. Linearita

Linearita je rozdíl strannosti v očekávaném měřicím rozsahu. Lze jí považovat za změnu strannosti vzhledem k velikosti. Možnými příčinami chyby linearity jsou: přístroj vyžaduje kalibraci, opotřebený přístroj, zařízení nebo přípravek a špatná údržba. [2]

## 3.6. Variabilita systému měření

### 3.6.1. Způsobilost

Způsobilost systému měření je odhadem kombinované variability chyb měření na základě krátkodobém hodnocení. Odhad způsobilosti měření je vyjádření očekávané chyby pro definované podmínky, použitelnost a rozsah systému měření. Vyjádření způsobilosti kombinované variability (rozptylu), když chyby nejsou korelovány (náhodné a nezávislé), lze vyjádřit jako: [2]

$$\sigma_{způsobilost}^2 = \sigma_{strannost}^2 (linearita) + \sigma_{GRR}^2 \quad [-] \quad (1)$$

### 3.6.2. Výkonnost

Výkonnost systému měření je celkovým účinkem všech významných a stanovitelných zdrojů variability v daném čase. Výkonnost vyjadřuje dlouhodobé posuzování kombinovaných chyb měření. Odhad výkonnosti měření je vyjádřením očekávané chyby v případě definovaných podmínek, použitelnosti a rozsahu systému měření. Výraz pro výkonnost kombinované variability (rozptylu), když chyby měření nejsou korelovány, lze vyjádřit jako: [2]

$$\sigma_{výkonnost}^2 = \sigma_{způsobilost}^2 + \sigma_{stabilita}^2 + \sigma_{konzistence}^2 \quad [-] \quad (2)$$

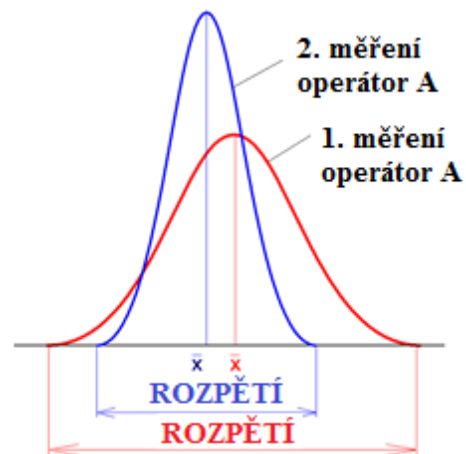
### 3.7. Variabilita šíře

#### 3.7.1. Shodnost

Shodnost popisuje celkový účinek prahu citlivosti, citlivosti a opakovatelnosti v provozním rozsahu (velikosti, rozsahu a času) systému měření. V některých firmách se shodnost zaměřuje při použití s opakovatelností. Ve skutečnosti je shodnost nejčastěji používána k popisu očekávané variability opakovaných výsledků měření v daném rozsahu měření; rozsahem může být i velikost nebo čas (tj. zařízení je stejně shodné v nízkém rozsahu jako ve vysokém rozsahu měření). Mohli bychom říci, že shodnost je vůči opakovatelnosti to, co je linearita vůči strannosti (ačkoliv první je náhodná chyba a druhá je systematická chyba). [2]

#### 3.7.2. Opakovatelnost

Opakovatelnost se označuje jako variabilita operátora. Opakovatelnost je variabilita výsledků měření získaných jedním měřicím přístrojem, který byl použit vícekrát jedním operátorem při měření stejné charakteristiky na stejném dílu. Opakovatelnost se běžně nazývá variabilitou zařízení, ačkoliv toto může být zavádějící. Ve skutečnosti je opakovatelnost rozptylem vyvolaným náhodnými příčinami v po sobě následujících zkouškách realizovaných za definovaných podmínek měření. Nejlepším výrazem pro opakovatelnost je variabilita uvnitř systému, kde jsou pevně stanoveny a definovány podmínky měření – stanovený díl, přístroj, metoda, obsluha, prostředí a předpoklady. [2]



Obrázek 13 – Opakovatelnost [6]

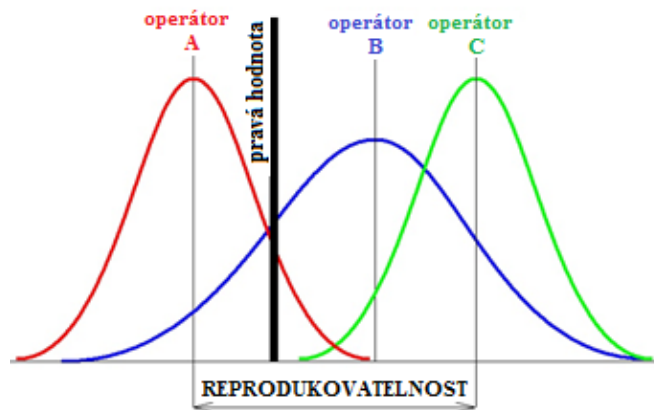
“Možné příčiny chybné opakovatelnosti:

- uvnitř dílu (výběru): forma, poloha, povrchová úprava, zkosení, konzistence výběru,

- uvnitř přístroje: oprava; opotřebení, závada zařízení nebo přípravku, špatná kvalita nebo údržba,
- uvnitř etalonu: kvalita, třída, opotřebení,
- uvnitř metody: variabilita nastavení, technika, nulování, uchycení, upnutí,
- uvnitř operátora: technika, poloha, nedostatek zkušeností, odbornost při manipulaci nebo výcvik, cit nebo únava,
- uvnitř prostředí: krátkodobé výkyvy teploty, vlhkosti, vibrací, osvětlení, čistoty,
- porušení předpokladů – stabilní a správný provoz,
- návrh přístroje, nebo metoda postrádají robustnost, špatná uniformita,
- nesprávné měřidlo pro danou aplikaci,
- deformace (měřidla nebo dílu), nedostatečná pevnost,
- aplikace – velikost dílu, poloha, chyba pozorování (čitelnost)“. [2]

### 3.7.3. Reprodukovatelnost

Označuje se jako variabilita mezi pracovníky. Reprodukovatelnost je definována jako variabilita průměru měření prováděných různými operátory za použití stejného měřicího přístroje, při měření stejné charakteristiky na stejném dílu. To často platí pro ručně ovládané přístroje ovlivněné odborností obsluhy. Toto však neplatí pro procesy měření, u nichž obsluha není hlavním zdrojem variability. Z toho důvodu se reprodukovatelnost často nazývá průměrnou variabilitou měření mezi systémy nebo mezi podmínkami. [2]



Obrázek 14 – Reprodukovatelnost [6]

“Potenciální zdroje chyby reprodukovatelnosti:

- mezi díly (výběry): průměrný rozdíl při měření typů dílů A, B, C atd. za použití stejného přístroje, obsluhy a metody,
- mezi přístroji: průměrný rozdíl při použití přístrojů A, B, C atd. na stejných dílech, stejnou obsluhou a ve stejném prostředí; poznámka: v této studii se chyba reprodukovatelnosti často zaměňuje za metodu anebo obsluhu,

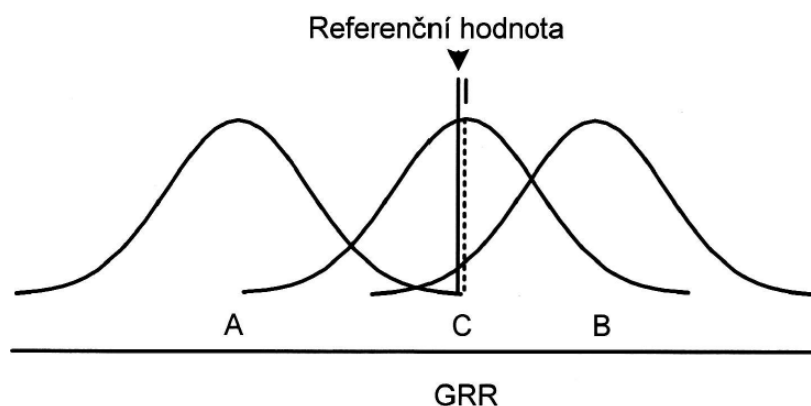
- mezi etalony: průměrný vliv různých hlavních etalonů v procesu měření,
- mezi metodami: průměrný rozdíl způsobený změnou bodových hustot, ručních proti automatizovaným systémům, nulování, způsoby upevnění nebo uchycení atd.,
- mezi operátory (pracovníky obsluhy): průměrný rozdíl mezi operátory A, B, C atd. způsobený výcvikem, technikou, odborností a zkušenostmi; toto je doporučená studie pro kvalifikaci produktu a procesu a ruční měřicí přístroj,
- mezi prostředím: průměrný rozdíl u měření v čase 1, 2, 3 atd. způsobený cykly prostředí; toto představuje nejběžnější studii vysoce automatizovaných systémů při kvalifikaci produktu a procesu,
- porušení předpokladu ve studii,
- návrh přístroje nebo metoda postrádají rozpustnost,
- efektivnost výcviku obsluhy, aplikace – velikost dílů, poloha, chyba pozorování (čitelnost, paralaxa).“ [2]

#### 3.7.4. Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (GRR)

“Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla je odhadem kombinované variability opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Řečeno jiným způsobem – GRR je rozptyl, který se rovná součtu rozptylů uvnitř systému a mezi systémy“. [2]“

Zkratka GRR je z anglického Gage Repeatability and Reproducibility. Lze jí vypočítat jako:

$$\sigma_{GRR}^2 = \sigma_{reprodukovatelnost}^2 + \sigma_{opakovatelnost}^2 \quad [-] \quad (3)$$



Obrázek 15 – Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla [2]

### 3.7.5. Citlivost

Citlivost je nejmenší vstup, který způsobí použitelný výstupní signál. Citlivost je určena návrhem měřidla (práh citlivosti) a provozním stavem přístroje a etalonu. Udává se jako jednotka míry/měření. [2]

### 3.7.6. Konzistence

Konzistence je rozdíl ve variabilitě měření prováděných v daném čase. Některé faktory, které ovlivňují konzistenci, jsou: teplota dílů anebo opotřeбенé zařízení. [2]

### 3.7.7. Uniformita

Uniformita je rozdíl ve variabilitě v provozním rozsahu měřidla. Označuje se také jako homogenita opakovatelnosti vzhledem k velikosti. [2]

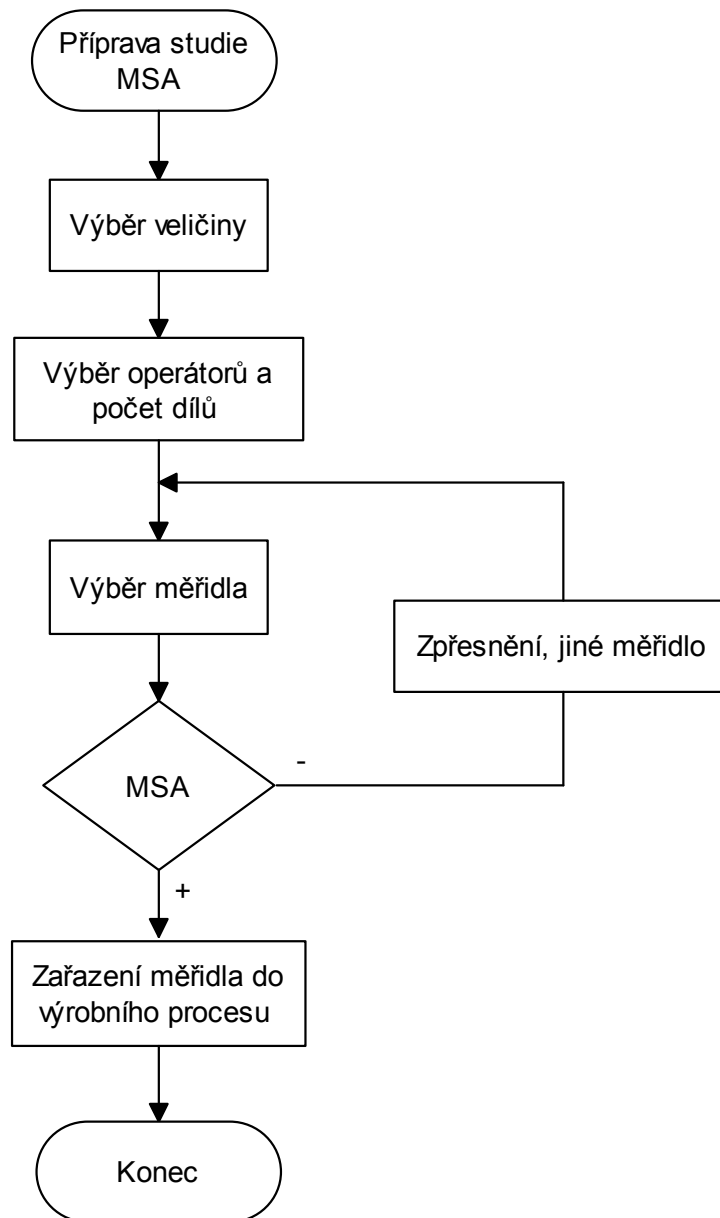
## 3.8. Příprava studie MSA

- a) Nejprve se naplánuje přístup, který se bude používat, např. využití technického posouzení, vizuální pozorování, nebo ze studie měřidla se určí, zda má operátor vliv na kalibraci nebo používání přístroje.
- b) Poté se určí počet operátorů a počet dílů ve výběru, které se budou kontrolovat a počet opakovaných odečtů. Mezi faktory, které je třeba zvážit při tomto výběru, patří:
  - kritičnost rozměru – kritické rozměry vyžadují více dílů anebo zkoušek;
  - konfigurace dílu – objemné nebo těžké díly mohou vyžadovat méně vzorků a více zkoušek;
  - požadavky zákazníka.
- c) Jelikož účelem je hodnocení celkového systému měření, měli by být vybráni operátoři, kteří běžně stroj obsluhují.
- d) Výběr dílů je pro správnou analýzu kritický a zcela závisí na návrhu studie MSA a na dostupnosti dílů ve výběru, které představují výrobní proces. Není-li nezávislý odhad variability procesu k dispozici, musí se díly pro výběr odebrat z procesu a musí reprezentovat celý rozsah výrobní tolerance. Variabilita dílů odebraných vzorků se používá pro výpočet celkové variability této studie. Jestliže vybrané díly nereprezentují

výrobní proces, musí se celková variabilita při posuzování ignorovat, to neovlivňuje vyhodnocení pomocí tolerance ani nezávislý odhad variability procesu.

- e) Jiná možnost získání vzorků je ta, že se bude odebírat jeden vzorek denně po dobu několika dní. Je to nezbytné, protože díly budou použity při analýze tak, jako by reprezentovaly rozpětí variability výroby v rámci procesu. Jelikož se bude každý díl měřit několikrát, musí být z důvodu identifikace označen číslem.
- f) Přístroj by měl mít práh citlivosti, který umožní v případě dané charakteristiky přímý odečet nejméně jedné desetiny očekávané variability procesu (je-li například variabilita charakteristiky 0,001, mělo by měřidlo být schopno „číst“ změnu o velikosti 0,0001).
- g) Zajistí se, aby metoda měření (tj. operátor a přístroj) zajišťovala měření rozměru charakteristiky a dodržovala stanovený postup měření. [2]

### 3.9. Vývojový diagram pro přípravu studie MSA



Vývojový diagram 1 – Případová studie MSA



### 3.10. Postup studie

Postup studie je velmi důležitý, kvůli minimalizaci pravděpodobnosti zavádějících výsledků, musí být dodrženy tyto 2 následující kroky:

- a) Měření se musí provádět v náhodném pořadí. To je důležité proto, aby se zajistilo, že jakékoliv změny, které se objeví, budou v celé studii rozděleny náhodně. Operátoři by si neměli být vědomi toho, který očíslovaný díl se kontroluje, aby se zabránilo jakékoli možné znalostní strannosti. Pracovník (kontrolor), který studii provádí, musí ovšem vědět, který díl se kontroluje a podle toho zaznamenat naměřená data.
- b) Studii by měl řídit a sledovat pracovník, který chápe důležitost spolehlivě provedené studie. [2]

### 3.11. Realizace studie

Metoda založená na průměru a rozpětí ( $\bar{X}$  &  $R$ ) je způsob, který poskytne odhad jak opakovatelnosti, tak i reprodukovatelnosti systému měření. Tato metoda dovoluje rozložit variabilitu systému měření na dvě samostatné složky - opakovatelnost a reprodukovatelnost, avšak nevyjádří jejich interakci. Při studii se počet měření, operátorů a měřených dílů může lišit (pro tuto práci: 3 operátoři, 10 dílů, každý díl se měří třikrát). Realizace studie se prováděna podle následujících bodů:

- a) Zajistí se výběr  $n > 10$  dílů, které představují skutečné nebo očekávané rozpětí variability procesu.
- b) Operátoři se označí např. A, B, C atd., pracovníci z oddělení kvality díly očíslojí 1 až  $n$  tak, aby operátoři tato čísla neviděli.
- c) Proveďte se kalibrace měřidla (je-li to součástí běžných postupů systému měření); operátor A změří počet  $n$  dílů v náhodném pořadí a zapíše výsledky do příslušné tabulky (formulář pro sběr dat o opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla).
- d) Operátoři B a C změří stejný počet  $n$  dílů, aniž by navzájem viděli své naměřené hodnoty. Tyto hodnoty zapíšou do příslušných řádků tabulky.
- e) Tento cyklus se opakuje do té doby, dokud se náhodně neproměří všechny díly. Hodnoty se zapisují do tabulky, do příslušné řádky a příslušného sloupce. [2]

### **3.12. Studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti**

Rozděluje se na 3 metody:

1. Metoda založená na rozpětí,
2. Metoda založená na průměru a rozpětí,
3. Metoda ANOVA. [2]

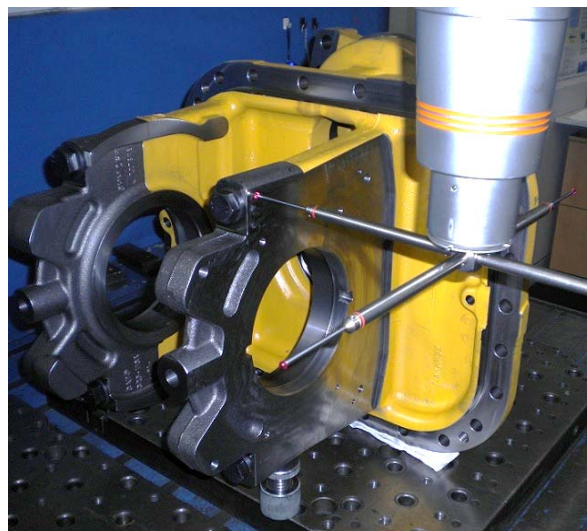
## 4 Vlastní aplikace

### 4.1. Průběh analýzy MSA

Nejprve se určí jaký produkt (součást) se bude analyzovat. Vyberou se kritické rozměry, většinou jsou dány zákazníkem (např. na výkrese), které jsou pro další zpracování dílu důležité. Na základě výběru rozměrů se určuje druh měřidel (většinou posuvná měřítka, nebo číselníkové úchylkoměry, atd.) a dále co a jak se bude jakým měřidlem proměřovat. Podle celkové tolerance příslušného rozměru a rozlišení příslušného měřidla se vypočte rozlišitelnost  $m_R$  (kapitola 4.5.). Rozlišitelnost neboli práh citlivosti měřicího přístroje, by měla činit nejméně jednu desetinu měřicího rozsahu. Na základě výsledků, tedy zda měřidlo vyhovuje či je omezeně použitelné (tabulka 3), se rozhodne, zda se měřidlo použije.

Dále jsou vybráni 3 pracovníci, tedy obsluhy stroje, kde se součást bude obrábět. Měli by to být pracovníci, kteří běžně stroj obsluhují a se zkoumaným měřidlem pracují. Tito operátoři jsou seznámeni s metodou MSA.

Získání vzorku probíhá tak, že jeden díl se odebírá každý den po dobu 10 dní (celkový počet je tedy 10). Pracovník po obrobení součást převezme na oddělení zajišťující kvalitu výroby (OZKV). Zde na výstupní kontrole se všech 10 vzorků uloží na připravené místo. Kontrolor je označí číslem 1-10, ale seřazeny jsou náhodně. V této místnosti je stálá teplota 20°C, všechny vzorky jsou tedy vytemperovány na stejnou teplotu, takže výkyv teploty na naměřené hodnoty nemá vliv. Postupně se díly přeměří na 3D CNC portálovém měřícím zařízení, aby se mohly porovnat s výsledky ručního měření. Kontrolor připraví formulář pro sběr dat pro analýzu MSA (viz. tabulka 1), každá měřená veličina má svůj formulář. Každý pracovník na své směně



Obrázek 16 – Proces strojního měření [10]

změří všechny vybrané rozměry na všech kusech, každý rozměr třikrát. Pracovníci jsou pod dohledem kontrolora, který naměřené hodnoty zapisuje do připravených formulářů. Takto analýza probíhá, dokud nezměří všichni 3 pracovníci všechny rozměry na všech dílech. Měřidla, jako např. číselníkové úchylkoměry jsou nastaveny na určité hodnoty pomocí kalibračních kroužků. Kontrolor po konci měření naměřené hodnoty přepíše do počítače do softwaru Palstat.

Tento software firma používá jak pro evidenci měřidel, tak pro vyhodnocování analýz systému měření. Software vyhodnotí výsledky měření a zpracuje grafy. Nakonec kontroloři na základě výsledků analýzy určí, zdali systém měření vyhovuje.



Obrázek 17 – Měření číselníkovým úchylkoměrem [10]

Software vyhodnotí tyto výsledky:

- Opakovatelnost – variabilita zařízení (EV)
- Reprodukovatelnost – variabilita operátora (AV)
- Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)
- Variabilita dílu (PV)
- Celková variabilita (TV)

Pro nás je důležitá opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla, výsledek porovnáme s tabulkou 10 a získáme závěr analýzy. Je-li výsledek záporný, tudíž systém měření je nepřijatelný, musí být navržena opatření pro jeho zlepšení.

Zde je ukázka prázdné tabulky pro sběr dat pro 1 měřidlo a 1 rozměr získaných od operátorů.  
Tuto tabulku vyplní kontrolor.

Sběr dat pro MSA analýzu												
Název dílu:						č. dílu:				Index:		
Kóta č.		JR	HMR	DMR			Jméno		Datum	Podpis		
							A					
		Název				Eč.		B				
Měřidlo								C				
Díl č.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Operátor	měření											
A	1											
čas	2											
	:	3										
B	1											
čas	2											
	:	3										
C	1											
čas	2											
	:	3										
Vedoucí:									Doklad Pařstat č.:			

Tabulka 1 – Tabulka pro sběr dat pro analýzu MSA

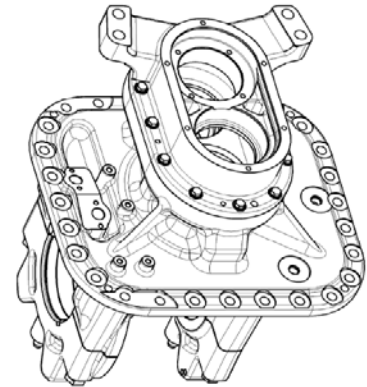
## 4.2. Představení součástí

Součást se používá jako nosič diferenciálu. Je součástí nákladních kloubových sklápěčů, které se používají v těžkém průmyslu.

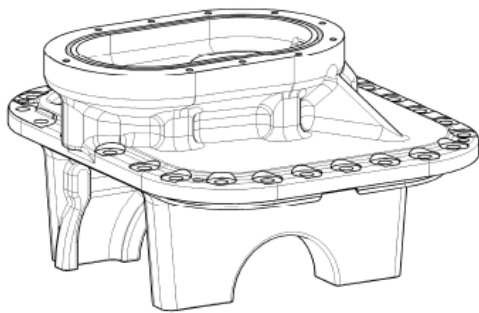
Na obr. 18 je vidět sestava dílu. Tato součást se skládá ze 4 částí. Hlavní a největší část se nazývá nosič (tzv. carrier - obr. 19), ke které jsou připevněny ostatní součásti, má po obvodu 27 otvorů se zhloubením pro uchycení k rámu. Na vrchní obrobenou plochu nosiče je připevněna klec (tzv. cage) deseti šrouby (obr. 20), v kleci jsou následně obrobeny 2 přesné otvory pro hřídel.

Na zadní část nosiče jsou připevněna 2 víka (tzv. cap), pravé a levé (obr. 21). K montáži slouží pouzdra (tzv. bushing), která se narazí do otvorů v nosiči a tak určují vzájemnou polohu nosiče a vík. Víka se poté přitáhnou 2 šrouby. Po spojení a po obrobení s nosičem vzniknou 2 přesné otvory pro hřídele. Na vrcholu každého víka je otvor, do kterého se při montáži narazí čep (tzv. dowel).

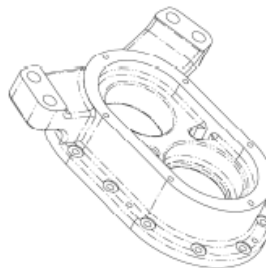
Sestava se obrábí na 2 upnutí – používají se dva upínací přípravky.



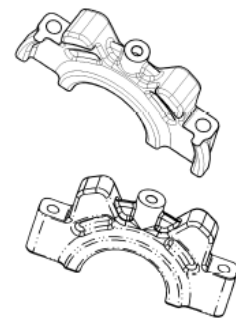
Obrázek 18 – Sestava součástí [4]



Obrázek 19 – Nosič [4]



Obrázek 20 – Klec [4]



Obrázek 21 – Pravé a levé víko [4]

Dále jsou ukázány fotografie reálné součásti (obrázek 22 a 23)



Obrázek 23 – Přední pohled součásti [10]

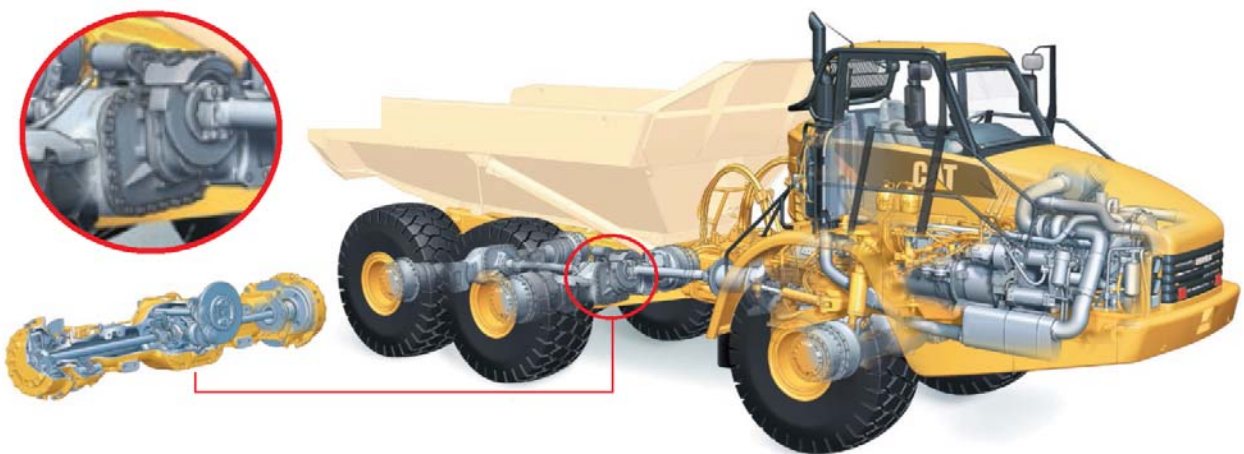


Obrázek 22 – Boční pohled součásti [10]

#### 4.2.1. Použití součásti v provozu

Na obrázku 24 je ukázka kloubového sklápěče, v detailu je vidět jak a kde je nosič diferenciálu umístěn. Součást svírá kříž u všech náprav, pro maximální výkon v nejnepříznivějších podmínkách.

Zajímavosti o kloubovém sklápěči: tyto stroje mají elektronicky řízené šestistupňové převodovky, které poskytují vysokou produktivitu a nízkou spotřebu paliva. [8]



Obrázek 24 – Kloubový sklápěč [8]

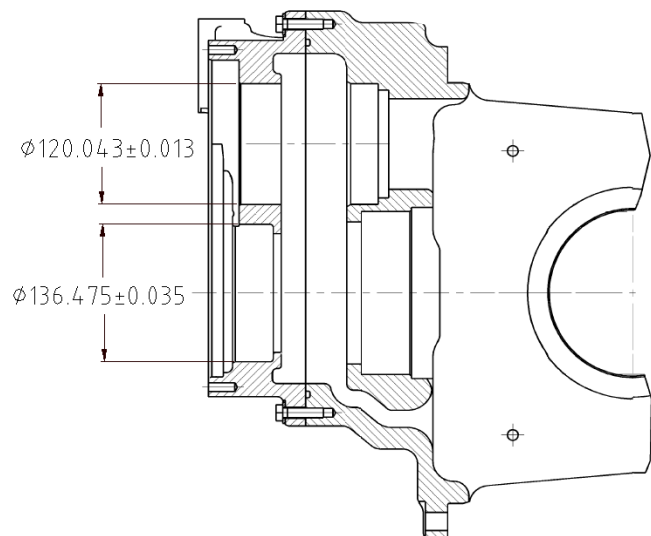
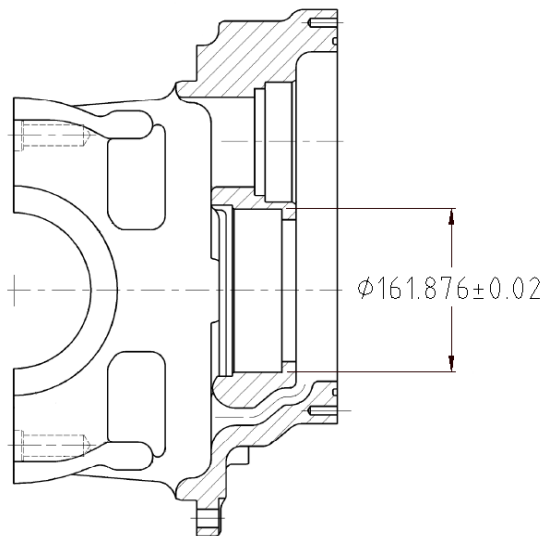
### 4.3. Ukázky měřených rozměrů

Zde jsou ukázky jednotlivých pohledů, kde jsou vidět rozměry, které jsou kontrolovány metodou MSA. Rozměry jsou uváděny bez staničních kót, bez odkazů na základny, bez drsností, bez úhylek tvarů a poloh, apod. Dále nejsou uvedeny ostatní kóty jiných rozměrů.

#### Pozice 160

#### Pozice 118 a 103

Tyto rozměry jsou měřeny číselníkovým úchylkoměrem, s rozlišením 0,001mm.



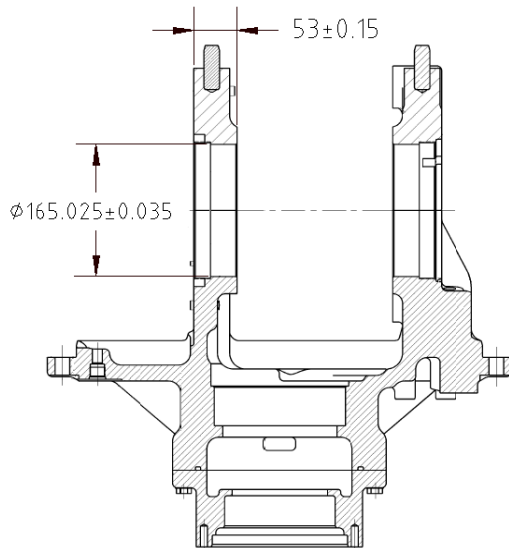
Obrázek 25 - Pozice na výkrese 118 a 103 [4]

Obrázek 26 – Pozice na výkrese 160 [4]



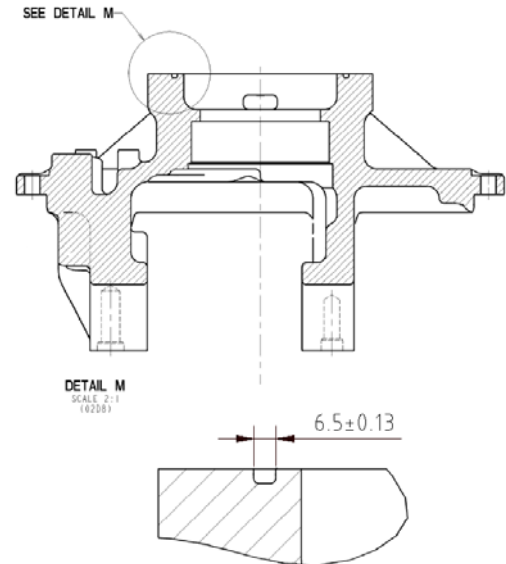
### Pozice 69 a 74

$\varnothing 165,025 \pm 0,035$  je měřen číselníkovým úchylkoměrem. Další rozměry jsou měřeny posuvným měřítkem a hloubkoměrem.



Obrázek 28 - Pozice na výkrese 69 a 74 [4]

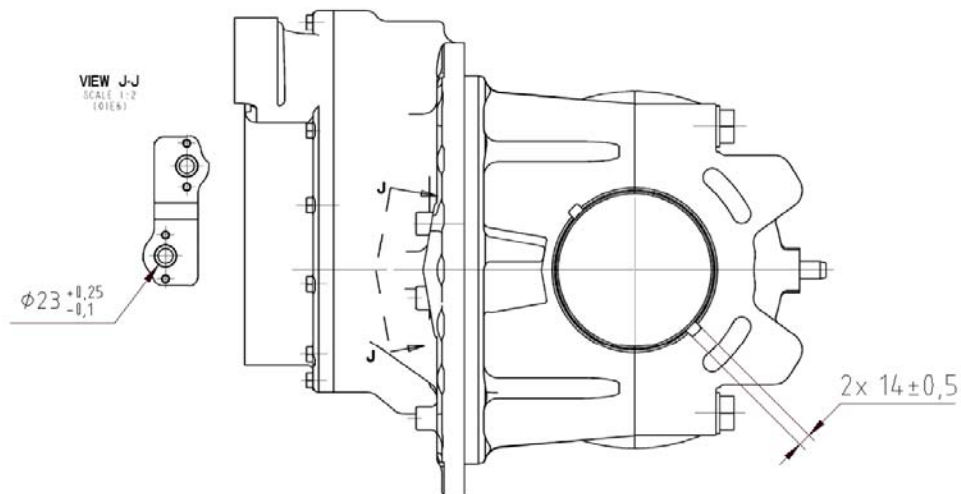
### Pozice 183



Obrázek 27 - Pozice na výkrese 183 [4]

### Pozice 31 a 7

Tyto rozměry jsou měřeny posuvným měřítkem.



Obrázek 29 - Pozice na výkrese 31 a 7 [4]

#### 4.4. Výběr měřidel

Pro 8 kontrolovaných rozměrů bylo vybráno 6 měřidel. Tyto měřidla se běžně používají v běžném provozu. Číselníkové úchylkoměry měří přesné průměry, hloubkoměr a posuvná měřítka měří např. šířku drážky anebo tloušťku součásti. Jednotlivé měřidla jsou vypsány v následující tabulce:

Výběr měřidel								
Součást: Carrier As. - Differential 320-1138								
Ozn.	Pozice	Rozměr [mm]	Tolerance T * [mm]	Měřidlo	Rozlišení R [mm]	Rozlišitelnost $m_R$	Evidenční číslo	Nejistota měření $u_A$ [mm]
1	160	Ø 161,876	0,040	Číselníkový úchylkoměr	0,001	2,50%	580	0,0007817
2	118	Ø 120,043	0,026	Číselníkový úchylkoměr	0,001	3,85%	567	0,0004714
3	103	Ø 136,475	0,070	Číselníkový úchylkoměr	0,001	1,43%	606	0,0002222
4	69	Ø 165,025	0,070	Číselníkový úchylkoměr	0,001	1,43%	588	0,0005386
5	74	53,0	0,300	Hloubkoměr	0,020	6,67%	328	0,003514
6	31	14,0	1,000	Posuvné měřítko	0,020	2,00%	538	0,004714
7	183	6,5	0,260	Posuvné měřítko	0,020	7,69%	538	0,004714
8	7	Ø 23,0	0,350	Posuvné měřítko	0,020	5,71%	538	0,004714

Tabulka 2 – Výběr měřidel

- \* Celková tolerance T je součet DMR (dolní mezní rozměr) a HMR (horní mezní rozměr).
- Pole "Pozice" je myšleno pozice na výrobním výkrese.
- Rozlišitelnost je vypočtena v kapitole 4.5. Nejistota měření je vypočtena v kapitole 4.6.
- Barevné označení rozlišitelnosti je z důvodu zařazení do rozmezí hodnot (viz kapitola 4.5) a lepší orientaci v tabulce.

#### 4.5. Výpočet rozlišitelnosti

Rozlišitelnost měřidla (neboli práh citlivosti) se označuje  $m_R$  a je dána vztahem:

$$m_R = \frac{R}{T} \quad [-] \quad (4)$$

kde: R – rozlišení měřidla [mm]

T – celková tolerance [mm]

Vynásobí-li se stovkou, dostaneme rozlišitelnost v procentech.

Výsledná hodnota rozlišitelnosti se porovnává s tabulkou č. 3, zdali měřidlo vyhovuje, či nevyhovuje.

<5%	Měřidlo vyhovuje
5% – 10%	Měřidlo je omezeně použitelné
>10%	Měřidlo nevyhovuje

Tabulka 3 – Intervaly rozlišitelnosti [2]

A) Číselníkový úchylkoměr – ev.č. 580

Měřený průměr  $161,876 \pm 0,02$  mm, rozlišení číselníkového úchylkoměru 0,001 mm

$$m_{R1} = \frac{0,001}{0,04} \cdot 100 = \underline{\underline{2,5 \%}}$$

B) Číselníkový úchylkoměr – ev.č. 567

Měřený průměr  $120,043 \pm 0,013$  mm, rozlišení číselníkového úchylkoměru 0,001 mm

$$m_{R2} = \frac{0,001}{0,026} \cdot 100 = \underline{\underline{3,85 \%}}$$

C) Číselníkový úchylkoměr – ev.č. 606

Měřený průměr  $136,475 \pm 0,035$  mm, rozlišení číselníkového úchylkoměru 0,001 mm

$$m_{R3} = \frac{0,001}{0,07} \cdot 100 = \underline{\underline{1,43 \%}}$$

D) Číselníkový úchylkoměr – ev.č. 588

Měřený průměr  $165,025 \pm 0,035$  mm, rozlišení číselníkového úchylkoměru 0,001 mm

$$m_{R4} = \frac{0,001}{0,07} \cdot 100 = \underline{\underline{1,43 \%}}$$

E) Hloubkoměr – ev.č. 328

Měřený rozměr  $53,0 \pm 0,15$  mm, rozlišení hloubkoměru 0,020 mm

$$m_{R5} = \frac{0,02}{0,15} \cdot 100 = \underline{\underline{6,67\%}}$$

F) Posuvné měřítko – ev.č. 538

Měřená drážka  $14,0 \pm 0,5$  mm, rozlišení posuvného měřítka 0,020 mm

$$m_{R6} = \frac{0,02}{0,5} \cdot 100 = \underline{\underline{2,0\%}}$$

G) Posuvné měřítko – ev.č. 538

Měřená drážka  $6,5 \pm 0,13$  mm, rozlišení posuvného měřítka 0,020 mm

$$m_{R7} = \frac{0,02}{0,13} \cdot 100 = \underline{\underline{7,69\%}}$$

H) Posuvné měřítko – ev.č. 538

Měřený průměr  $23,0^{+0,25}_{-0,1}$  mm, rozlišení posuvného měřítka 0,020 mm

$$m_{R8} = \frac{0,02}{0,35} \cdot 100 = \underline{\underline{5,71\%}}$$

Výsledky všech měřidel jsou v rozmezí do 10%, tudíž všechny můžeme použít k měření.

#### 4.6. Výpočet nejistoty měření typu A

Nejistota měření je hodnota přiřazená výsledku, který popisuje rozsah, ve kterém by se měla nacházet pravá hodnota měření. Požaduje se minimálně 5 – 10 měření, doporučeno je 25.

A) Proces měření pomocí číselníkového úchylkoměru (ev.č. 580)

- při měření  $\varnothing 161,876 \pm 0,02$ mm, číselníkový úchylkoměr má rozlišení 0,001mm, byly naměřené hodnoty uvedené v tabulce 4

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hodnoty	161,875	161,876	161,874	161,880	161,879	161,879	161,875	161,875	161,874

Tabulka 4 - Naměřené hodnoty  $\varnothing 161,876$  mm

### Aritmetický průměr $\bar{x}$

- Aritmetický průměr je součet všech hodnot vydělený jejich počtem a je dán vztahem:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \text{ [mm]} \quad (5)$$

$$\bar{x} = \frac{161,875 + 161,876 + 161,874 + 161,880 + 161,879 + 161,879 + 161,875 + 161,875 + 161,874}{9}$$

$$\bar{x} = \frac{1456,887}{9} = \mathbf{161,876\bar{3} \text{ mm}}$$

### Výběrová směrodatná odchylka $s_x$

- Výběrová směrodatná odchylka se rovná nejistotě měření typu A

$$u_A = s_n = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \text{ [mm]} \quad (6)$$

Pozn. - Pro lepší přehlednost je suma pod odmocninou (vzorec 7) rozepsaná níže a výsledek je poté doplněn do vzorce 6 pod odmocninu.

$$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = [(\bar{x} - x_1)^2 + (\bar{x} - x_2)^2 + (\bar{x} - x_3)^2 + (\bar{x} - x_4)^2 + (\bar{x} - x_5)^2 + (\bar{x} - x_6)^2 + (\bar{x} - x_7)^2 + (\bar{x} - x_8)^2 + (\bar{x} - x_9)^2] \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 &= [(161,876\bar{3} - 161,875)^2 + (161,876\bar{3} - 161,876)^2 + (161,876\bar{3} - 161,874)^2 \\ &+ (161,876\bar{3} - 161,880)^2 + (161,876\bar{3} - 161,879)^2 + (161,876\bar{3} - 161,879)^2 \\ &+ (161,876\bar{3} - 161,875)^2 + (161,876\bar{3} - 161,875)^2 + (161,876\bar{3} - 161,874)^2] \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 0,000043\bar{9} \text{ mm}$$

$$u_A = s_n = \sqrt{\frac{1}{9 \cdot (9-1)} \cdot 0,000043\bar{9}} = 0,0007817 \text{ mm} = \mathbf{0,7817 \mu\text{m}}$$

kde:  $s_n$  – výběrová směrodatná odchylka [mm]  
 $u_A$  – nejistota měření typu A [mm]  
 $n$  – počet měření [-]  
 $\bar{x}$  – aritmetický průměr z naměřených hodnot [mm]  
 $x_i$  - výsledek i-tého měření [mm]

### B) Proces měření pomocí číselníkového úchylkoměru (ev.č. 567)

- při měření  $\varnothing 120,043 \pm 0,013\text{mm}$ , číselníkový úchylkoměr má rozlišení 0,001mm, byly naměřené hodnoty uvedené v tabulce 5

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hodnoty	120,040	120,041	120,040	120,037	120,038	120,037	120,039	120,039	120,040

Tabulka 5 - Naměřené hodnoty  $\varnothing 120,043\text{ mm}$

Pozn. pro další výpočty jsou obdobné vzorce jako při výpočtu A). Dále nejsou vzorce rozepsány, ale rovnou jsou doplněny konečné hodnoty.

#### Aritmetický průměr $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{1080,351}{9} = \mathbf{120,039\text{ mm}}$$

#### Výběrová směrodatná odchylka $s_n$

$$u_A = s_n = \sqrt{\frac{0,0000159}{9 \cdot (9 - 1)}} = 0,0004714\text{mm} = \mathbf{0,4714\ \mu\text{m}}$$

### C) Proces měření pomocí číselníkového úchylkoměru (ev.č. 606)

- při měření  $\varnothing 136,475 \pm 0,035\text{mm}$ , číselníkový úchylkoměr má rozlišení 0,001mm, byly naměřené hodnoty uvedené v tabulce 6

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hodnoty	136,480	136,481	136,481	136,482	136,482	136,481	136,481	136,481	136,482

Tabulka 6 - Naměřené hodnoty Ø 136,475 mm

Aritmetický průměr  $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{1228,331}{9} = \mathbf{136,4812\ mm}$$

Výběrová směrodatná odchylka  $s_n$

$$u_A = s_n = \sqrt{\frac{0,00000356}{9 \cdot (9 - 1)}} = 0,0002222\text{mm} = \mathbf{0,2222\ \mu\text{m}}$$

D) Proces měření pomocí číselníkového úchylkoměru (ev.č. 588)

- při měření Ø 165,025 ± 0,035mm, číselníkový úchylkoměr má rozlišení 0,001mm, byly naměřené hodnoty uvedené v tabulce 7

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hodnoty	165,014	165,015	165,013	165,011	165,014	165,013	165,016	165,016	165,015

Tabulka 7 - Naměřené hodnoty Ø 165,025 mm

Aritmetický průměr  $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{1485,127}{9} = \mathbf{165,01411\ mm}$$

Výběrová směrodatná odchylka  $s_n$

$$u_A = s_n = \sqrt{\frac{0,000020889}{9 \cdot (9 - 1)}} = 0,0005386\text{mm} = \mathbf{0,5386\ \mu\text{m}}$$

E) Proces měření pomocí hloubkoměru (ev.č. 328)

- při měření rozměru  $53,0 \pm 0,15\text{mm}$ , hloubkoměr má rozlišení  $0,02\text{mm}$ , byly naměřené hodnoty uvedené v tabulce 8

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hodnoty	53,06	53,06	53,06	53,04	53,04	53,06	53,04	53,04	53,04

Tabulka 8 - Naměřené hodnoty 53,0 mm

Aritmetický průměr  $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{477,44}{9} = \mathbf{53,04889\text{ mm}}$$

Výběrová směrodatná odchylka  $s_n$

$$u_A = s_n = \sqrt{\frac{0,000889}{9 \cdot (9 - 1)}} = 0,003514\text{mm} = \mathbf{3,514\ \mu\text{m}}$$

F) Proces měření pomocí posuvného měřítka (ev.č. 538)

- při měření rozměru  $6,5 \pm 0,13\text{mm}$ , posuvné měřítko má rozlišení  $0,02\text{mm}$ , byly naměřené hodnoty uvedené v tabulce 9

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hodnoty	6,52	6,50	6,52	6,50	6,50	6,50	6,52	6,54	6,52

Tabulka 9 - Naměřené hodnoty 6,5 mm

Aritmetický průměr  $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{58,62}{9} = \mathbf{6,5133\text{ mm}}$$

Výběrová směrodatná odchylka  $s_n$

$$u_A = s_n = \sqrt{\frac{0,001599}{9 \cdot (9 - 1)}} = 0,004714\text{mm} = \mathbf{4,714\ \mu\text{m}}$$



## 5 Vyhodnocení

Kompletní protokoly a grafy, které jsem vyhodnotil v softwaru Palstat, jsou v příloze. Zde ve vyhodnocení je výtah výsledků zapsán do tabulky 10.

Měřený rozměr	EV [%]	AV [%]	GRR [%]	PV [%]	ndc [-]	m <sub>R</sub> [%]
	Variabilita zařízení	Variabilita operátora	Opakovatelnost a reprodukovatelnost	Variabilita dílu	Počet odlišných kategorií	Rozlišitelnost
Ø 161,876	16,79	8,59	18,86	98,21	7	2,50
Ø 120,043	12,68	14,79	19,48	98,09	7	3,85
Ø 136,475	11,67	6,82	13,52	99,08	10	1,43
Ø 165,025	10,94	6,67	12,81	99,18	10	1,43
53,0	16,44	5,27	17,27	98,50	8	6,67
14,0	15,34	4,92	16,11	98,69	8	2,00
6,5	17,37	3,51	17,72	98,42	7	7,69
Ø 23,0	19,19	6,15	20,16	97,95	6	5,71

Tabulka 10 – Vyhodnocení výsledků analýzy [4]

Rozměry jsou seřazeny ve stejném pořadí jako v tab. 2.

Variabilita zařízení (EV): hodnota variability (%) by neměla být velká, pak by variabilita systému měření byla nepřijatelná. V této práci jsou hodnoty v rozmezí 10 ÷ 19 %, tudíž systém měření je přijatelný.

Podle metody R&R, se budu zajímat o sloupec GRR. Výsledky se porovnají s tab. 11 a vytvoří se závěr analýzy.

GRR	Rozhodnutí	Komentář
<b>Pod 10 %</b>	Systém měření vyhovuje a jedná se o přijatelný systém měření.	Doporučuje se. Lze využít v případě, požaduje-li se zpřísněná regulace procesu.
<b>10 % ÷ 30 %</b>	Systém měření může být vyhovující, ale bude záležet na konkrétní aplikaci.	Rozhodnutí by mělo vycházet z důležitosti měření aplikace, nákladů vynaložených na měřicí zařízení, z nákladů na přepracování anebo opravu. Mělo by to být schváleno zákazníkem.
<b>Nad 30 %</b>	Systém měření se považuje za nepřijatelný.	Veškeré úsilí se má vynaložit na zlepšení systému měření. Tento stav by měl být řešen použitím vhodné strategie měření; např. použití průměrného výsledku několika odečtů u stejné charakteristiky dílu s cílem redukovat výslednou variabilitu měření.

Tabulka 11 – Kritéria opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla [2]

Podle tabulky 11, je doporučená opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla do 10%. Toleruje se i rozmezí 10 ÷ 30%. Hodnoty této analýzy jsou přibližně v rozmezí 12 ÷ 20 %, to znamená, že systém měření vyhovuje.

Počet odlišných kategorií ( $ndc$ ), hodnota by neměla být  $\leq 5$ . V této práci hodnota  $ndc$  přesahuje 5, vychází 6 ÷ 10. Počítačový program zaokrouhlí vypočtený výsledek směrem nahoru. Zvýšení kategorie docílíme přesnějším měřidlem.

Rozlišitelnost ( $m_R$ ) se počítala jako podíl rozlišení vybraného měřidla a celkové tolerance měřeného rozměru. Výsledky se porovnávají s tabulkou 3. U všech číselníkových úchylkoměrů vyšla rozlišitelnost pod 5% a posuvné měřítko, které měří  $\varnothing 14,0\text{mm}$  má rozlišitelnost 2%, to znamená, že měřidla vyhovují. Pro hloubkoměr a posuvné měřítko pro ostatní rozměry, vyšla rozlišitelnost nad 5%. Podle tabulky 3 to znamená, že je měřidlo omezeně použitelné.

Výpočet nejistoty měření typu A: všechny hodnoty pro všechny měřidla byly použity ze stejného dílu označeného číslem 1.

## 6 Závěr

V bakalářské práci byl stanoven hlavní cíl, ve firmě Strojírna Vimperk spol. s.r.o., aplikovat analýzu MSA na konkrétní součásti. K tomuto výzkumu byli vybráni konkrétní pracovníci, kteří proměřovali danou součást za pomoci předem zvolených měřidel. Vypracování analýzy MSA bylo podmínkou ze strany zákazníka pro spuštění sériové výroby dílu. Kritické rozměry si zákazník určil sám. Nejdříve bylo nutné vybrat vhodná měřidla pro měření těchto kritických rozměrů. Pro vybraná měřidla byla jako nejvhodnější stanovena metoda opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, proto je v kapitole 3 (teoretický rozbor MSA) nejvíce a stručně popsána. Samotný sběr dat byl prováděn pracovníky firmy, kteří budou dále měřidla používat při sériové výrobě.

Při vyhodnocení získaných dat byla počítána nejistota měření typu A. Vzhledem k počtu měření jednoho dílu, což bylo tedy 9 měření, je pro tento typ nejistoty nepřesný a není spolehlivý. Pro přesnější výsledek, bych doporučil ještě výpočet nejistoty typu B, kde se počítá s jednotlivými vlivy – změna teploty, korekce, kolmost čelistí, apod. Poté se stanoví kombinovaná standardní nejistota z nejistot A a B pomocí kvadratického sčítání.

Pro zpřesnění analýzy by bylo dobré vyměnit původní měřidlo (posuvné měřidlo s rozlišením 0,02 mm) za měřidlo s vyšším rozlišením (posuvné měřidlo s rozlišením 0,01 mm). Zvýší se tím např. počet odlišných kategorií *ndc*. A takto se zlepší i variabilita systému měření. To záleží na tom, jestli firma má k dispozici měřidla s vyšší přesností, anebo je schopna vynaložit náklady na pořízení nových měřidel.

Analýza probíhala v klimatizované laboratoři, rozdílnost naměřených hodnot lze okomentovat tím, že každý pracovník má jiný styl měření (jiná síla nebo různá technika měření). U všech kontrolovaných rozměrů byla opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (GRR) v rozmezí 10 ÷ 30%, což znamená viz. tab. 11, že systém měření je vyhovující.

V případě, že by systém měření byl nepřijatelný, následovalo by přeškolení operátorů (používání měřidel, používání stroje a správná a včasná výměna destiček na řezném nástroji, apod.), anebo výběr přesnějšího měřidla.

Ze všech diagramů průměrů (v příloze č. 2), nejsou vidět žádné zjevné rozdíly mezi jednotlivými operátory. Zpočátku bylo nejdůležitější donutit operátory, aby si před začátkem měření

zkontrolovali základní nastavení měřidel, tzn. vynulování posuvného měřidla, nebo základní nastavení dutinoměru pomocí kalibračního kroužku.

Cíle bakalářské práce byly splněny a výsledky z ní byly použity jako příloha zaslaná zákazníkovi v rámci procesu schvalování dílu do sériové výroby (PPAP). Zákazník tyto výsledky akceptoval a udělil souhlas ke spuštění sériové výroby s těmito měřidly. V budoucnosti může být práce použita jako základ řešení dalších analýz MSA ve firmě a přispět tak k získání další zakázek.

## Seznam použité literatury

- [1] Strojírna Vimperk spol. s.r.o. [online]. [cit. 2014-01-14]. Dostupné z:  
<http://www.strojvimp.cz>
- [2] *Analýza systémů měření (MSA). Čtvrté vydání.* Praha 1: Česká společnost pro jakost, 2011. ISBN 978-80-02-02323-5.
- [3] *Způsobilost kontrolních procesů: použitelnost kontrolních prostředků, vhodnost kontrolních procesů, přihlednutí k nejistotám měření.* Praha: Česká společnost pro jakost, 2004. ISBN 80-020-1656-4.
- [4] Interní dokumenty Strojírny Vimperk spol. s.r.o.
- [5] STANĚK, Jiří a Jiří NĚMEJC. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací.* 1. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005, 58 s. ISBN 80-704-3363-9.
- [6] Designtech. [online]. [cit. 2014-02-21]. Dostupné z:  
<http://www.designtech.cz/designtech/c/caq/msa-analyza-systemu-mereni-2.htm>
- [7] Managementmania. [online]. [cit. 2014-02-22]. Dostupné z:  
<https://managementmania.com/cs/measurement-system-analysis>
- [8] Hydexuk. [online]. [cit. 2014-03-09]. Dostupné z:  
<http://www.hydexuk.com/downloads/ATS-product-brochure.pdf>
- [9] ZÍDKOVÁ, Helena a František ZVONEČEK. *Jakost - styl života pro třetí tisíciletí.* 1. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-720-3.
- [10] Vlastní fotodokumentace.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Logo firmy [4] .....	4
Obrázek 2 – Areál firmy [4].....	4
Obrázek 3 – CNC obráběcí centrum Hüller-Hille nbh 630 [1].....	5
Obrázek 4 – CNC obráběcí centrum Matec – 30 HV [1] .....	6
Obrázek 5 – Držák brzdy [1] .....	6
Obrázek 6 – Portalgehäuse [1].....	6
Obrázek 7 – Přední strana firmy [1] .....	7
Obrázek 8 – 3D CNC portálové měřicí zařízení [10] .....	8
Obrázek 9 – Ustavená součást [10].....	8
Obrázek 10 – Manipulátor [10].....	8
Obrázek 11 – Strannost [2] .....	11
Obrázek 12 – Stabilita [6].....	12
Obrázek 13 – Opakovatelnost [6] .....	13
Obrázek 14 – Reprodukovatelnost [6].....	14
Obrázek 15 – Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla [2] .....	15
Obrázek 16 – Proces strojního měření [10] .....	21
Obrázek 17 – Měření číselníkovým úchytkoměrem [10] .....	22
Obrázek 18 – Sestava součásti [4] .....	24
Obrázek 19 – Nosič [4].....	24
Obrázek 20 – Klec [4].....	24
Obrázek 21 – Pravé a levé víko [4].....	24
Obrázek 22 – Boční pohled součásti [10].....	25
Obrázek 23 – Přední pohled součásti [10] .....	25
Obrázek 24 – Kloubový sklápěč [8] .....	25
Obrázek 25 - Pozice na výkrese 118 a 103 [4] .....	26
Obrázek 26 – Pozice na výkrese 160 [4] .....	26
Obrázek 27 - Pozice na výkrese 183 [4] .....	27
Obrázek 28 - Pozice na výkrese 69 a 74 [4] .....	27
Obrázek 29 - Pozice na výkrese 31 a 7 [4] .....	27

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Tabulka pro sběr dat pro analýzu MSA .....	23
Tabulka 2 – Výběr měřidel .....	28
Tabulka 3 – Intervaly rozlišitelnosti [2].....	29
Tabulka 4 - Naměřené hodnoty $\varnothing$ 161,876 mm .....	30
Tabulka 5 - Naměřené hodnoty $\varnothing$ 120,043 mm .....	32
Tabulka 6 - Naměřené hodnoty $\varnothing$ 136,475 mm .....	33
Tabulka 7 - Naměřené hodnoty $\varnothing$ 165,025 mm .....	33
Tabulka 8 - Naměřené hodnoty 53,0 mm .....	34
Tabulka 9 - Naměřené hodnoty 6,5 mm .....	34
Tabulka 10 – Vyhodnocení výsledků analýzy [4] .....	35
Tabulka 11 – Kritéria opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla [2] .....	36

## Seznam grafů

Vývojový diagram 1 – Případová studie MSA .....	18
---	----

## Seznam příloh

PŘÍLOHA č. 1 - Protokoly vyhodnocení metody R&R .....	42
PŘÍLOHA č. 2 - Sdružené diagramy pro průměr a rozpětí .....	51
PŘÍLOHA č. 3 - Ukázky měření vybrané součásti .....	60

## **PŘÍLOHA č. 1**

### **Protokoly vyhodnocení metody R&R**



- pro Ø 161,876 mm

MSA (R&R metoda)												
Číslo dílu <b>320-1138</b>					Název měřidla <b>Číselníkový úchylkoměr</b>			Kontrolor A <b>Zapletal Radek</b>				
Název dílu <b>Carrier As.- Differential</b>					Číslo měřidla <b>580</b>			Kontrolor B <b>Tobisch Jiří</b>				
Charakteristika	DT 161,856	JR 161,876	HT 161,896	Tolerance +/- 0,02	Typ měřidla <b>Analogové</b>			Kontrolor C <b>Stražil Radan</b>				
Klasifikace			Jednotky mm	Hodnocení Měřicí systém omezeně použitelný			Počet 3	Kontroloři 3	Datum 19.2.2014			
Operátor Číslo měření	DIL										Průměr	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
<b>A</b>	1	161,875	161,878	161,875	161,882	161,888	161,884	161,878	161,881	161,892	161,893	161,8826
	2	161,876	161,876	161,875	161,882	161,887	161,883	161,878	161,882	161,892	161,892	161,8823
	3	161,874	161,876	161,877	161,88	161,886	161,884	161,876	161,88	161,891	161,892	161,8816
Průměr	161,875	161,876	161,875	161,881	161,887	161,883	161,877	161,881	161,891	161,892		Xa = 161,8822
Rozpětí	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001		Ra = 0,0017
<b>B</b>	1	161,88	161,876	161,877	161,88	161,885	161,886	161,878	161,882	161,888	161,892	161,8824
	2	161,879	161,875	161,876	161,879	161,886	161,887	161,879	161,882	161,887	161,891	161,8821
	3	161,879	161,877	161,878	161,878	161,885	161,886	161,878	161,881	161,888	161,892	161,8822
Průměr	161,879	161,876	161,877	161,879	161,885	161,886	161,878	161,881	161,887	161,891		Xb = 161,8822
Rozpětí	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001		Rb = 0,0013
<b>C</b>	1	161,875	161,873	161,873	161,879	161,889	161,886	161,88	161,88	161,893	161,89	161,8818
	2	161,875	161,873	161,873	161,878	161,888	161,884	161,879	161,88	161,892	161,889	161,8811
	3	161,874	161,874	161,872	161,88	161,888	161,885	161,878	161,879	161,891	161,89	161,8811
Průměr	161,874	161,873	161,872	161,879	161,888	161,885	161,879	161,879	161,892	161,889		Xc = 161,8813
Rozpětí	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001		Rc = 0,0014
Průměr pro díl	161,876	161,875	161,875	161,879	161,886	161,885	161,878	161,880	161,890	161,891		X" = 161,8819 Rp = 0,0161
([Ra = 0,0017] + [Rb = 0,0013] + [Rc = 0,0014]) / [Počet operátorů = 3] =											R" = 0,00147	
[Max X" = 161,88] - [Min X" = 161,8813] = Xdiff = 0,0009												
* [R" = 0,0015] x [D4 = 2,574] = UCLr = 0,00378												
Opakovatelnost - variabilita zařizení (EV)					Počet		K1		%EV = 100 [EV/TV] = 100 [0,001/0,005] = 16,79 %			
$EV = \bar{R} \cdot K_1$					2		0,8862					
$EV = 0,001 \cdot 0,591 = 0,00087$					3		0,5908					
Reprodukovatelnost - variabilita operátora (AV)					Operátoři		2		3		%AV = 100 [AV/TV] = 100 [4,434E-4/0,005] = 8,59 %	
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{nr}\right)}$					K2		0,7071		0,5231			
$AV = \sqrt{(0,001 \cdot 0,523)^2 - \left(\frac{0,001^2}{10 \cdot 9}\right)} = 0,00044$					n = díly		r = měření					
Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)					Díly		K3		%GRR = 100 [GRR/TV] = 100 [0,001/0,005] = 18,86 %			
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$					2		0,7071					
$GRR = \sqrt{0,001^2 + 0,0004^2} = 0,00097$					3		0,5231					
Variabilita dílu (PV)					4		0,4467		%PV = 100 [PV/TV] = 100 [0,005/0,005] = 98,21 %			
$PV = R_p \cdot K_3$					5		0,4030					
$PV = 0,016 \cdot 0,315 = 0,00507$					6		0,3742					
					7		0,3534					
					8		0,3375					
Celková variabilita (TV)					9		0,3249		ndc = 1,41 [PV/GRR] = 1,41 [0,005/0,001] = 7,342 ~ 7			
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$					10		0,3146					
$TV = \sqrt{0,001^2 + 0,005^2} = 0,00516$												

- pro Ø 120,043 mm

MSA (R&R metoda)													
Číslo dílu <b>320-1138</b>					Název měřidla <b>Číselníkový úchylkoměr</b>				Kontrolor A <b>Zapletal Radek</b>				
Název dílu <b>Carrier As.- Differential</b>					Číslo měřidla <b>567</b>				Kontrolor B <b>Tobisch Jiří</b>				
Charakteristika	DT 120,03	JR 120,043	HT 120,056	Tolerance +/- 0,13	Typ měřidla <b>Analogové</b>				Kontrolor C <b>Stražil Radan</b>				
Klasifikace			Jednotky mm	Hodnocení <b>Měřicí systém omezeně použitelný</b>				Počet 3	Kontroloři 3	Datum <b>19.2.2014</b>			
Operátor Číslo měření		DÍL										Průměr	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
<b>A</b>		1	120,04	120,05	120,048	120,049	120,045	120,045	120,045	120,05	120,043	120,032	120,0447
		2	120,041	120,049	120,048	120,051	120,045	120,046	120,047	120,049	120,042	120,031	120,0449
		3	120,04	120,048	120,049	120,051	120,045	120,047	120,046	120,049	120,042	120,031	120,0448
Průměr		3	120,040	120,049	120,048	120,050	120,045	120,046	120,046	120,049	120,042	120,031	Xa = 120,0448
Rozpětí			0,001	0,002	0,001	0,002	0	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	Ra = 0,0013
<b>B</b>		1	120,037	120,048	120,047	120,047	120,043	120,045	120,044	120,049	120,043	120,03	120,0433
		2	120,038	120,05	120,046	120,049	120,041	120,044	120,043	120,048	120,042	120,029	120,043
		3	120,037	120,049	120,046	120,047	120,041	120,044	120,045	120,049	120,042	120,029	120,0429
Průměr		3	120,037	120,049	120,046	120,047	120,041	120,044	120,044	120,048	120,042	120,029	Xb = 120,0431
Rozpětí			0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	Rb = 0,0014
<b>C</b>		1	120,039	120,045	120,05	120,049	120,043	120,046	120,044	120,05	120,04	120,03	120,0436
		2	120,039	120,046	120,049	120,047	120,041	120,046	120,042	120,049	120,039	120,03	120,0428
		3	120,04	120,046	120,05	120,047	120,041	120,047	120,043	120,049	120,04	120,03	120,0433
Průměr		3	120,039	120,045	120,049	120,047	120,041	120,046	120,043	120,049	120,039	120,03	Xc = 120,0432
Rozpětí			0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0	Rc = 0,0012
Průměr pro díl			120,039	120,047	120,048	120,048	120,042	120,045	120,044	120,049	120,041	120,030	X* = 120,0437 Rp = 0,0189
((Ra = 0,0013) + [Rb = 0,0014] + [Rc = 0,0012]) / [Počet operátorů = 3] =												R* = 0,0013	
[Max X* = 120,04 ] - [ Min X* = 120,0431 ] = Xdiff = 0,00173													
* [ R* = 0,0013 ] x [ D4 = 2,574 ] = UCLr = 0,00335													
Opakovatelnost - variabilita zařízení (EV)						Počet		K1		%EV = 100 [EV/TV] = 100 [0,001/0,006] = 12,68 %			
$EV = \bar{R} \cdot K_1$ $EV = 0,001 \cdot 0,591 = 0,00077$						2		0,8862					
						3		0,5908					
Reprodukovatelnost - variabilita operátora (AV)						Operátoři		K2		%AV = 100 [AV/TV] = 100 [0,001/0,006] = 14,79 %			
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{n \cdot r}\right)}$ $AV = \sqrt{(0,002 \cdot 0,523)^2 - \left(\frac{0,001^2}{10 \cdot 9}\right)} = 0,0009$ n = díly      r = měření						2		3					
						K2		0,7071		0,5231			
Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)						Díly		K3		%GRR = 100 [GRR/TV] = 100 [0,001/0,006] = 19,48 %			
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$ $GRR = \sqrt{0,001^2 + 0,001^2} = 0,00118$						2		0,7071					
						3		0,5231					
Variabilita dílu (PV)						4		0,4467		%PV = 100 [PV/TV] = 100 [0,006/0,006] = 98,09 %			
$PV = R_p \cdot K_3$ $PV = 0,019 \cdot 0,315 = 0,00594$						5		0,4030					
						6		0,3742					
						7		0,3534					
						8		0,3375					
Celková variabilita (TV)						9		0,3249		ndc = 1,41 [PV/GRR] = 1,41 [0,006/0,001] = 7,101 ~ 7			
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$ $TV = \sqrt{0,001^2 + 0,006^2} = 0,00606$						10		0,3146					

- pro Ø 136,475 mm

MSA (R&R metoda)															
Číslo dílu <b>320-1138</b>				Název měřidla <b>Číselníkový úchylkoměr</b>				Kontrolor A <b>Zapletal Radek</b>							
Název dílu <b>Carrier As.- Differential</b>				Číslo měřidla <b>606</b>				Kontrolor B <b>Tobisch Jiří</b>							
Charakteristika	DT 136,44	JR 136,475	HT 136,51	Tolerance +/- 0,0349	Typ měřidla <b>Analogové</b>				Kontrolor C <b>Stražil Radan</b>						
Klasifikace			Jednotky mm	Hodnocení <b>Měřicí systém omezeně použitelný</b>				Počet 3	Kontroloři 3	Datum <b>19.2.2014</b>					
Operátor Číslo měření	DIL										Průměr				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
<b>A</b>	1	136,48	136,474	136,475	136,472	136,49	136,488	136,468	136,474	136,46	136,465	136,4746			
	2	136,481	136,475	136,474	136,47	136,49	136,49	136,467	136,475	136,46	136,465	136,4747			
	3	136,481	136,473	136,473	136,47	136,488	136,489	136,468	136,473	136,458	136,463	136,4736			
Průměr	136,480 7	136,474	136,474	136,470 7	136,489 3	136,489	136,467 7	136,474	136,459 3	136,464 3		Xa = 136,4743			
Rozpětí	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002		Ra = 0,0018			
<b>B</b>	1	136,482	136,471	136,475	136,469	136,488	136,489	136,47	136,472	136,459	136,469	136,4744			
	2	136,482	136,471	136,473	136,471	136,489	136,489	136,468	136,472	136,459	136,472	136,4746			
	3	136,481	136,472	136,475	136,472	136,489	136,49	136,469	136,472	136,46	136,472	136,4752			
Průměr	136,481 7	136,471 3	136,474 3	136,470 7	136,488 7	136,489 3	136,469	136,472	136,459 3	136,471		Xb = 136,4747			
Rozpětí	0,001	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002	0	0,001	0,003		Rb = 0,0015			
<b>C</b>	1	136,481	136,473	136,476	136,471	136,49	136,49	136,469	136,474	136,461	136,475	136,476			
	2	136,481	136,473	136,476	136,472	136,49	136,49	136,47	136,472	136,461	136,474	136,4759			
	3	136,482	136,471	136,475	136,47	136,488	136,488	136,468	136,475	136,462	136,469	136,4748			
Průměr	136,481 3	136,472 3	136,475 7	136,471	136,489 3	136,489 3	136,469	136,473 7	136,461 3	136,472 7		Xc = 136,4756			
Rozpětí	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001	0,006		Rc = 0,0022			
Průměr pro díl	136,481 2	136,472 6	136,474 7	136,470 8	136,489 1	136,489 2	136,468 6	136,473 2	136,46	136,469 3		X* = 136,4749 Rp = 0,0292			
$( [Ra = 0,0018] + [Rb = 0,0015] + [Rc = 0,0022] ) / [Počet\ operátorů = 3] =$ $[Max\ X' = 136,47 ] - [ Min\ X' = 136,4743 ] = Xdiff = 0,00127$ $56$											R* = 0,00183				
* [ R* = 0,0018 ] x [ D4 = 2,574 ] = UCLr = 0,00472															
Opakovatelnost - variabilita zařízení (EV)						Počet		K1		%EV = 100 [EV/TV] = 100 [0,001/0,009] = 11,67 %					
$EV = \bar{R} \cdot K_1$						2		0,8862							
$EV = 0,002 \cdot 0,591 = 0,00108$						3		0,5908							
Reprodukovatelnost - variabilita operátora (AV)						Operátoři		2		3		%AV = 100 [AV/TV] = 100 [0,001/0,009] = 6,82 %			
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{nr}\right)}$						K2		0,7071		0,5231					
$AV = \sqrt{(0,001 \cdot 0,523)^2 - \left(\frac{0,001^2}{10 \cdot 9}\right)} = 0,00063$						n = díly		r = měření							
Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)						Díly		K3		%GRR = 100 [GRR/TV] = 100 [0,001/0,009] = 13,52 %					
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$						2		0,7071							
$GRR = \sqrt{0,001^2 + 0,001^2} = 0,00125$						3		0,5231							
Variabilita dílu (PV)						4		0,4467		%PV = 100 [PV/TV] = 100 [0,009/0,009] = 99,08 %					
$PV = R_p \cdot K_3$						5		0,4030							
$PV = 0,029 \cdot 0,315 = 0,00919$						6		0,3742							
						7		0,3534							
						8		0,3375							
Celková variabilita (TV)						9		0,3249		ndc = 1,41 [PV/GRR] = 1,41 [0,009/0,001] = 10,335 ~ 10					
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$						10		0,3146							
$TV = \sqrt{0,001^2 + 0,009^2} = 0,00928$															

- pro Ø 165,025 mm

MSA (R&R metoda)												
Číslo dílu <b>320-1138</b>					Název měřidla <b>Číselníkový úchylkoměr</b>				Kontrolor A <b>Zapletal Radek</b>			
Název dílu <b>Carrier As.- Differential</b>					Číslo měřidla <b>588</b>				Kontrolor B <b>Tobisch Jiří</b>			
Charakteristika	DT 164,99	JR 165,025	HT 165,06	Tolerance +/- 0,0349	Typ měřidla <b>Analogové</b>				Kontrolor C <b>Stražil Radan</b>			
Klasifikace			Jednotky mm	Hodnocení <b>Měřicí systém omezeně použitelný</b>				Počet 3	Kontroloři 3	Datum <b>19.2.2014</b>		
Operátor Číslo měření	DIL										Průměr	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
<b>A</b>	1	165,014	165,047	165,01	165,02	165,033	165,03	165,019	165,025	165,043	165,039	165,028
	2	165,015	165,046	165,01	165,021	165,031	165,031	165,021	165,027	165,045	165,041	165,0288
	3	165,013	165,045	165,012	165,022	165,032	165,029	165,022	165,027	165,045	165,042	165,0289
Průměr	165,014	165,046	165,010 7	165,021	165,032	165,03	165,020 7	165,026 3	165,044 3	165,040 7		Xa = 165,0286
Rozpětí	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003		Ra = 0,0022
<b>B</b>	1	165,011	165,048	165,013	165,02	165,034	165,032	165,021	165,025	165,041	165,039	165,0284
	2	165,014	165,049	165,015	165,019	165,035	165,032	165,019	165,026	165,042	165,042	165,0293
	3	165,013	165,051	165,011	165,02	165,032	165,03	165,019	165,025	165,043	165,042	165,0286
Průměr	165,012 7	165,049 3	165,013	165,019 7	165,033 7	165,031 3	165,019 7	165,025 3	165,042	165,041		Xb = 165,0288
Rozpětí	0,003	0,003	0,004	0,001	0,003	0,002	0,002	0,001	0,002	0,003		Rb = 0,0024
<b>C</b>	1	165,016	165,049	165,013	165,02	165,036	165,033	165,021	165,029	165,045	165,039	165,0301
	2	165,016	165,05	165,011	165,022	165,037	165,033	165,02	165,03	165,047	165,039	165,0305
	3	165,015	165,049	165,012	165,021	165,038	165,032	165,019	165,027	165,044	165,04	165,0297
Průměr	165,015 7	165,049 3	165,012	165,021	165,037	165,032 7	165,02	165,028 7	165,045 3	165,039 3		Xc = 165,0301
Rozpětí	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,001		Rc = 0,0018
Průměr pro díl	165,014 1	165,048 2	165,011 9	165,020 6	165,034 2	165,031 3	165,020 1	165,026 8	165,043 9	165,040 3		X* = 165,0291 Rp = 0,0363
$([Ra = 0,0022] + [Rb = 0,0024] + [Rc = 0,0018]) / [\text{Počet operátorů} = 3] =$ $[Max X = 165,03] - [Min X = 165,0286] = Xdiff = 0,00153$											R* = 0,00213	
* [ R* = 0,0021 ] x [ D4 = 2,574 ] = UCLr = 0,00549												
Opakovatelnost - variabilita zařízení (EV)						Počet		K1		%EV = 100 [EV/TV]		
$EV = \bar{R} \cdot K_1$						2		0,8862		= 100 [0,001/0,012]		
$EV = 0,002 \cdot 0,591 = 0,00126$						3		0,5908		= 10,94 %		
Reprodukovatelnost - variabilita operátora (AV)						Operátoři		2		%AV = 100 [AV/TV]		
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{nr}\right)}$						K2		0,7071		= 100 [0,001/0,012]		
$AV = \sqrt{(0,002 \cdot 0,523)^2 - \left(\frac{0,001^2}{10 \cdot 9}\right)} = 0,00077$						3		0,5231		= 6,67 %		
n = díly r = měření												
Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)						Díly		K3		%GRR = 100 [GRR/TV]		
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$						2		0,7071		= 100 [0,001/0,012]		
$GRR = \sqrt{0,001^2 + 0,001^2} = 0,00148$						3		0,5231		= 12,81 %		
Variabilita dílu (PV)						4		0,4467		%PV = 100 [PV/TV]		
$PV = R_p \cdot K_3$						5		0,4030		= 100 [0,011/0,012]		
$PV = 0,036 \cdot 0,315 = 0,01143$						6		0,3742		= 99,18 %		
						7		0,3534				
						8		0,3375				
Celková variabilita (TV)						9		0,3249		ndc = 1,41 [PV/GRR]		
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$						10		0,3146		= 1,41 [0,011/0,001]		
$TV = \sqrt{0,001^2 + 0,011^2} = 0,01153$										= 10,918 ~ 10		

- pro rozměr 53,0 mm

MSA (R&R metoda)												
Číslo dílu <b>320-1138</b>				Název měřidla <b>Hloubkoměr</b>				Kontrolor A <b>Zapletal Radek</b>				
Název dílu <b>Carrier As.- Differential</b>				Číslo měřidla <b>328</b>				Kontrolor B <b>Tobisch Jiří</b>				
Charakteristika	DT 52,85	JR 53	HT 53,15	Tolerance +/- 0,1499	Typ měřidla <b>Digitální</b>				Kontrolor C <b>Stražil Radan</b>			
Klasifikace			Jednotky <b>mm</b>	Hodnocení <b>Měřicí systém omezeně použitelný</b>				Počet <b>3</b>	Kontroloři <b>3</b>	Datum <b>19.2.2014</b>		
Operátor Číslo měření	DIL										Průměr	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
<b>A</b>	1	53,08	53,04	53	52,92	53,06	53,12	53,06	53,1	53	53,12	53,05
	2	53,1	53,04	53	52,92	53,06	53,12	53,06	53,1	52,98	53,12	53,05
	3	53,1	53,02	53,02	52,94	53,06	53,12	53,06	53,08	53	53,1	53,05
	Průměr	53,0933	53,0333	53,0067	52,9267	53,06	53,12	53,06	53,0933	52,9933	53,1133	Xa = 53,05
	Rozpětí	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0,02	0,02	0,02	Ra = 0,014
<b>B</b>	1	53,1	53,06	53	52,92	53,04	53,1	53,04	53,08	53,02	53,1	53,046
	2	53,08	53,02	53,02	52,94	53,04	53,1	53,04	53,1	53	53,12	53,046
	3	53,08	53,06	53,02	52,94	53,06	53,1	53,06	53,08	53,02	53,1	53,052
	Průměr	53,0867	53,0467	53,0133	52,9333	53,0467	53,1	53,0467	53,0867	53,0133	53,1067	Xb = 53,048
	Rozpětí	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0	0,02	0,02	0,02	0,02	Rb = 0,02
<b>C</b>	1	53,08	53,02	53	52,94	53,04	53,12	53,04	53,08	53	53,12	53,044
	2	53,08	53,04	53,04	52,92	53,04	53,1	53,04	53,08	53	53,1	53,044
	3	53,08	53,02	53,02	52,92	53,04	53,1	53,04	53,08	53,02	53,1	53,042
	Průměr	53,08	53,0267	53,02	52,9267	53,04	53,1067	53,04	53,08	53,0067	53,1067	Xc = 53,0433
	Rozpětí	0	0,02	0,04	0,02	0	0,02	0	0	0,02	0,02	Rc = 0,014
	Průměr pro díl	53,0867	53,0356	53,0133	52,9289	53,0489	53,1089	53,0489	53,0867	53,0044	53,1089	X" = 53,0471 Rp = 0,18
$( [Ra = 0,014] + [Rb = 0,02] + [Rc = 0,014] ) / [Počet\ operatorů = 3] =$ $[Max\ X' = 53,05] - [Min\ X' = 53,0433] = Xdiff = 0,00667$ $* [ R' = 0,016 ] \times [ D4 = 2,574 ] = UCLr = 0,04118$											R" = 0,016	
Opakovatelnost - variabilita zařízení (EV)						Počet		K1		%EV = 100 [EV/TV] = 100 [0,009/0,057] = 16,44 %		
$EV = \bar{R} \cdot K_1$ $EV = 0,016 \cdot 0,591 = 0,00945$						2		0,8862				
						3		0,5908				
Reprodukovatelnost - variabilita operátora (AV)						Operátoři		2		3		%AV = 100 [AV/TV] = 100 [0,003/0,057] = 5,27 %
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{nr}\right)}$ $AV = \sqrt{(0,007 \cdot 0,523)^2 - \left(\frac{0,008^2}{10 \cdot 9}\right)} = 0,00303$ n = díly      r = měření						K2		0,7071		0,5231		
Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)						Díly		K3		%GRR = 100 [GRR/TV] = 100 [0,010/0,057] = 17,27 %		
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$ $GRR = \sqrt{0,009^2 + 0,003^2} = 0,00993$						2		0,7071				
						3		0,5231				
Variabilita dílu (PV)						4		0,4467		%PV = 100 [PV/TV] = 100 [0,057/0,057] = 98,50 %		
$PV = R_p \cdot K_3$ $PV = 0,180 \cdot 0,315 = 0,05663$						5		0,4030				
						6		0,3742				
						7		0,3534				
						8		0,3375				
Celková variabilita (TV)						9		0,3249		ndc = 1,41 [PV/GRR] = 1,41 [0,057/0,010] = 8,044 ~ 8		
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$ $TV = \sqrt{0,010^2 + 0,057^2} = 0,05749$						10		0,3146				

- pro rozměr 14,0 mm

MSA (R&R metoda)												
Číslo dílu <b>320-1138</b>				Název měřidla <b>Posuvné měřítko</b>				Kontrolor A <b>Zapletal Radek</b>				
Název dílu <b>Carrier As.- Differential</b>				Číslo měřidla <b>538</b>				Kontrolor B <b>Tobisch Jiří</b>				
Charakteristika	DT <b>13,5</b>	JR <b>14</b>	HT <b>14,5</b>	Tolerance <b>+/- 0,5</b>	Typ měřidla <b>Digitální</b>			Kontrolor C <b>Stražil Radan</b>				
Klasifikace			Jednotky <b>mm</b>	Hodnocení <b>Měřicí systém omezeně použitelný</b>				Počet <b>3</b>	Kontroloři <b>3</b>	Datum <b>19.2.2014</b>		
Operátor Číslo měření	DIL										Průměr	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
<b>A</b>	1	14,12	14,02	14,08	14,1	14,08	14,12	14,22	14,02	14,02	14,12	14,09
	2	14,1	14,02	14,06	14,08	14,06	14,1	14,2	14	14,04	14,1	14,076
	3	14,1	14,02	14,08	14,08	14,08	14,08	14,12	14,22	14	14,04	14,12
Průměr	14,1067	14,02	14,0733	14,0867	14,0733	14,1133	14,2133	14,0067	14,0333	14,1133		Xa = 14,084
Rozpětí	0,02	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	Ra = 0,018
<b>B</b>	1	14,12	14	14,06	14,1	14,06	14,1	14,22	14,02	14,06	14,1	14,084
	2	14,1	14,02	14,08	14,1	14,08	14,1	14,2	14,04	14,04	14,1	14,086
	3	14,1	14	14,06	14,1	14,06	14,12	14,2	14	14,04	14,12	14,08
Průměr	14,1067	14,0067	14,0667	14,1	14,0667	14,1067	14,2067	14,02	14,0467	14,1067		Xb = 14,0833
Rozpětí	0,02	0,02	0,02	0	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02		Rb = 0,02
<b>C</b>	1	14,1	14,02	14,06	14,08	14,06	14,08	14,22	14,02	14,04	14,08	14,076
	2	14,1	14,02	14,06	14,1	14,06	14,08	14,2	14,02	14,04	14,08	14,076
	3	14,1	14,04	14,06	14,08	14,06	14,1	14,2	14,02	14,04	14,1	14,08
Průměr	14,1	14,0267	14,06	14,0867	14,06	14,0867	14,2067	14,02	14,04	14,0867		Xc = 14,0773
Rozpětí	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0,02	0	0	0,02		Rc = 0,01
Průměr pro díl	14,1044	14,0178	14,0667	14,0911	14,0667	14,1022	14,2089	14,0156	14,04	14,1022		X <sup>0</sup> = 14,0816 Rp = 0,1933
((Ra = 0,018) + [Rb = 0,02] + [Rc = 0,01]) / [Počet operátorů = 3] =											R <sup>0</sup> = 0,016	
[Max X <sup>0</sup> = 14,084] - [Min X <sup>0</sup> = 14,0773] = Xdiff = 0,00667												
* [R <sup>0</sup> = 0,016] x [D4 = 2,574] = UCLr = 0,04118												
Opakovanost - variabilita zařízení (EV)						Počet		K1		%EV = 100 [EV/TV] = 100 [0,009/0,062] = 15,34 %		
$EV = \bar{R} \cdot K_1$						2		0,8862				
$EV = 0,016 \cdot 0,591 = 0,00945$						3		0,5908				
Reprodukovanost - variabilita operátora (AV)						Operátoři		2		%AV = 100 [AV/TV] = 100 [0,003/0,062] = 4,92 %		
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{n \cdot r}\right)}$						K2		0,7071				
$AV = \sqrt{(0,007 \cdot 0,523)^2 - \left(\frac{0,008^2}{10 \cdot 9}\right)} = 0,00303$						3		0,5231				
n = díly      r = měření												
Opakovanost a reprodukovanost (GRR)						Díly		K3		%GRR = 100 [GRR/TV] = 100 [0,010/0,062] = 16,11 %		
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$						2		0,7071				
$GRR = \sqrt{0,009^2 + 0,003^2} = 0,00993$						3		0,5231				
Variabilita dílu (PV)						4		0,4467		%PV = 100 [PV/TV] = 100 [0,061/0,062] = 98,69 %		
$PV = R_p \cdot K_3$						5		0,4030				
$PV = 0,193 \cdot 0,315 = 0,06082$						6		0,3742				
						7		0,3534				
						8		0,3375				
Celková variabilita (TV)						9		0,3249		ndc = 1,41 [PV/GRR] = 1,41 [0,061/0,010] = 8,639 ~ 8		
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$						10		0,3146				
$TV = \sqrt{0,010^2 + 0,061^2} = 0,06163$												

- pro rozměr 6,5 mm

MSA (R&R metoda)												
Číslo dílu <b>320-1138</b>					Název měřidla <b>Posuvné měřítko</b>			Kontrolor A <b>Zapletal Radek</b>				
Název dílu <b>Carrier As.- Differential</b>					Číslo měřidla <b>538</b>			Kontrolor B <b>Tobisch Jiří</b>				
Charakteristika	DT <b>6,37</b>	JR <b>6,5</b>	HT <b>6,63</b>	Tolerance <b>+/- 0,13</b>	Typ měřidla <b>Digitální</b>			Kontrolor C <b>Stražil Radan</b>				
Klasifikace			Jednotky <b>mm</b>	Hodnocení <b>Měřicí systém omezeně použitelný</b>			Počet <b>3</b>	Kontroloři <b>3</b>	Datum <b>19.2.2014</b>			
Operátor Číslo měření	DÍL										Průměr	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
<b>A</b>	1	6,52	6,6	6,5	6,52	6,5	6,42	6,5	6,52	6,54	6,5	6,512
	2	6,5	6,6	6,5	6,52	6,52	6,42	6,52	6,5	6,54	6,52	6,514
	3	6,52	6,62	6,5	6,54	6,5	6,4	6,52	6,52	6,52	6,52	6,516
Průměr	6,5133	6,6067	6,5	6,5267	6,5067	6,4133	6,5133	6,5133	6,5333	6,5133		Xa = 6,514
Rozpětí	0,02	0,02	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	Ra = 0,018
<b>B</b>	1	6,5	6,6	6,52	6,5	6,52	6,4	6,52	6,5	6,52	6,52	6,51
	2	6,5	6,58	6,5	6,5	6,5	6,42	6,5	6,5	6,52	6,5	6,502
	3	6,5	6,58	6,52	6,52	6,52	6,4	6,52	6,52	6,54	6,52	6,514
Průměr	6,5	6,5867	6,5133	6,5067	6,5133	6,4067	6,5133	6,5067	6,5267	6,5133		Xb = 6,5087
Rozpětí	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	Rb = 0,018
<b>C</b>	1	6,52	6,6	6,5	6,52	6,5	6,42	6,5	6,52	6,52	6,5	6,51
	2	6,54	6,58	6,52	6,52	6,52	6,42	6,52	6,52	6,52	6,52	6,518
	3	6,52	6,6	6,5	6,5	6,52	6,4	6,5	6,52	6,52	6,5	6,508
Průměr	6,5267	6,5933	6,5067	6,5133	6,5133	6,4133	6,5067	6,52	6,52	6,5067		Xc = 6,512
Rozpětí	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0	0,02		Rc = 0,016
Průměr pro díl	6,5133	6,5956	6,5067	6,5156	6,5111	6,4111	6,5111	6,5133	6,5267	6,5111		X* = 6,5116 Rp = 0,1844
$( [Ra = 0,018] + [Rb = 0,018] + [Rc = 0,016] ) / [Počet\ operátorů = 3] =$											R* = 0,01733	
$[Max\ X' = 6,514] - [Min\ X' = 6,5087] = Xdiff = 0,00533$												
$[ R^* = 0,0173 ] \times [ D4 = 2,574 ] = UCLr = 0,04462$												
Opakovatelnost - variabilita zařízení (EV)					Počet		K1		%EV = 100 [EV/TV]			
$EV = \bar{R} \cdot K_1$					2		0,8862		= 100 [0,010/0,059]			
$EV = 0,017 \cdot 0,591 = 0,01024$					3		0,5908		= 17,37 %			
Reprodukovatelnost - variabilita operátora (AV)					Operátoři		2		%AV = 100 [AV/TV]			
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{nr}\right)}$					K2		0,7071		= 100 [0,002/0,059]			
$AV = \sqrt{(0,004 \cdot 0,523)^2 - \left(\frac{0,010^2}{10 \cdot 9}\right)} = 0,00207$					3		0,5231		= 3,51 %			
n = díly      r = měření												
Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)					Díly		K3		%GRR = 100 [GRR/TV]			
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$					2		0,7071		= 100 [0,010/0,059]			
$GRR = \sqrt{0,010^2 + 0,002^2} = 0,01045$					3		0,5231		= 17,72 %			
Variabilita dílu (PV)					4		0,4467		%PV = 100 [PV/TV]			
$PV = R_p \cdot K_3$					5		0,4030		= 100 [0,058/0,059]			
$PV = 0,184 \cdot 0,315 = 0,05803$					6		0,3742		= 98,42 %			
					7		0,3534					
					8		0,3375					
Celková variabilita (TV)					9		0,3249		ndc = 1,41 [PV/GRR]			
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$					10		0,3146		= 1,41 [0,058/0,010]			
$TV = \sqrt{0,010^2 + 0,058^2} = 0,05896$												= 7,831 ~ 7

- pro Ø 23,0 mm

MSA (R&R metoda)												
Číslo dílu <b>320-1138</b>					Název měřidla <b>Posuvné měřitko</b>					Kontrolor A <b>Zapletal Radek</b>		
Název dílu <b>Carrier As.- Differential</b>					Číslo měřidla <b>538</b>					Kontrolor B <b>Tobisch Jiří</b>		
Charakteristika	DT <b>22,9</b>	JR <b>23</b>	HT <b>23,25</b>	Tolerance <b>+ 0,25 - 0,1</b>	Typ měřidla <b>Digitální</b>					Kontrolor C <b>Stražil Radan</b>		
Klasifikace			Jednotky <b>mm</b>	Hodnocení <b>Měřicí systém omezeně použitelný</b>				Počet <b>3</b>	Kontroloři <b>3</b>	Datum <b>19.2.2014</b>		
Operátor Číslo měření	DÍL										Průměr	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
<b>A</b>	1	23,06	23,16	23,04	23,02	23,06	23,06	23,06	23,06	23,08	23,06	23,066
	2	23,06	23,18	23,06	23,02	23,06	23,06	23,04	23,04	23,08	23,04	23,064
	3	23,06	23,16	23,06	23,02	23,06	23,04	23,06	23,06	23,06	23,04	23,062
	Průměr	23,06	23,1667	23,0533	23,02	23,06	23,0533	23,0533	23,0533	23,0733	23,0467	Xa = 23,064
Rozpětí	0	0,02	0,02	0	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	Ra = 0,014	
<b>B</b>	1	23,06	23,18	23,06	23,02	23,02	23,06	23,04	23,04	23,06	23,06	23,06
	2	23,04	23,16	23,06	23	23,04	23,06	23,02	23,06	23,06	23,06	23,056
	3	23,04	23,16	23,04	23,02	23,02	23,04	23,04	23,06	23,08	23,06	23,056
	Průměr	23,0467	23,1667	23,0533	23,0133	23,0267	23,0533	23,0333	23,0533	23,0667	23,06	Xb = 23,0573
Rozpětí	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	Rb = 0,018	
<b>C</b>	1	23,06	23,18	23,04	23,02	23,04	23,06	23,04	23,06	23,06	23,04	23,06
	2	23,06	23,18	23,06	23,02	23,04	23,04	23,04	23,04	23,04	23,04	23,056
	3	23,06	23,16	23,06	23	23,02	23,04	23,04	23,06	23,06	23,06	23,056
	Průměr	23,06	23,1733	23,0533	23,0133	23,0333	23,0467	23,04	23,0533	23,0533	23,0467	Xc = 23,0573
Rozpětí	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0,02	0,02	0,02	Rc = 0,016	
Průměr pro díl	23,0556	23,1689	23,0533	23,0156	23,04	23,0511	23,0422	23,0533	23,0644	23,0511	X' = 23,0596 Rp = 0,1533	
((Ra = 0,014) + [Rb = 0,018] + [Rc = 0,016]) / [Počet operátorů = 3] =											R* = 0,016	
[Max X' = 23,064] - [Min X' = 23,0573] = Xdiff = 0,00667												
* [ R* = 0,016 ] x [ D4 = 2,574 ] = UCLr = 0,04118												
Opakovatelnost - variabilita zařízení (EV)					Počet		K1		%EV = 100 [EV/TV] = 100 [0,009/0,049] = 19,19 %			
$EV = \bar{R} \cdot K_1$					2	0,8862						
$EV = 0,016 \cdot 0,591 = 0,00945$					3	0,5908						
Reprodukovatelnost - variabilita operátora (AV)					Operátoři		2		3		%AV = 100 [AV/TV] = 100 [0,003/0,049] = 6,15 %	
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{nr}\right)}$					K2	0,7071		0,5231				
$AV = \sqrt{(0,007 \cdot 0,523)^2 - \left(\frac{0,009^2}{10 \cdot 9}\right)} = 0,00303$												
n = díly r = měření												
Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)					Díly		K3		%GRR = 100 [GRR/TV] = 100 [0,010/0,049] = 20,16 %			
$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$					2	0,7071						
$GRR = \sqrt{0,009^2 + 0,003^2} = 0,00993$					3	0,5231						
Variabilita dílu (PV)					4	0,4467		%PV = 100 [PV/TV] = 100 [0,048/0,049] = 97,95 %				
$PV = R_p \cdot K_3$					5	0,4030						
$PV = 0,153 \cdot 0,315 = 0,04824$					6	0,3742						
					7	0,3534						
					8	0,3375						
Celková variabilita (TV)					9	0,3249		ndc = 1,41 [PV/GRR] = 1,41 [0,048/0,010] = 6,852 ~ 6				
$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$					10	0,3146						
$TV = \sqrt{0,010^2 + 0,048^2} = 0,04925$												

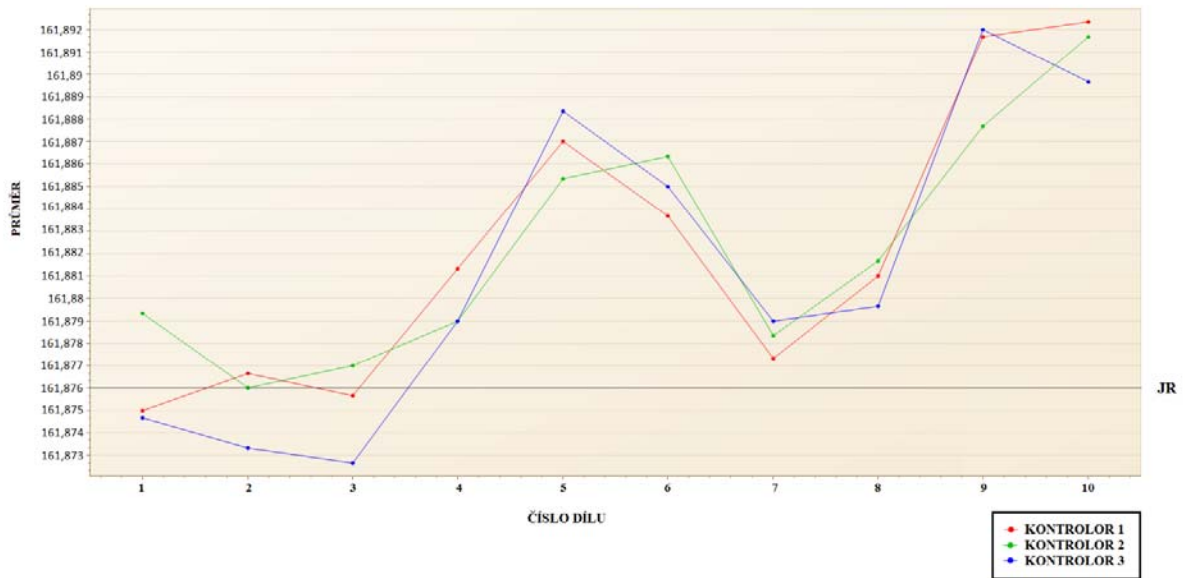


## **PŘÍLOHA č. 2**

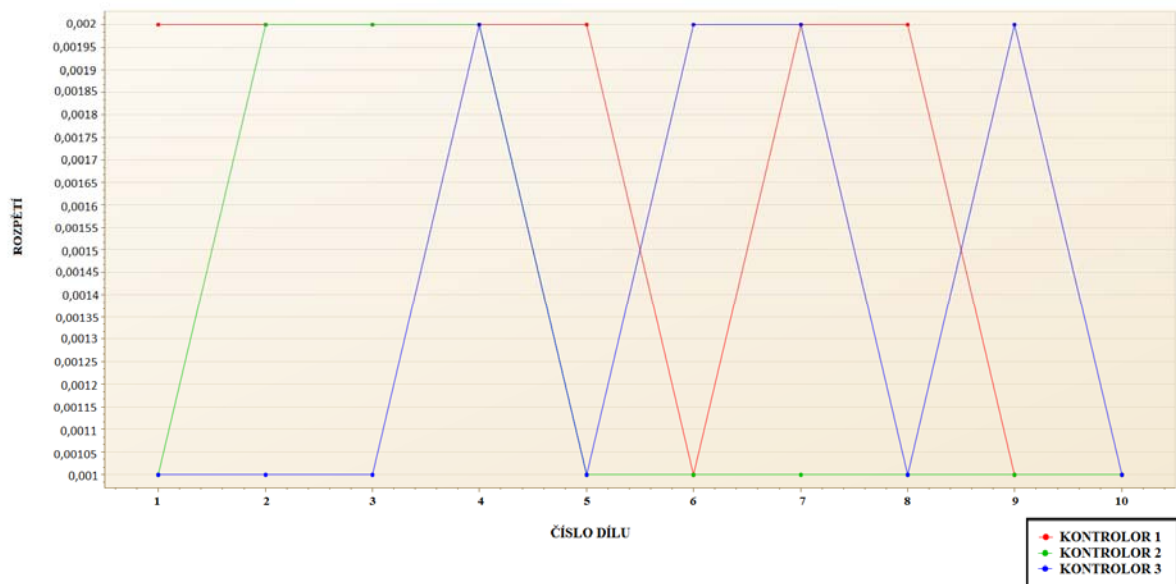
### **Sdružené diagramy pro průměr a rozpětí**

## Ø 161,876 mm

a) pro průměr

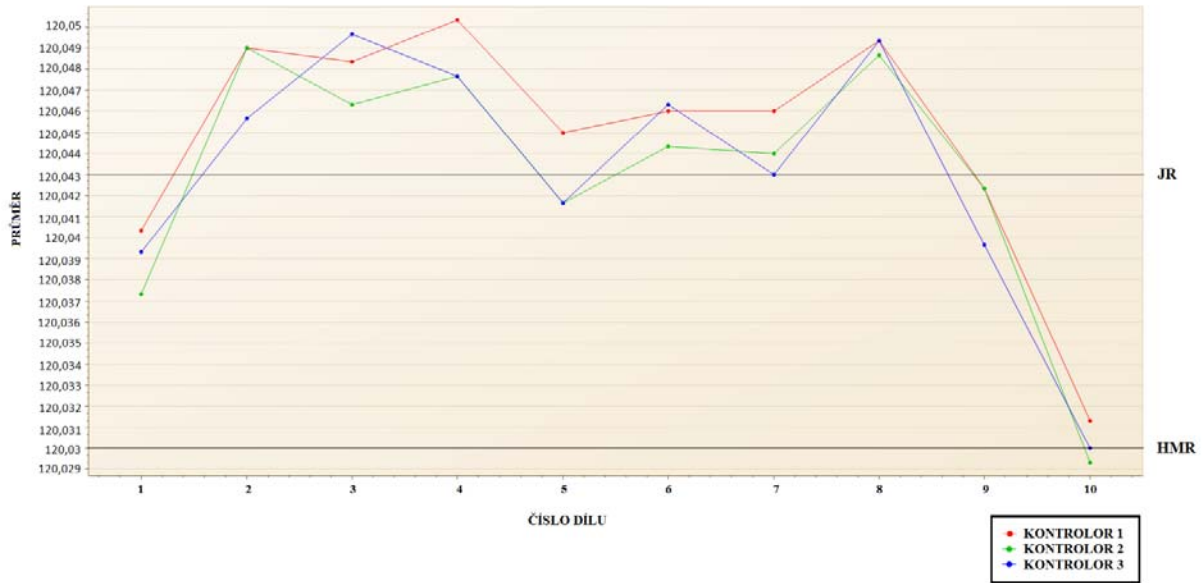


b) pro rozpětí

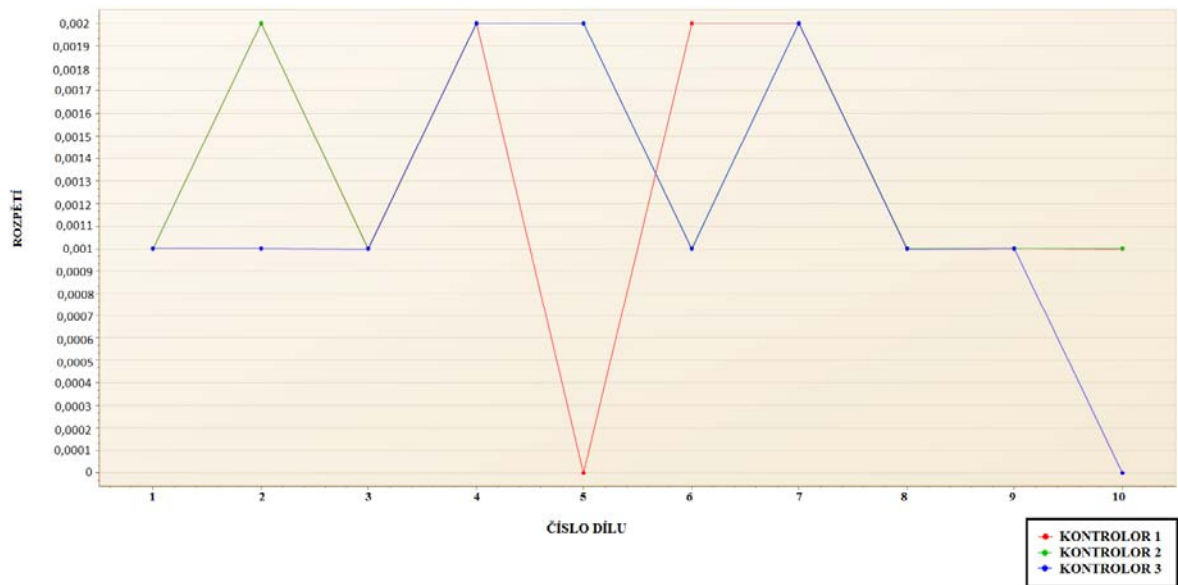


## Ø 120,043 mm

a) pro průměr

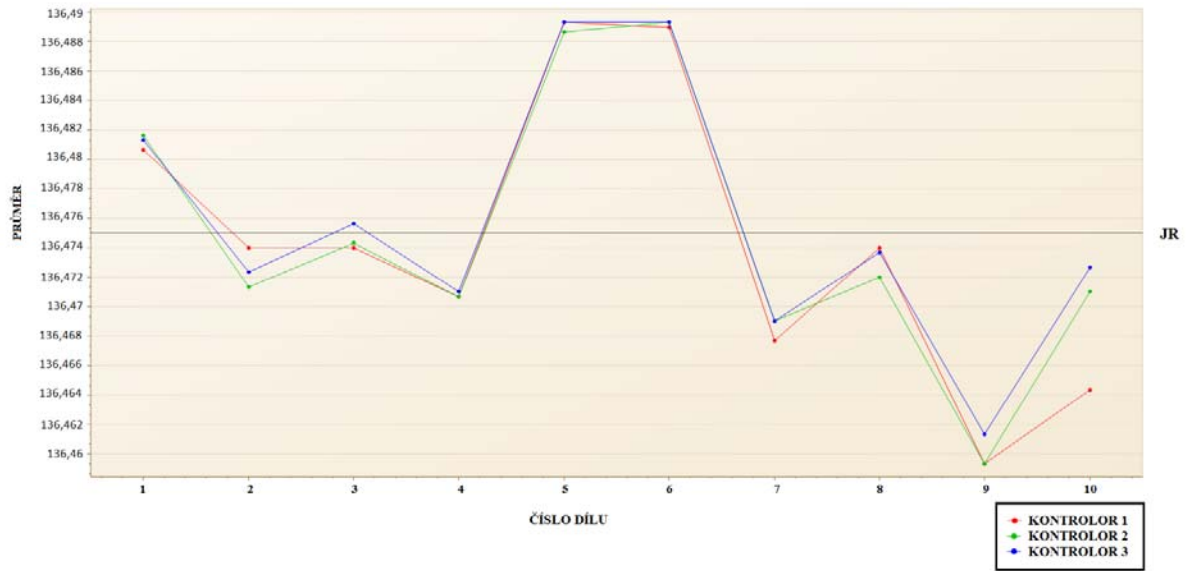


b) pro rozpětí

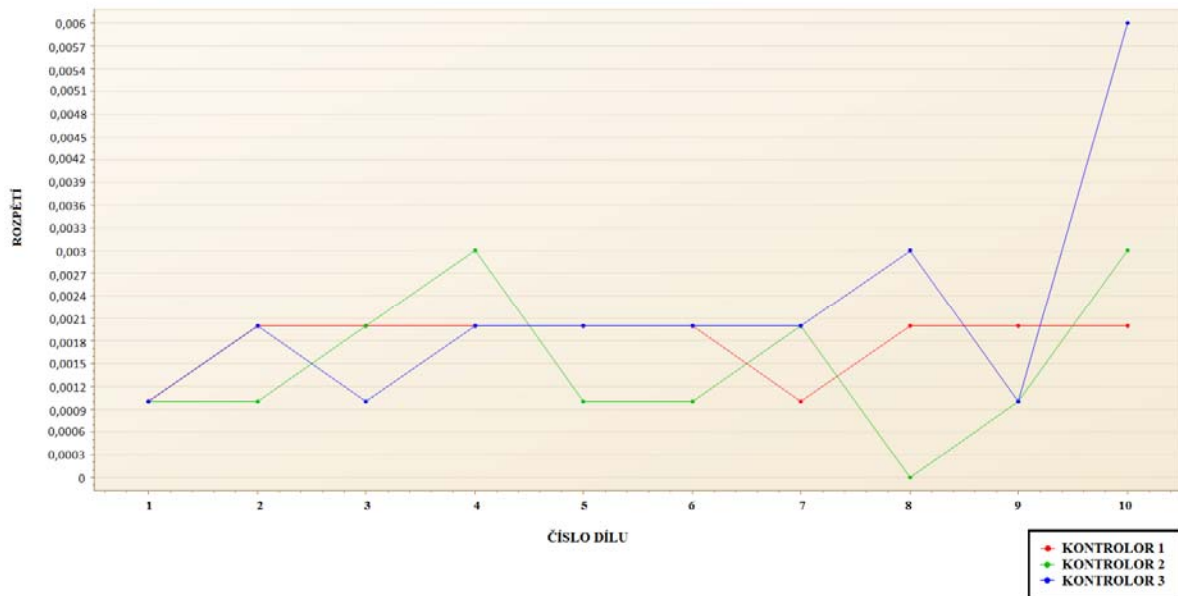


## Ø 136,475 mm

a) pro průměr

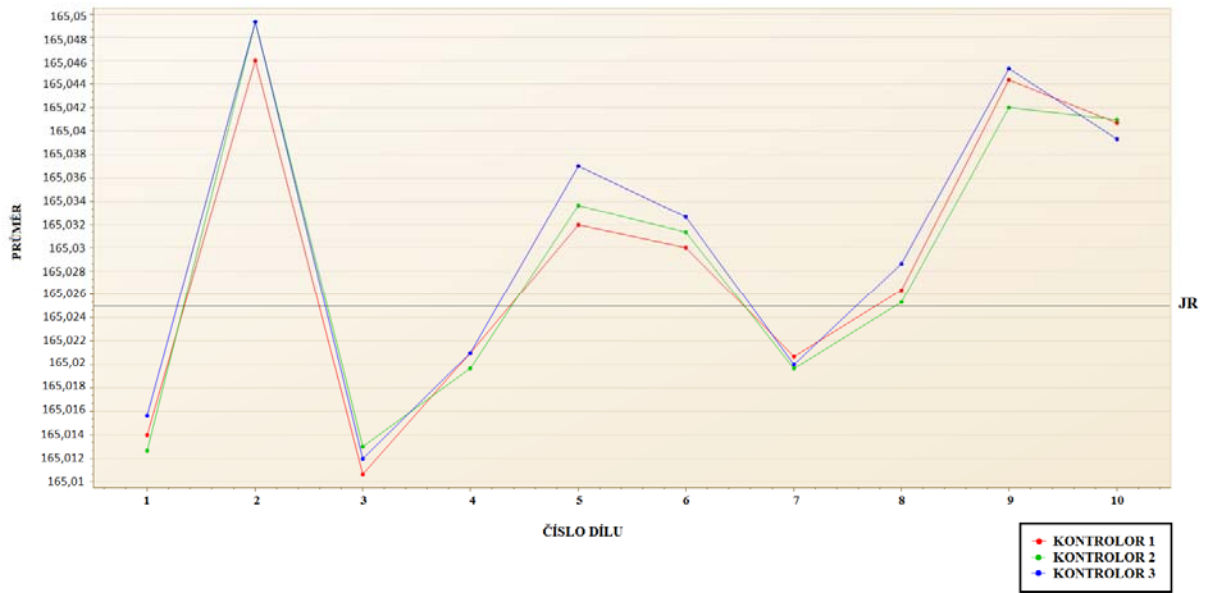


b) pro rozpětí

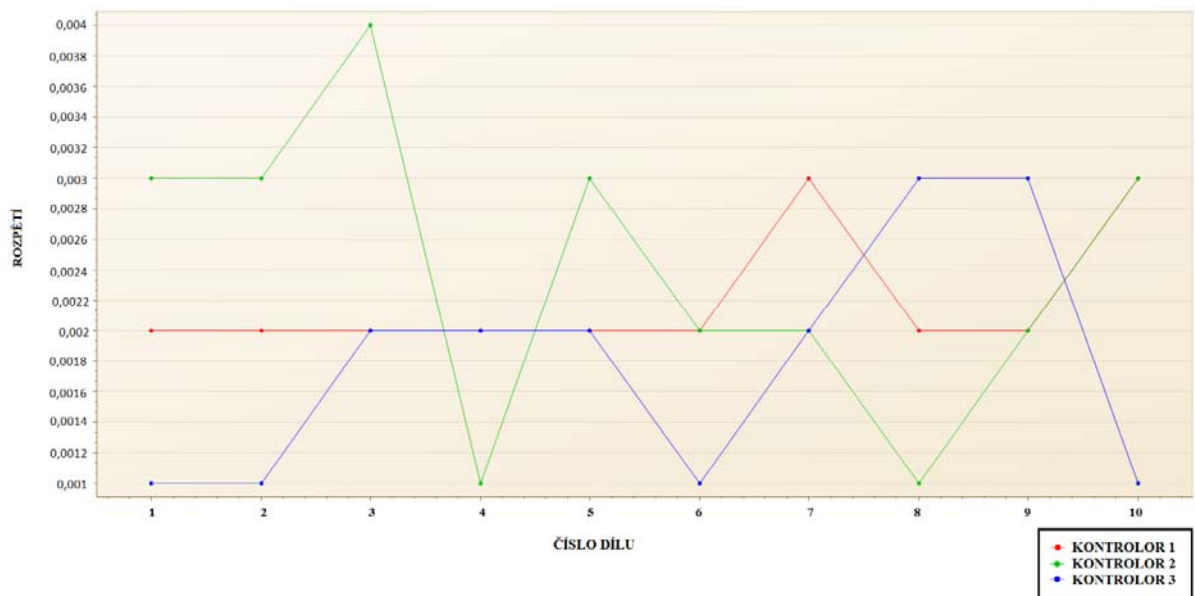


Ø 165,025 mm

a) pro průměr

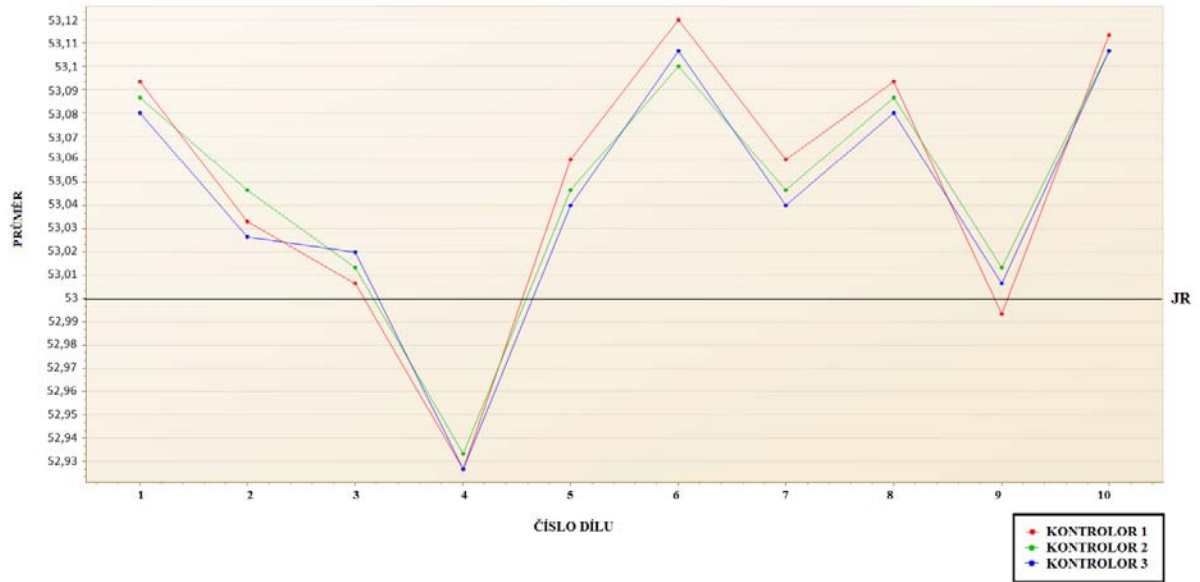


b) pro rozpětí

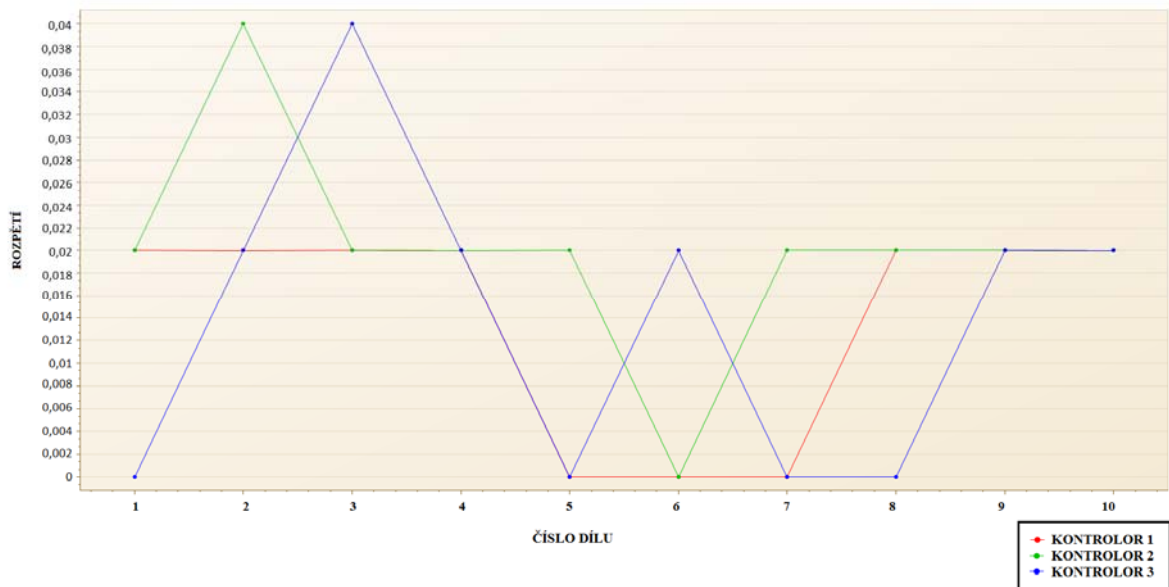


rozměr 53,0 mm

a) pro průměr

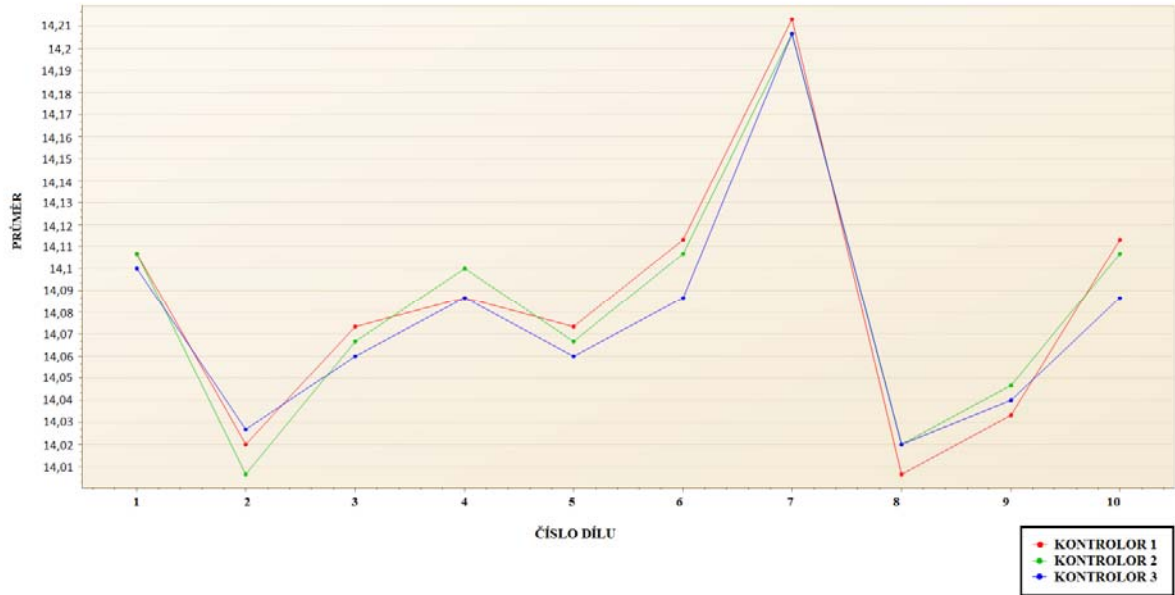


b) pro rozpětí

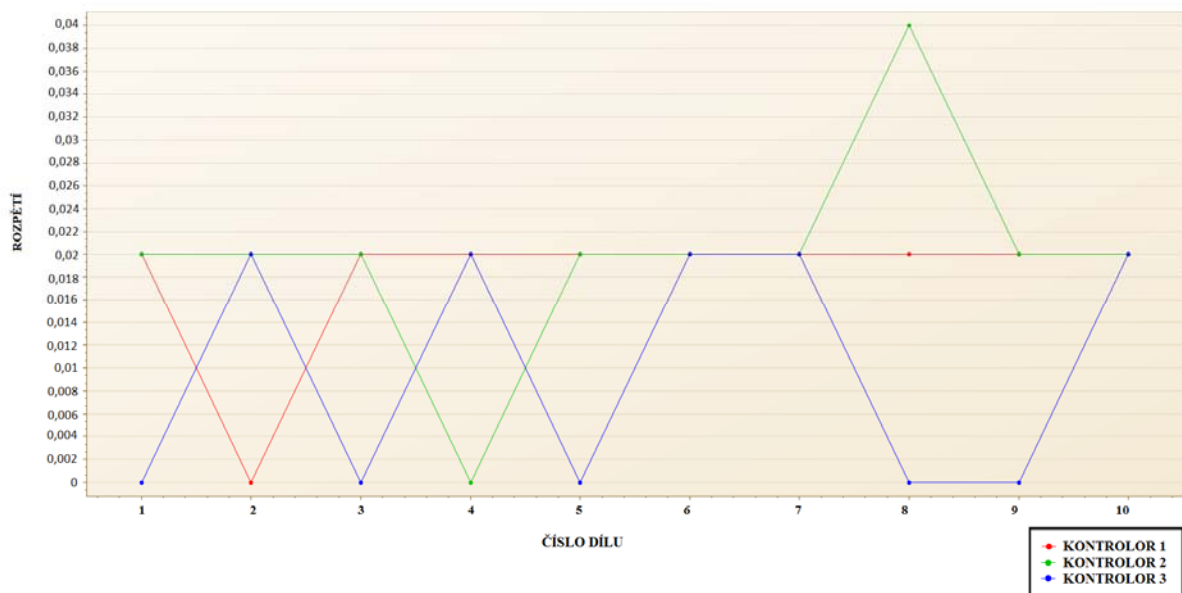


## rozměr 14,0 mm

a) pro průměr

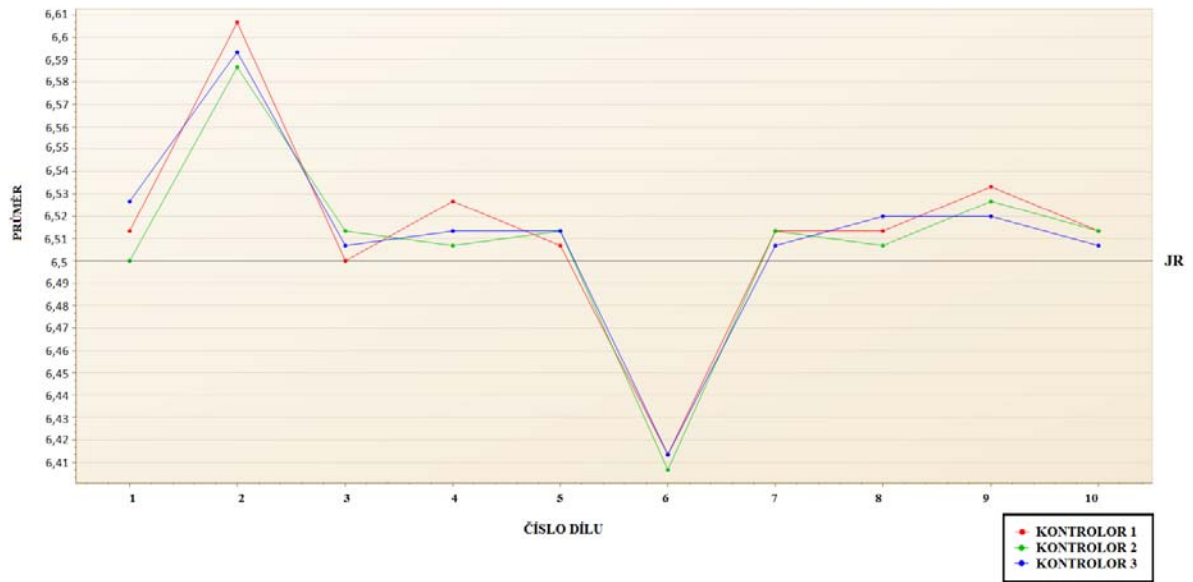


b) pro rozpětí

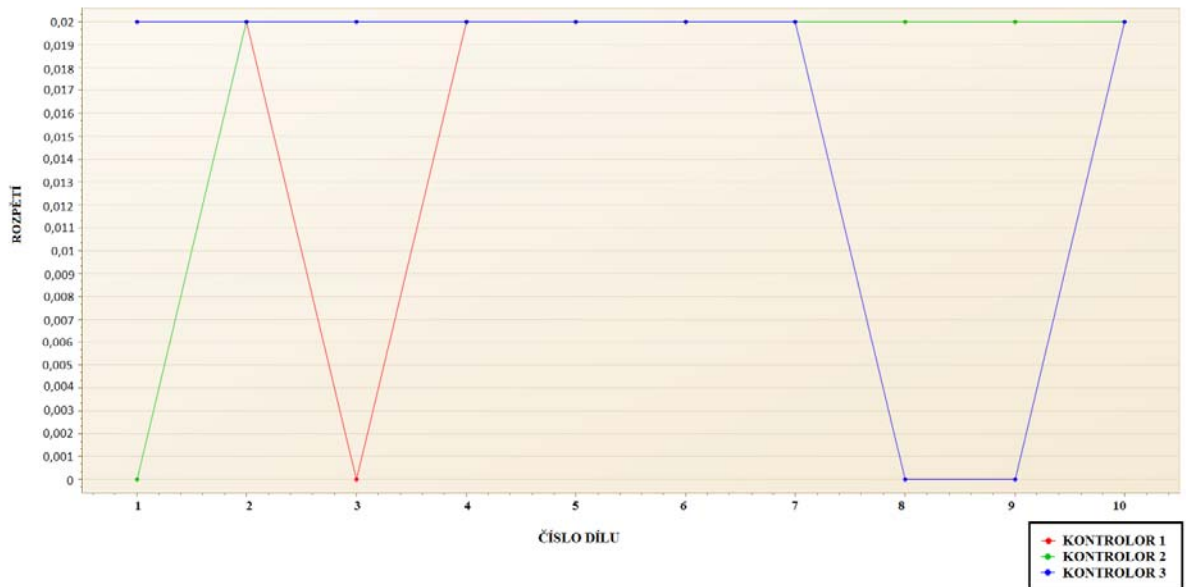


## rozměr 6,5 mm

a) pro průměr



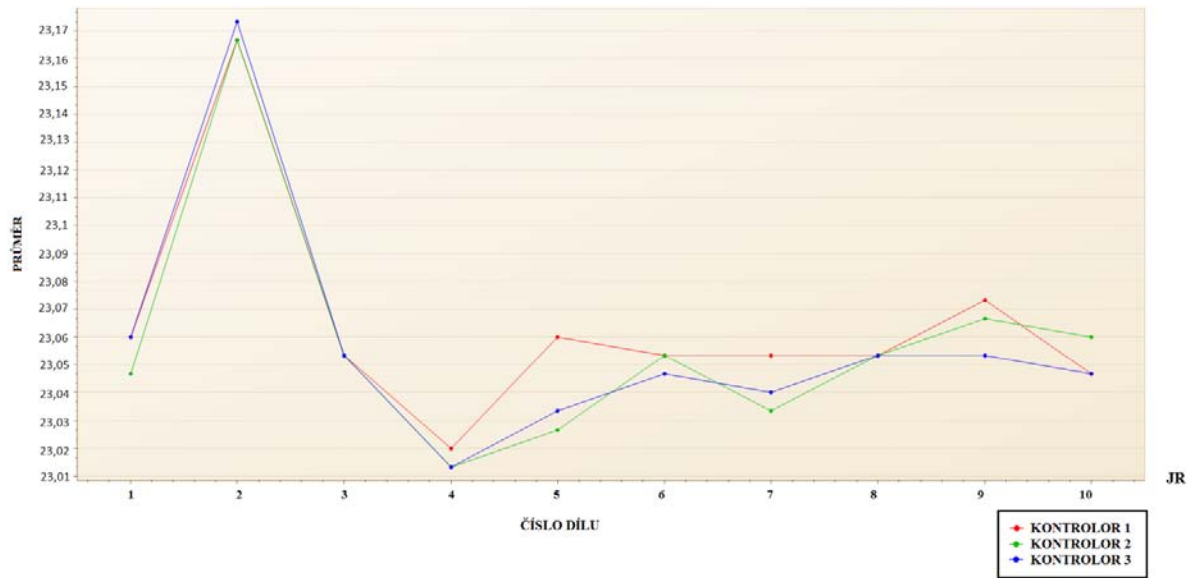
b) pro rozpětí



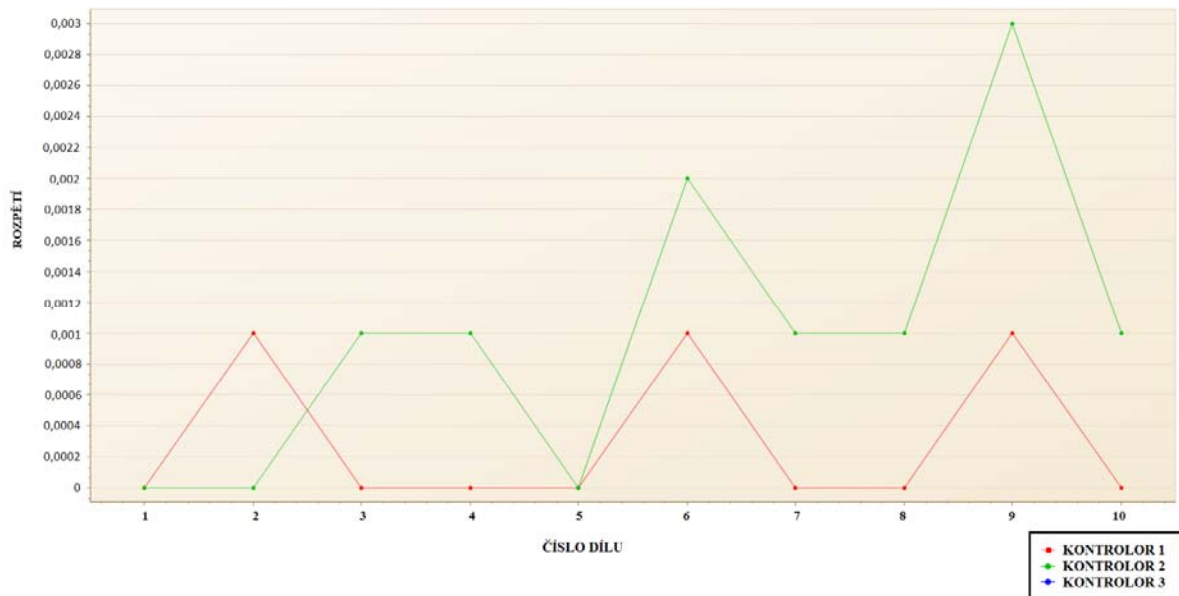


## Ø23,0 mm

a) pro průměr



b) pro rozpětí

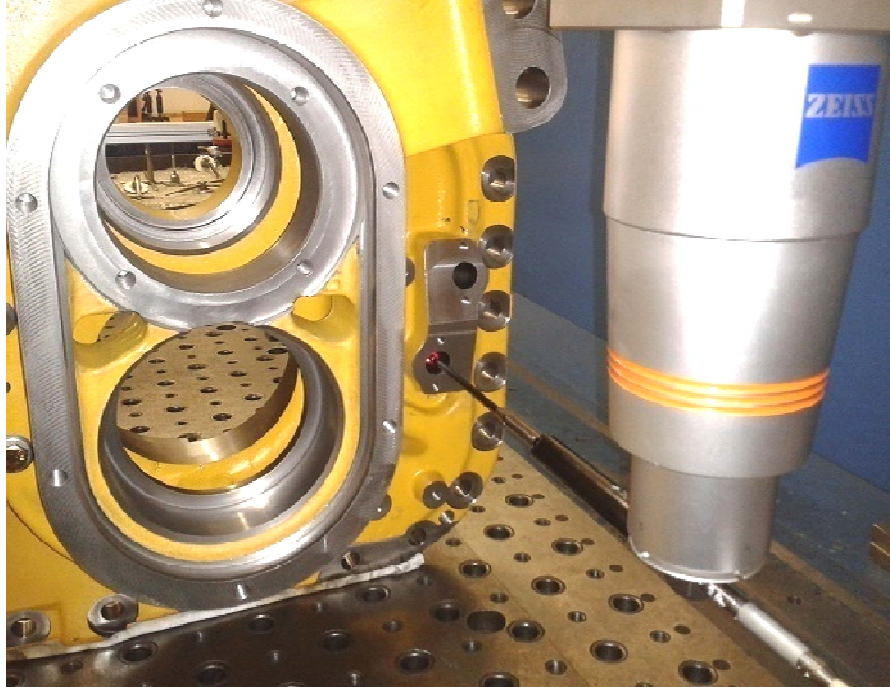


## **PŘÍLOHA č. 3**

### **Ukázky měření vybrané součásti**

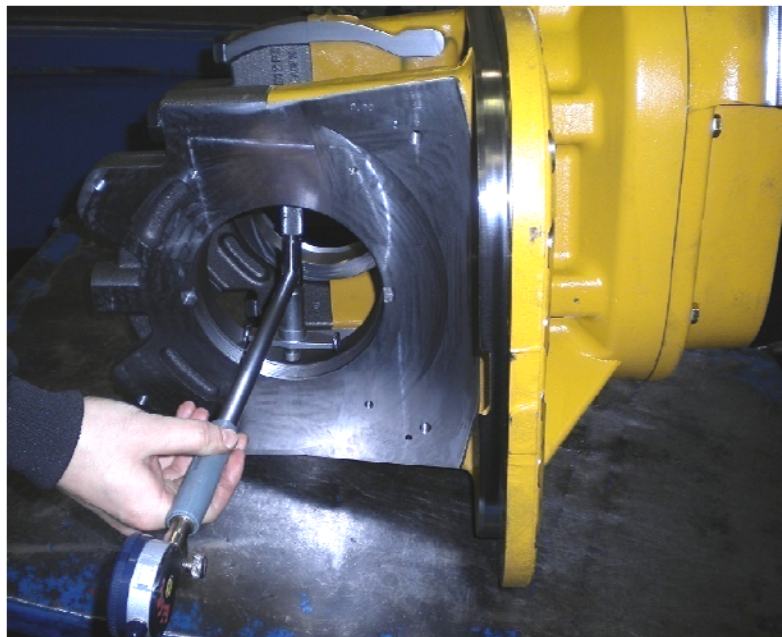
### Strojní měření [10]

- ukázka měření průměru (konkrétně  $\text{Ø}23,0\text{mm}$ ) portálovým zařízením značky Zeiss



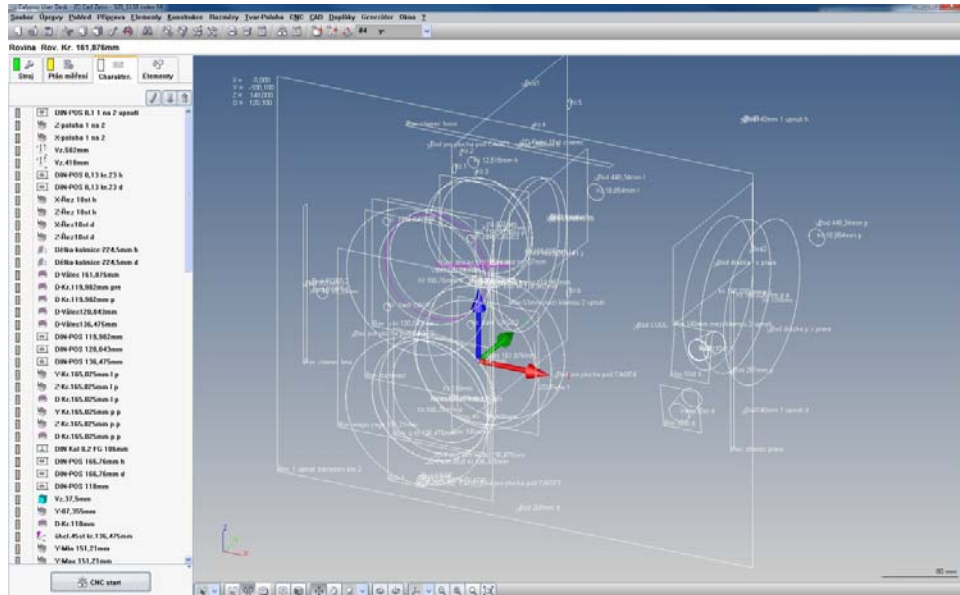
### Ruční měření [10]

- ukázka ručního měření číselníkovým úchylkoměrem, konkrétně  $\text{Ø} 165,025 \pm 0,035 \text{ mm}$



## Program Calypso [10]

- zde jsou vidět dráhy měření portálového měřicího zařízení



## Nosič diferenciálu [10]

- zde je součást focena zezadu, jsou zde vidět ložiskové pánve (šedá barva) připevněny šrouby k hlavní části (žlutá barva)

