

Hodnocení výrobní dávky z hlediska opakovatelnosti

Jan Kafka

Bakalářská práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan Kafka**
Osobní číslo: **T19202**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Hodnocení výrobní dávky z hlediska opakovatelnosti**

Zásady pro vypracování

1. Vypracování řešerše na zadané téma
2. Výběr dávky, četnosti výběru a měřených rozměrů
3. Hodnocená výrobní dávky s uvažováním podmínek opakovatelnosti

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

PATA, Vladimír a Milena KUBIŠOVÁ. *Statistické metody hodnocení jakosti strojírenských povrchů*. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická, 2018. ISBN 978-80-7454-740-9.

BOHÁČEK, Jaroslav. *Metrology*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05351-5.

MILITKÝ, Jiří a Dana KŘEMENÁKOVÁ. *Metrologie a řízení jakosti*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-242-6.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Dr. Ing. Vladimír Pata**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 22. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce popisuje základní problematiku metrologie. Teoretická část zahrnuje základní pojmy metrologie, metody měření a základní popis dílu měřeného v praktické části. V praktické části byl vytvořen metrologický výkres, popsán CMM program pro měření dílů a základní statistické vyhodnocení výsledků měření.

Klíčová slova: Metrologie, měřidlo, měření, CMM

ABSTRACT

This bachelor labour describes the basic problems of metrology. The teoretical part incudes the basic concept of metrology, measurement methods and the basic description of the part used in practical part. In the practical part, a metrological drawing was created, a CMM program for measuring parts and a basic statistical evaluation of measurement results were described.

Keywords: Metrology,measuring tools, measurement, CMM

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu prof. Dr. Ing. Vladimíru Patovi, za poskytnuté rady, vedení, čas a pozornost, které mi věnoval během vypracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat všem pracovníkům společnosti Mubea Stabilizer Bar Systems s.r.o., kteří se mi věnovali při vypracování praktické části.

OBSAH

ÚVOD.....	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 METROLOGIE.....	10
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY	10
1.2 METROLOGIE A JEJÍ KATEGORIE	12
1.2.1 Metrologie vědecká	12
1.2.2 Legální metrologie	12
1.2.3 Praktická metrologie	12
1.3 METROLOGICKÝ ŘÁD	12
2 MĚŘENÍ.....	16
2.1.1 Měřidla	17
2.1.2 Měřicí přístroje.....	20
2.1.3 CMM přístroje.....	21
2.2 METODY MĚŘENÍ.....	24
2.3 PŘESNOST A CHYBY MĚŘENÍ.....	26
2.4 NEJISTOTY MĚŘENÍ.....	29
3 MĚŘENÝ DÍL	30
3.1 STABILIZÁTOR NÁPRAVY	30
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	31
4 KONTROLA ROZMĚRŮ STABILIZÁTORU DLE VÝKRESU.....	32
4.1 VYTVOŘENÍ MODELU	32
4.2 VYTVOŘENÍ METROLOGICKÉHO VÝKRESU DLE FIREMNÍCH POŽADAVKŮ	42
4.3 VÝBĚR METROLOGICKÉHO ZAŘÍZENÍ.....	43
4.4 POPIS PROGRAMU CMM	44
4.5 POSTUP VYHODNOCENÍ	47
ZÁVĚR	54
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	55
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	57
SEZNAM OBRÁZKŮ	58
SEZNAM TABULEK.....	60
SEZNAM PŘÍLOH.....	61

ÚVOD

Metrologie je vědní disciplína zabývající se měřením, které ovlivňuje lidskou činnost nejen ve strojírenském průmyslu. Je nezbytnou součástí dalších vědních oborů a disciplín. Zajišťuje jednotnost, správnost a spravedlnost daných úkonů. Předepisuje nám normy, které ovlivňují každodenní život.

V dnešní době je cílem co největší přesnost a detailnost, proto je neustále vyvíjeno kvalitnější měřicí vybavení. Tímto zlepšujeme samotnou kvalitu výroby a tím i spokojenost zákazníka.

Tímto je tvořen velký nátlak na kvalitu a správnost měření, což nám eliminuje výskyt chyb a snížení zmetkovitosti výroby.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 METROLOGIE

Metrologie se zabývá správností měření a jeho jednotností. Jedná se o souhrn všech teoretických a praktických procesů souvisejících s měřením bez ohledu na úroveň a přesnost v kterékoliv oblasti vědy a techniky. [2,7,12,15,17]

1.1 Základní pojmy

Etalon

Je měřidlo sloužící k provedení a uchování jednotky nebo stupnice a k jejímu přenosu na měřidla s nižší přesností. [2,7,12,15,17]

Kontrolní měřidla

Nahrazují etalony a slouží pouze ke kontrolním účelům. Měly by mít vyšší přesnost než měřidla používaná pro měření v provozních podmínkách. Návaznost se provádí kalibrací na etalon vyššího řádu. [2,7,12,15,17]

Pracovní měřidla

Používají se k měření na výrobních pracovištích. Mají vliv na kvalitu a množství výroby, dále také na bezpečnost práce a ochranu životního prostředí. Musí být periodicky kalibrována. [2,7,12,15,17]

Informativní měřidla

Jsou definována jako měřidla neovlivňující jakost, množství nebo bezpečnost práce. Pouze orientačně určují stav či velikost měřeného jevu. Mohou, ale nemusí podléhat kalibraci. [2,7,12,15,17]

Návaznost měřidel

Je proces zařazení měřidla do nepřerušené posloupnosti přenosu hodnot veličin. Tento proces začíná u etalonu nejvyšší metrologické kvality pro danou operaci. [2,7,12,15,17]

Ověřování měřidla

Je proces, při kterém je potvrzeno, že měřidlo má požadované vlastnosti, a že odpovídá nařízeným normám a dalším právním předpisům pro užití konkrétního měřidla. [2,7,12,15,17]

Kalibrace

Je soubor operací, pomocí kterých se porovnávají vlastnosti měřidla s vlastnostmi měřidla metrologicky návazným, zpravidla etalonem. [2,7,12,15,17]

Kalibrační postup

Je předpis, ve kterém jsou uvedeny činnosti potřebné pro správnou kalibraci měřidla. Měl by být úplný, srozumitelný, účelný, validovaný, stručný a přehledný. [2,7,12,15,17]

Metrologická konfirmace

Je soubor činností podléhající normám. Musí zajistit, aby měřící vybavení bylo ve shodě s požadavky na jeho používání. Obecně zahrnuje kalibraci, ověřování a jakékoli nezbytné seřízení. [2,7,12,15,17]

Přesnost

Jde o schopnost přístroje udávat hodnoty blízké skutečným hodnotám měřené veličiny. [2,7,12,15,17]

Nejistoty

Je to odhad části měření, který určuje rozmezí naměřených hodnot, v němž se nachází skutečná hodnota měřené veličiny.

Nejistoty se můžou dotknout výsledku měření, ale i hodnot odečtených na pomocných zařízeních [6,8,10,11,12]

Nejistota typu A

Tuto nejistotu stanovíme statistickou analýzou naměřené série. Je ovlivněná náhodnými vlivy [6,8,10,11,12]

Nejistota typu B

Odhaduje se expertním odhadem podle dostupných informací a zkušeností. Přičemž používáme například technické parametry zařízení, zkušenosti z předchozích měření, údaje z kalibrace a vlastnosti materiálů. [6,8,10,11,12]

Nejistota typu C

Kombinovaná nejistota je získána sloučením nejistoty A, a výsledné nejistoty B. [6,8,10,11,12]

1.2 Metrologie a její kategorie

1.2.1 Metrologie vědecká

Jedná se spíše o činnosti výzkumného, vývojového a vědeckého charakteru. Zabývá se rozvojem oboru měření a vytváří předpoklady pro užití praktického měření. Jedná se například o vývoj etanolu, měřících přístrojů a jejich uchovávání, popřípadě vývojem nových měřících metod. [2,7,12,15,17]

1.2.2 Legální metrologie

Používá se u činnostech, které vyplývají ze závazných požadavků týkajících se měření, měřidel a měřících metod. Legální lze využít i v jiných oblastech například ve školství nebo zdravotnictví. [2,7,12,15,17]

1.2.3 Praktická metrologie

Jedná se o metrologii používanou ve výrobních podnicích. Zajišťuje správnou funkci měřidel ve výrobních, vývojových a zkušebních procesech. [2,7,12,15,17]

1.3 Metrologický řád

Jedná se o souhrn pravidel každého podniku, který pracuje s měřidly. Udává pokyny pro práci s měřidly. Za dodržování metrologického řádu na pracovišti zodpovídá řádně proškolený metrolog, jehož povinností je i zajištění kalibrace a způsobilého stavu každého měřidla, měřícího a kontrolního zařízení a testovacích zařízení. Metrolog odpovídá za správnou evidenci měřidel, popřípadě vybrání odpovídající externí měřící laboratoře.

Každý pracovník je povinen dodržovat předepsaný metrologický řád. Což zahrnuje udržování přiděleného měřidla a jeho kontrolu před použitím.

Evidenci měřidel lze vést buď v elektronické nebo v papírové formě. Je doporučeno vhodné rozlišování měřidel, ať už číselně, či barevně. U každého měřidla je potřeba evidovat chybu daného měřidla. Je to chyba určená za referenčních podmínek a tyto

podmínky je třeba dodržet pro správnost měření. Neméně důležitou informací k evidenci je třída přesnosti měřidla, která se zpravidla udává symbolem nebo číslem. [2,7,12,15,17]

Metrologický řád podniku by měl obsahovat:

- Obsah
- Cíl
- Pojmy, zkratky, definice
- Pravomoci a odpovědnosti
- Rozdělení měřidel
- Výdej měřidel
- Zvolení měřidel
- Evidence a označování měřidel
- Kalibrace a ověřování měřidel
- Vyřazování měřidel
- Související dokumenty a přílohy

Přílohy metrologického řádu mohou obsahovat tyto dokumenty:

- Oznámení o vadném měřidle
- Objednávání externích kalibrací
- Matice odpovědnosti
- Matice dokumentace
- Doklad o převzetí měřidel
- Seznam referenčních materiálů
- Kalibrační postupy
- Seznam měřidel
- Evidenční karty měřidel [2,7,12,15,17]

Povinnosti uživatele měřidla:

- Použití pouze evidovaných měřidel
- Ohlásit neshodná měřidla
- Zkontrolovat funkčnost měřidla
- Správnou manipulaci a práci s měřidlem
- Dodržovat předepsané uchovávání měřidla
- Sledování kalibračních známek

Obsah evidenční karty:

- Název měřidla
- Model, typové označení a jméno výrobce
- Výrobní číslo
- Evidenční číslo
- Umístění měřidla
- Podrobné údaje ověřování a kalibrací
- Evidence oprav a závad [2,7,12,15,17]

2 MĚŘENÍ

Měření je číselné zkoumání fyzikálních, geometrických a dalších procesů, vlastností předmětů a jevů, nejčastěji srovnáním s obecně platnou jednotkou. Výsledkem měření je číselná hodnota vyjadřující poměr měřené veličiny k jednotce s uvedením této jednotky.

Významem je charakteristika měřené veličiny, než pouze kvantitativní údaj.

Výhoda je možnost opakování měření a porovnávání naměřených výsledků.

Výsledky můžeme zpracovávat matematickými prostředky.

Měřením se tedy rozumí způsob získávání kvantitativních informací o okolí, nebo o měřených jevech, či procesech.

Měření můžeme rozdělit například podle typu metody na základě které dané měřidlo, či měřicí zařízení pracuje. [1,6,8,11,12,14]

Absolutní metoda

Při této metodě měřidlo zobrazí hodnotu měřené veličiny přímo. Například měření hmotnosti na váze. [1,6,8,11,12,14]

Relativní metoda

U relativní metody porovnáváme měřenou vlastnost s jednotkovými tělesy. Například měření hmotnosti na rovnoramenných vahách. [1,6,8,11,12,14]

Přímé měření

Tato metoda spočívá v porovnávání měřené hodnoty s měřidlem, či měřicím zařízením. Například měření délky posuvným měřítkem. [1,6,8,11,12,14]

Nepřímé měření

U tohoto měření nedostáváme konkrétní měřenou hodnotu, ale pouze veličiny, ze kterých tuto hodnotu můžeme určit. Například měření elektrického proudu pomocí magnetické síly. [1,6,8,11,12,14]

2.1.1 Měřidla

Jsou to zařízení určené k měření a vyhodnocení zjišťované hodnoty.

- Pracovní měřidla stanovená
- Pracovní měřidla nestanovená
- Kontrolní měřidla
- Etalony
- Orientační měřidla

Pracovní měřidla stanovená

Tato měřidla určuje dané ministerstvo příslušnou normou k povinnému ověření podle jejich použití a významu.

- Pro ochranu životního prostředí
- Pro ochranu zdraví a bezpečnost práce
- Pro ochranu veřejných zájmů podle speciálních právních předpisů
- Pro stanovení sankcí. Poplatků, daní a tarifů
- V závazkových vztazích, například prodej, nájmu nebo darování věcí.
[1,6,8,11,12,14]

Pracovní měřidla nestanovená

Tato měřidla slouží k použití na výrobních pracovištích. Ovlivňují kvalitu a kvantitu výroby. Konstruují se s ohledem na bezpečnost práce, ochranu životního prostředí a ochranu zdraví. Tato měřidla a měřicí zařízení musí být periodicky kalibrována a ověřována. Kalibrace je prováděna buď uživatelem na pracovišti nebo v externích laboratořích. [1,6,8,11,12,14]

Kontrolní měřidla

Těmito měřidly nahrazujeme etalony. V pracovních podmínkách se nepoužívají. Slouží výhradně ke kontrolním účelům. Musí být zaevidována v metrologickém řádu daného pracoviště. Kontrolní měřidla musí mít minimálně o řád vyšší přesnost než měřidla

používaná k měření na pracovišti. Návaznost je zajišťována kalibrací na etalon vyššího řádu. [1,6,8,11,12,14]

Etalon

Je měřidlo sloužící k provedení a uchování jednotky nebo stupnice a k jejímu přenosu na měřidla s nižší přesností. Nesmí se používat pro provozní měření, slouží primárně k zabezpečování jednotnosti měřidel a měření. Navázání etalonů se provádí pomocí kalibrace, kterou se zajišťuje jejich shodnost a přesnost. [2,7,12,15,17]

Orientační měřidla

V metrologických řádech jsou definovaná jako měřidla neovlivňující kvalitu ani kvantitu výroby, zároveň ani bezpečnost práce. Tato měřidla pouze orientačně udávají stav nebo velikost měřené hodnoty. Tato měřidla nejsou stanovena zákonem. [2,7,12,15,17]

Délková měřidla

Měření délky patří k jednomu z nejběžněji používaným metrologickým operacím ve strojírenském průmyslu. Délkové měření představuje až 70 % délek ze všech měření. [2,7,12,15,17]

Rozdělení délkových měřidel:

1. Posuvná měřítka a mikrometrická měřítka
2. Pevná a mezní měřidla
3. Koncové měrky
4. Měřicí přístroje a měřidla s převodem:
 - a) Mechanickým
 - b) Mechanicko – optickým
 - c) Elektrickým
 - d) Pneumatickým
5. Délkové měřicí přístroje
6. Mikroskopy
7. Optické měřicí přístroje
8. Vícerozměrová měřidla
9. Souřadnicové měřicí stoje
10. Měřicí stanice

2.1.2 Měřicí přístroje

Slouží k určení fyzikálních hodnot a chemických vlastností nejrůznějších předmětů, látek a procesů. Tyto naměřené hodnoty se vyjadřují číslem v určitých jednotkách. Hranice mezi měřícím přístrojem a měřidlem není zcela jasně vymezena. [1,6,8,11,12,14]

Základní charakteristiky:

- **Měřicí rozsah**

Vymezuje přípustný měřicí rozsah hodnot měřené veličiny. Při překročení tohoto rozsahu může hrozit poškození přístroje.

- **Citlivost**

Citlivost přístroje udává nejmenší možnou změnu zjistitelnou měřícím přístrojem.

- **Přesnost**

Přesnost udává zaručenou horní mez chyby měření

Analogový měřicí přístroj

Tyto přístroje plynule sledují měřenou veličinu. Průběh údaje v závislosti na čase analogového přístroje je podobný jako průběh měřené hodnoty. [1,6,8,11,12,14]

Digitální měřicí přístroj

Digitální měřicí přístroje pracují na principu kvantování. Kvantizace je proces převodu spojitého vstupního signálu na počítatelný výstupní signál. Ve srovnání s analogovými měřicími přístroji mají digitální menší spotřebu energie. Příkladem digitálních přístrojů může být například digitální multimetr. [1,6,8,11,12,14]

2.1.3 CMM přístroje

Coordinate measuring machine, dále jen CMM je měřicí zařízení, které se využívá pro měření geometrických rozměrů zkoumaného tělesa. Využívá měřících dotykových sond pro zjištění jednotlivých bodů na povrchu tělesa.

Výhoda použití CMM oproti konvenčním měřicím zařízením spočívá ve zvýšené přesnosti měření, rychlosti měření a snížení možných chyb způsobených lidskými faktory.

CMM přístroje můžeme dělit dle jejich provedení. Každé provedení má své výhody a nevýhody a liší se dle použití a systému měření. [13,14,16]

Mostové CMM

U mostového CMM se měřicí sonda pohybuje ve třech osách kartézského souřadného systému. Pohyb v každé ose je snímán senzorem pro určení pozice sondy v každém bodě. Když se sonda dotkne povrchu, tak se tento bod zaznamená. Spolu s dalšími body je tímto způsobem kopírován povrch měřeného tělesa.

Výhody mostových CMM:

- Jedno z nejpřesnějších typů CMM
- Vhodné pro malé a střední měřené objekty
- Možné využití více-senzorových měřících nástrojů
- Nevýhody mostových CMM
- Finančně nákladné
- Mohou mít limitovaný měřicí rozsah
- Obtížně přemístitelné
- Citlivé vůči vibracím a musí být používány v laboratorních podmínkách [13,14,16]

Portálové CMM

Portálové CMM jsou podobné jako mostové CMM s rozdílem, že jsou většinou mnohem větší, jelikož jsou konstruovány tak, aby odstranily nutnost použití jeřábu pro vyzdvižení měřeného dílu na stůl. Dosahují podobné přesnosti jako mostové CMM. Jsou využívány pro měření velkých dílů a musí být pevně uložena na základové ploše.

Výhody portálových CMM:

- Velmi přesné
- Velký měřicí rozsah pro velké součásti
- Jednodušší uložení měřené součásti v pracovních plochách

Nevýhody portálových CMM:

- Mají daný měřicí rozsah
- Obtížně přenosné
- Zabírají spoustu místa
- Citlivé vůči vibracím
- Nutnost umístění v metrologické laboratoři [13,14,16]

Konzolové CMM

Hlavním rozdílem je uložení měřicí hlavy pouze na jedné straně pojízdné základny. Což nám umožňuje větší přístupnost do měřicího prostoru.

Výhody konzolových CMM:

- Vysoká přesnost
- Vhodnější pro menší díly
- Přístup ze tří stran umožňuje automatizace umístění a vyjmutí součásti z měřicího prostoru

Nevýhody konzolových CMM:

- Daný měřicí rozsah
- Citlivé vůči vibracím [13,14,16]

Přenosné měřící rameno CMM

Je měřící zařízení umožňující měření bez nutnosti přesunutí měřeného dílu do laboratoře, což nám umožňuje získat rychle výsledky. Konstrukce vychází z kloubového ramene které měří v šesti nebo sedmi osách, pro měření součásti kdekoli je to potřeba. Například pro měření součásti, která již je umístěna v sestavě.

Výhody měřících ramen:

- Lehké a snadno přenosné
- Možnost rozšíření měřícího rozsahu
- Možnost využití více-senzorových měřidel
- Cenově dostupnější
- Bez nutnosti vytvoření programu

Nevýhody měřících ramen:

- Menší přesnost než ostatní typy CMM
- Citlivé vůči vibracím měřeného systému [13,14,16]

Optické CMM

Optické CMM jsou přenosná bezdoteková zařízení. Svou nižší přesnost nahrazují velkou měřící rychlostí a možností použití pro velkou škálu měřících operací.

Výhody optických CMM:

- Lehké a přenosné
- Měnitelný měřící rozsah
- Rychlost měření
- Bez nutnosti vytváření programu

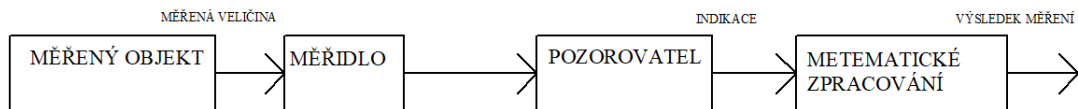
Nevýhody optických CMM

- Nižší přesnost než konvenční CMM, ale záleží na použití. [13,14,16]

2.2 Metody měření

Měření je kvantitativní zjišťování geometrických nebo fyzikálních vlastností zkoumaných předmětů či veličin.

Měřicí metoda je souhrn teoretických a praktických činností nutných k provedení měření dle daného postupu. [1,6,8,11,12,14]



Obrázek 1 Blokové schéma procesu měření

Metody měření lze obecně rozdělit dle různých kritérií

- Způsobu odečítání měřené veličiny
- Stylem získání měřené veličiny
- Typu měřené veličiny
- Stylem určení měřené veličiny

Dle stylu určení zkoumané veličiny

- Definiční – korespondují se základní definicí veličiny
- Odvozené – je odvozena dle jiných postupů a základů než základní definice veličiny [1,6,8,11,12,14]

Dle stylu získání měřené veličiny

Přímé:

Jde o měřicí metodu, při které měřené hodnoty můžeme rovnou odečíst bez potřeby následného přepočítání. Pod přímé metody měření spadají i metody, kdy používáme měřidlo opatřené stupnicí s konvenčními hodnotami, které jsou vázány na hodnoty v tabulkách či grafech. Příkladem přímého měření může být měření délek posuvným měřidlem, měření teploty digitálním teploměrem, měření hmotnosti na vahách nebo měření tlaku deformačním tlakoměrem. Přímé metody měření lze dále rozdělit na:

- Porovnávací – Jedná se o přímé měření veličin stejného druhu.

- Vyrovnávací – Použití pro vyrovnání elektronických zařízení. Účinek je vyrovnáván pomocí veličiny stejného druhu.
- Nahrazovací – Účinek použité veličiny je nahrazen jinou známou hodnotou této veličiny.
- Přemísťovací – Jedná se o postupné přesouvání zkoumané veličiny a známých hodnot. Například vážení. [1,6,8,11,12,14]

Nepřímé:

Zkoumanou hodnotu dostaneme až díky použití/přepočítání jiné veličiny, která je vázána na zkoumanou veličinu známým vztahem. Příkladem nepřímého měření může být měření úhlu pomocí sinusového pravítka, nebo měření rychlosti podle dráhy a naměřeného času. Nepřímé metody měření můžeme dále dělit podle:

- Způsobu snímání zkoumané hodnoty:
 - Dotykové
 - Bezdotykové
- Druhu měřené veličiny:
 - mechanické
 - elektrické
 - optické [1,6,8,11,12,14]

2.3 Přesnost a chyby měření

V praxi neexistuje měření, měřící přístroj, ani měřící metoda, při které bychom dosáhli absolutní přesnosti. Je to dáno různými negativními vlivy, které nám ovlivňují reálný měřící proces. Tyto chyby se projevují odchylkou mezi naměřenou hodnotou a pravou hodnotou měřené veličiny. Proto se výsledky měření budou pohybovat v určitém tolerančním poli, které leží kolem skutečné hodnoty. Toto pole musí být u etalonu takřka nulové a je velice obtížné toho dosáhnout, jelikož dosažení výsledného rozdílu je tvořeno mnohdy složitou kombinací dílčích faktorů. Při vyhodnocení výsledků měření pracujeme s chybami, nebo prostřednictvím vyjadřování nejistoty měření

Chyby definujeme v absolutních nebo relativních hodnotách. Podle typu a působení chyby je můžeme rozdělit na systematické, náhodné a hrubé. A podle původu vzniku chyby je dělíme na chyby přístroje, metody, pozorování a vyhodnocení.

Chyba absolutní je chyba, kterou dostaneme rozdílem naměřené hodnoty a skutečné hodnoty. Po podělení absolutní chyby skutečnou hodnotou, dostaneme **relativní chybu**. [3,4,6,8,9,10,11,12]

$$\Delta y = y_m - x_z$$
$$\delta y = \frac{\Delta y}{x_z} = \frac{y_m - x_z}{x_z}$$

Systematické chyby jsou chyby, které jsou stálé velikostí a znaménkem a v měření nám systematicky ovlivňují výsledek. Pro jejich určení nám většinou postačí výpočet absolutní chyby. Výhodou těchto chyb je že je můžeme snadno určit a ze systému je částečně, nebo kompletně vyloučit. Chyby můžeme vyloučit například kompenzací, nebo korekcí. Tímto způsobem odstraníme podstatnou část systematické chyby a zbytek můžeme označit jako nevyložené systematické chyby. Daleko jednodušší je tento zbytek popsat pomocí nejistoty měření. [3,4,6,8,9,10,11,12]

Náhodné chyby jsou chyby těžko předvídatelné a objevují se nám v systému zcela nahodile, a tudíž je nemůžeme jednoznačně vyloučit. Při opakování měření se mění jejich velikost a znaménko. Pro určení jejich velikosti používáme statistické metody, které odpovídají patřičnému pravděpodobnostnímu modelu. Často se jedná například o normální rozdělení. Výsledkem měření je zde odhad aritmetického průměru získaným z určitého počtu opakovaných hodnot. [3,4,6,8,9,10,11,12]

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

V klasické teorii chyb náhodnou chybu určujeme pomocí směrodatné odchylky výběrového souboru, nebo směrodatná odchylka průměru.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^2 y_i}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$

$$s = \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n \cdot (n-1)}}$$

Obě směrodatné odchylky určitým způsobem blíže definují chování náhodných chyb.

Hrubé chyby jsou chyby, které se nám v systému objevují zcela nevyzpytatelně. Celé měření může být znehodnoceno hrubou chybou, které se zobrazují jako odlehlé hodnoty, a proto se ze systému vylučují a další zpracování probíhá bez nich. Snížit riziko výskytu hrubé chyby můžeme dodržением předepsaného měřicího postupu a použitím správných měřicích přístrojů. Výsledná chyba je vyjádřena jako součet systematické a náhodné složky. [3,4,6,8,9,10,11,12]

$$\Delta x = e + \varepsilon$$

A její maximální hodnotu lze odhadnout jako

$$\Delta y_{max} = (y - y_z) + 2s$$

Kde

$e = y - y \cdot s$ systematická složka

$\varepsilon = s$, popřípadě $\varepsilon = 2s$ náhodná složka

Součinitel rozšíření směrodatné odchylky souvisí s pravděpodobností a typem rozdělení.

Použití dvou směrodatných odchylek u Gaussova rozdělení označuje 95% pravděpodobnost. [3,4,6,8,9,10,11,12]

2.4 Nejistoty měření

Nejistota měření odráží limitující znalosti měřené hodnoty, jelikož pro úplné popsání veličiny by bylo potřeba nekonečné množství informací. Nejistoty měření jsou tvořeny jevy, které zabraňují tomu, že bychom mohli popsat výsledek jednou hodnotou. Tyto jevy nazýváme zdroje nejistot.

Standardní nejistota typu A:

Tato nejistota odpovídá náhodným chybám. Její příčiny jsou neznámé a nemůžeme ji tudíž z výsledku odstranit korekcí. Její hodnota ovšem klesá s počtem měření. [3,4,6,8,9,10,11,12]

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2}{n(n-1)}}$$

Nejistota typu B:

Nejistota typu B odpovídá systematickým chybám ovlivňujících výsledek měření. Tato nejistota neklesá s počtem měření. [3,4,6,8,9,10,11,12]

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m A_j^2 \cdot \frac{z}{k}}$$

Kombinovaná nejistota typu C:

Tuto nejistotu získáme kombinací nejistot A a B. [3,4,6,8,9,10,11,12]

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

Rozšířená standardní nejistota U:

Tuto nejistotu zavádíme abychom dosáhli intervalu, u kterého bude malá pravděpodobnost překročení. [3,4,6,8,9,10,11,12]

$$U = k \cdot u_C$$

Kde hodnotu koeficientu volíme běžně $k = 2$, což znamená, že 95% výsledků bude v této toleranci. [3,4,6,8,9,10,11,12]

3 MĚŘENÝ DÍL

3.1 Stabilizátor nápravy

Je jednoduché zařízení umístěné na nápravě automobilu, které pomáhá stabilizovat natáčení vozidla v zatáčkách a pomáhá vyrovnávat případné nerovnosti na vozovce. Většinou se jedná o trubku nebo tyč z pružného materiálu. Tuhost je dána materiálem stabilizátoru a délkou jeho ramen. Pracuje na principu vyrovnávání propojených kol do stejné výšky.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 KONTROLA ROZMĚRŮ STABILIZÁTORU DLE VÝKRESU

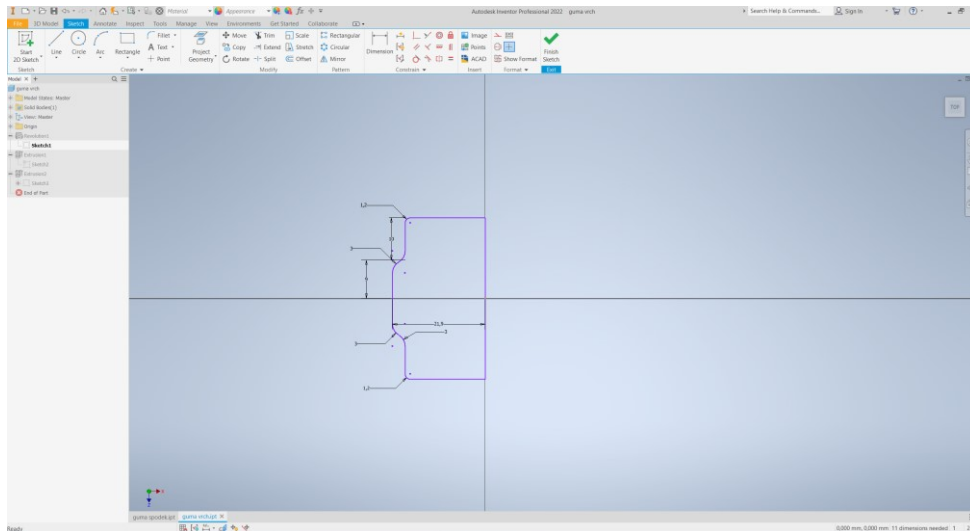
4.1 Vytvoření modelu

Dle zadané výkresové dokumentace byl vytvořen výkres stabilizátoru a dvou částí gumových uložení.

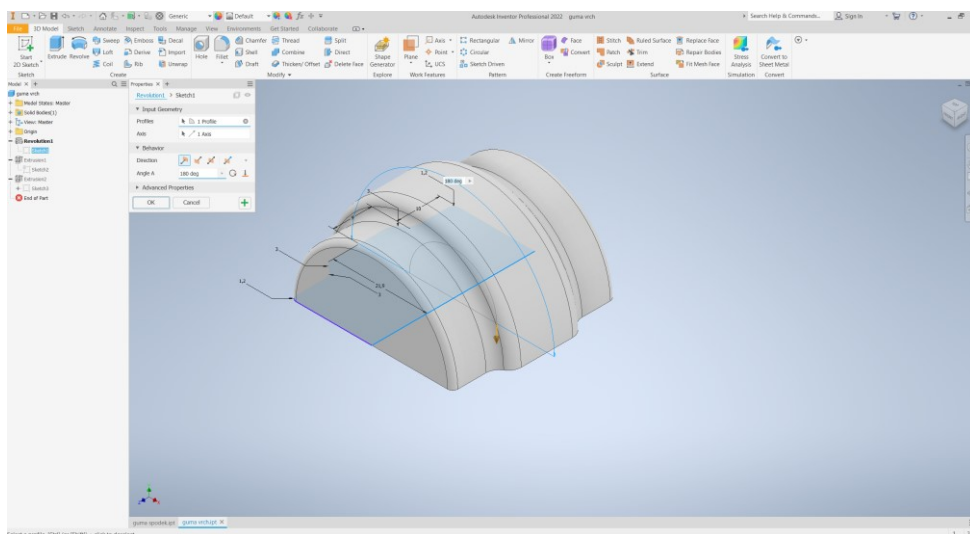
Pro vytvoření těchto modelů byl vybrán program Autodesk Inventor Professional 2022.

Pro vrchní část gummy byl použit tento modelovací postup:

- 1) Nakreslenému obrysu byly kótami dány rozměry a pomocí funkce „rotace“ o úhel 180° byl vytvořen základní objem tělesa.

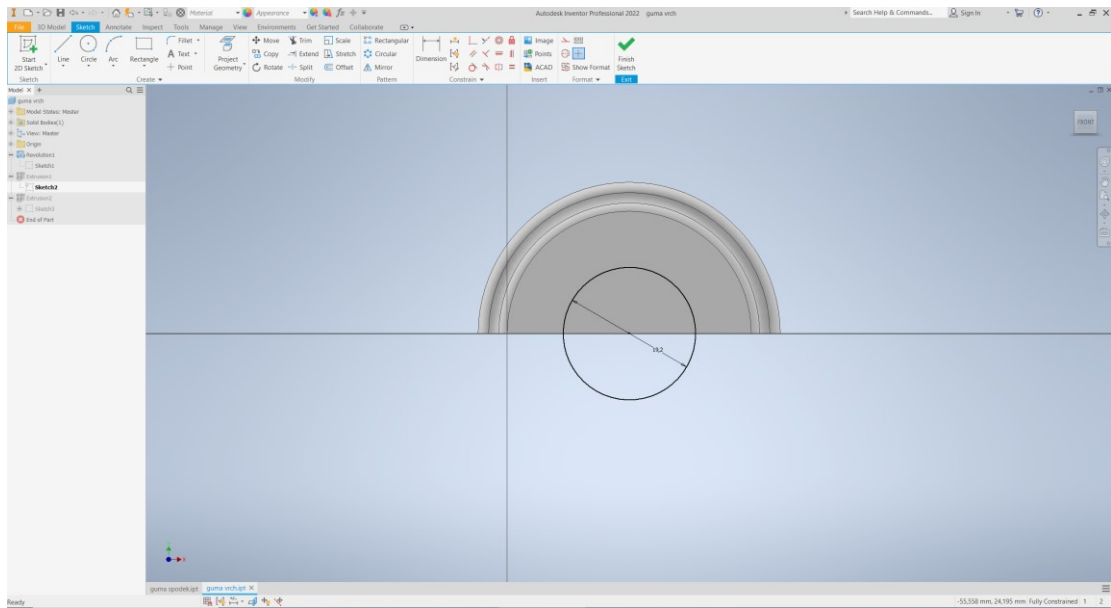


Obrázek 2 Vytvoření náčrtu vrchní gummy

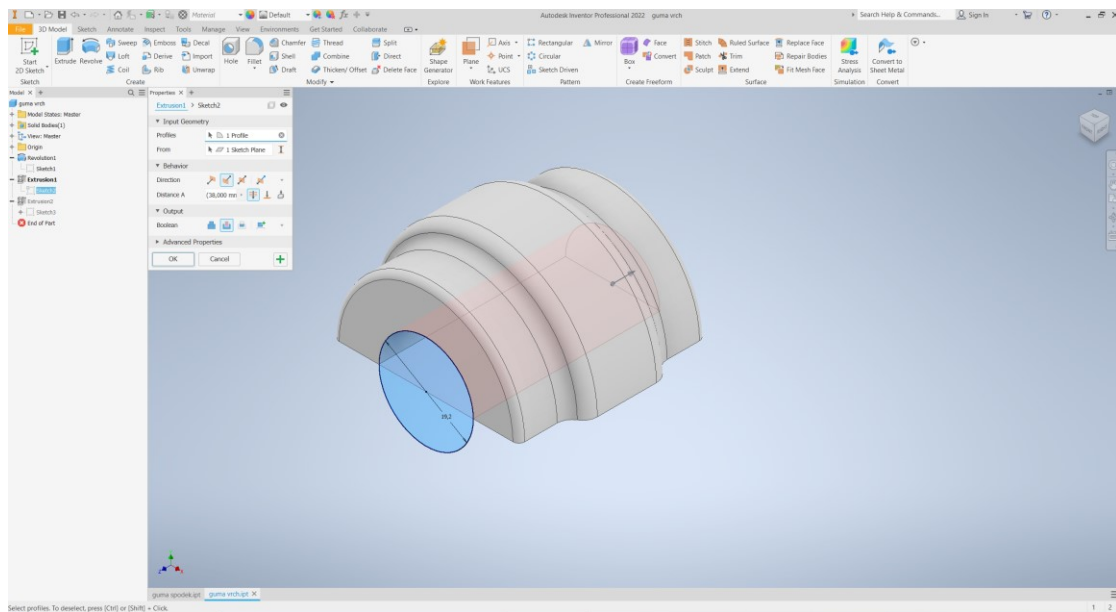


Obrázek 3 Vytvoření objemu vrchní gummy rotací kolem osy

2) Do objemu tělesa byla funkcí „vyříznout“ vytvořena díra pro stabilizátor.

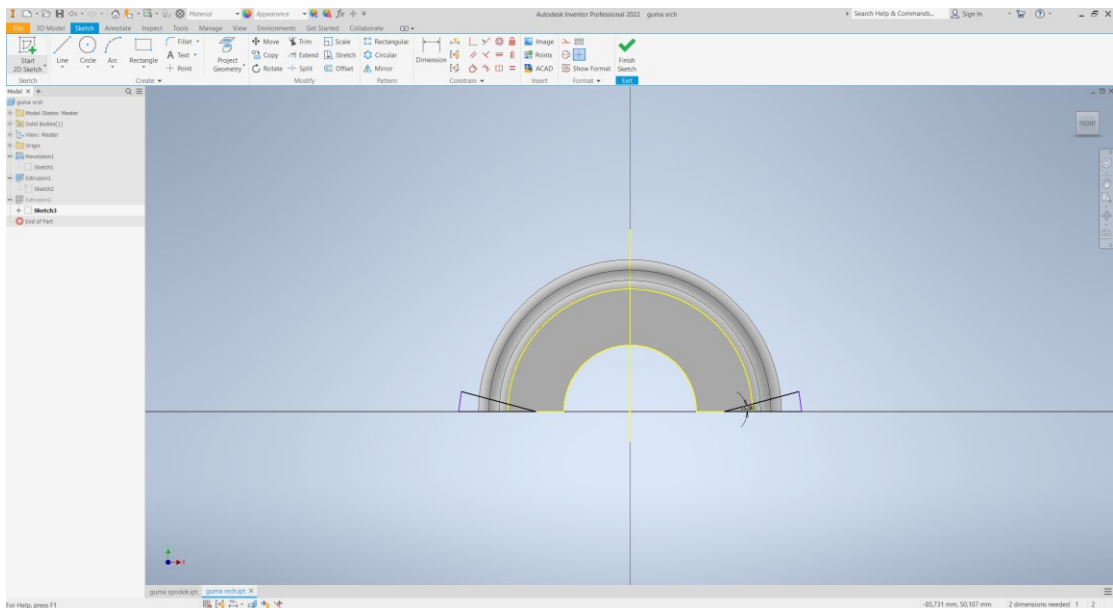


Obrázek 4 Vytvoření náčrtu pro následné vyříznutí

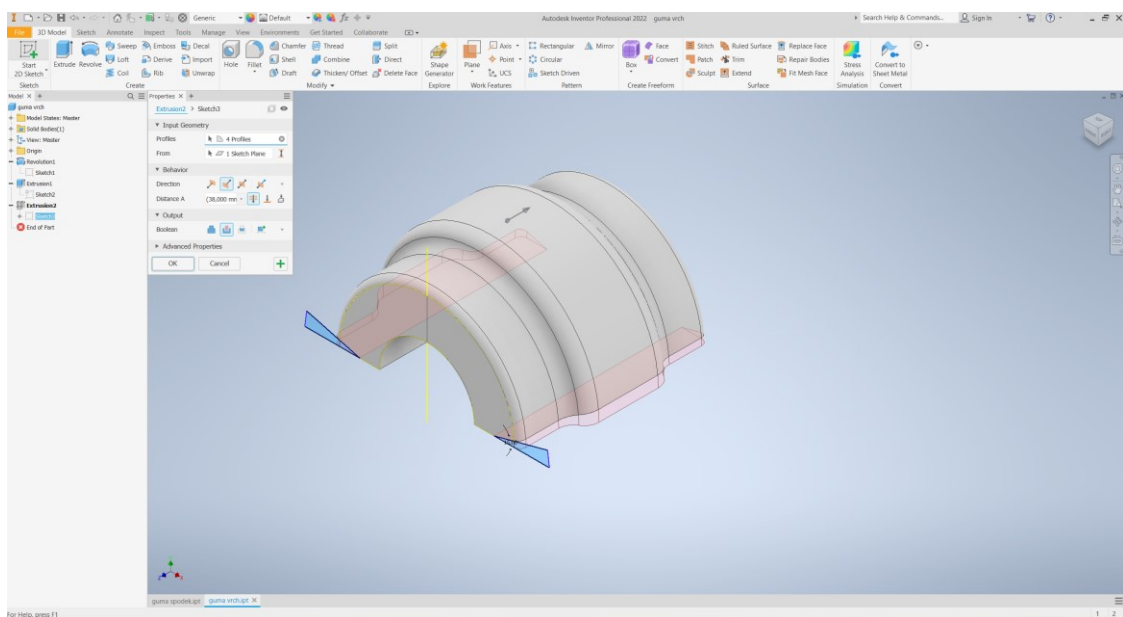


Obrázek 5 Vyříznutí objemu do vrchní gumy

3) Nakonec bylo funkcí „vyříznout“ vytvořeno zkosení na spodních okrajích guma.

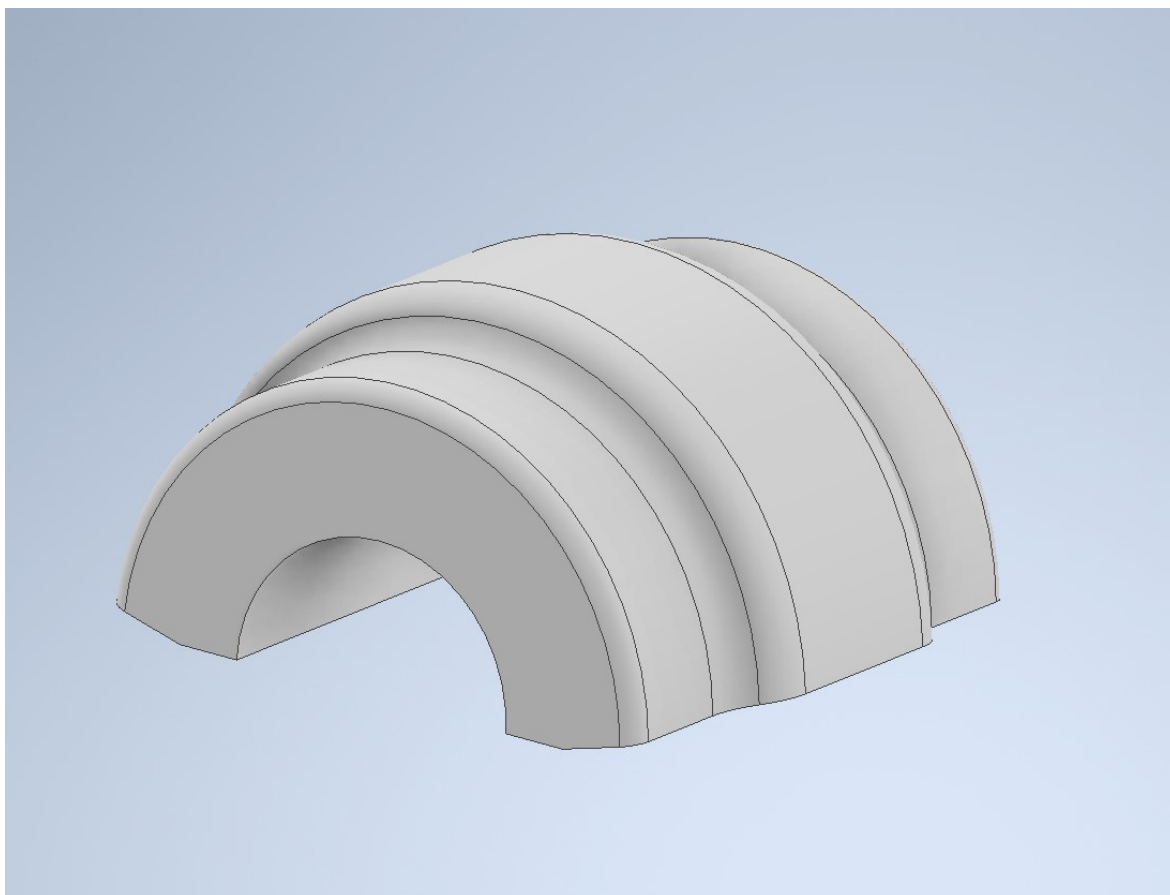


Obrázek 6 Vytvoření náčrtu pro zkosení



Obrázek 7 Vytvoření zkosení pomocí odebrání objemu

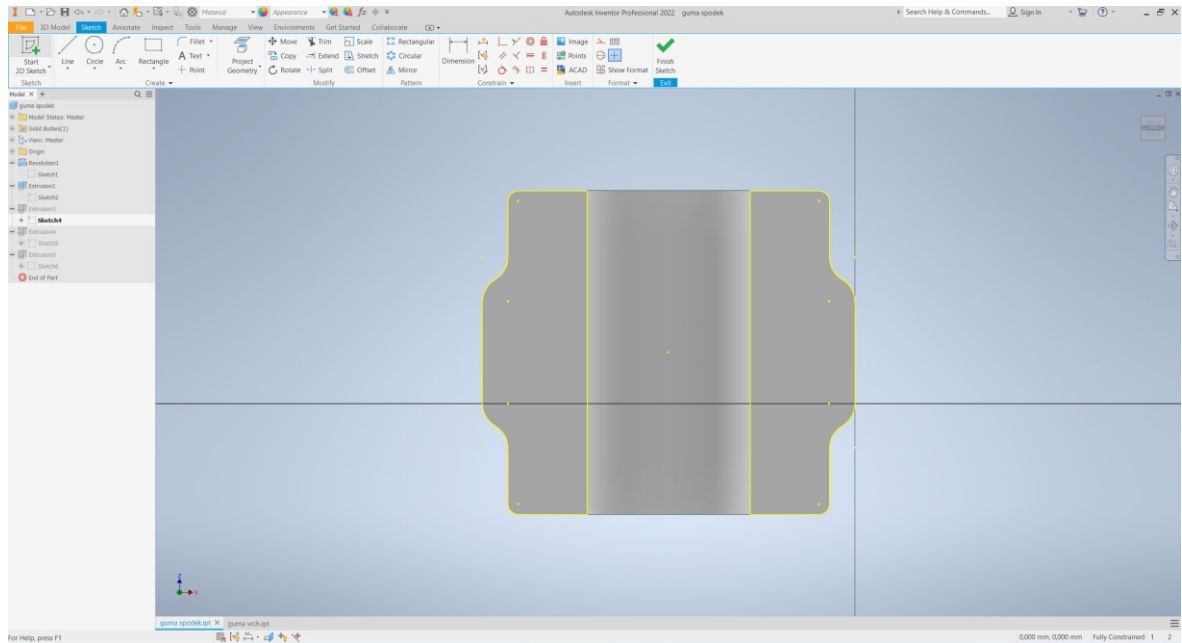
4) Finální podoba modelu vrchní gummy:



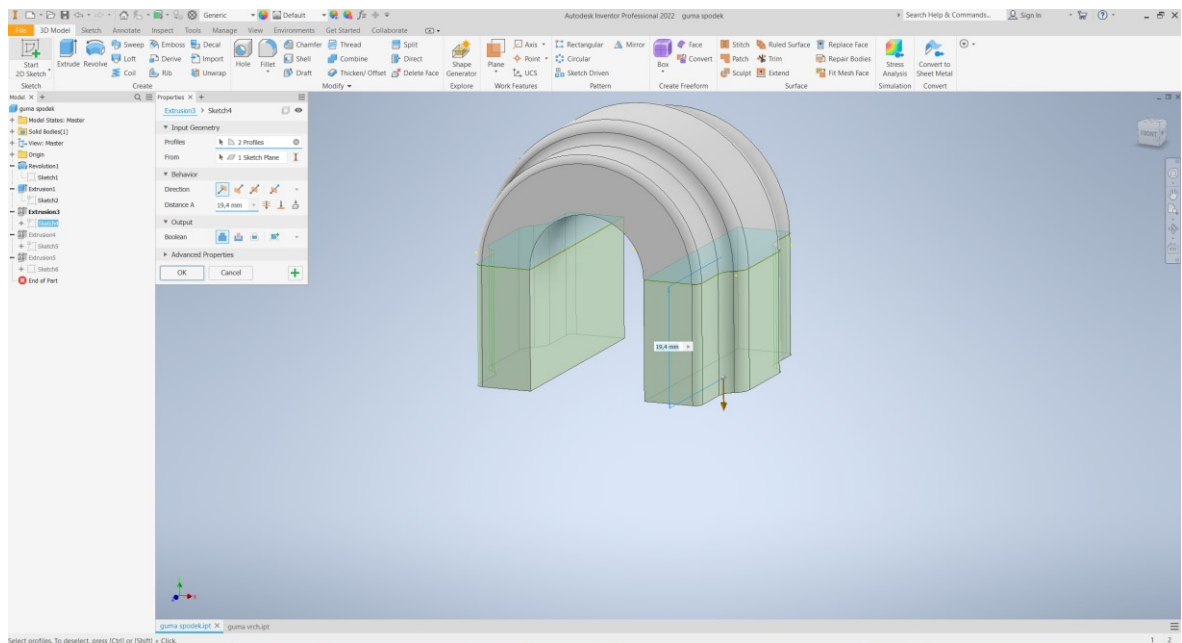
Obrázek 8 Výsledná podoba vrchní gummy

Pro spodní část gummy byl použit postup vycházející z modelu vrchní gummy:

- 1) Z hotového modelu vrchní gummy byla pomocí funkce „promítnutí geometrie“ vytvořena skica pro vysunutí objemu spodní gummy.

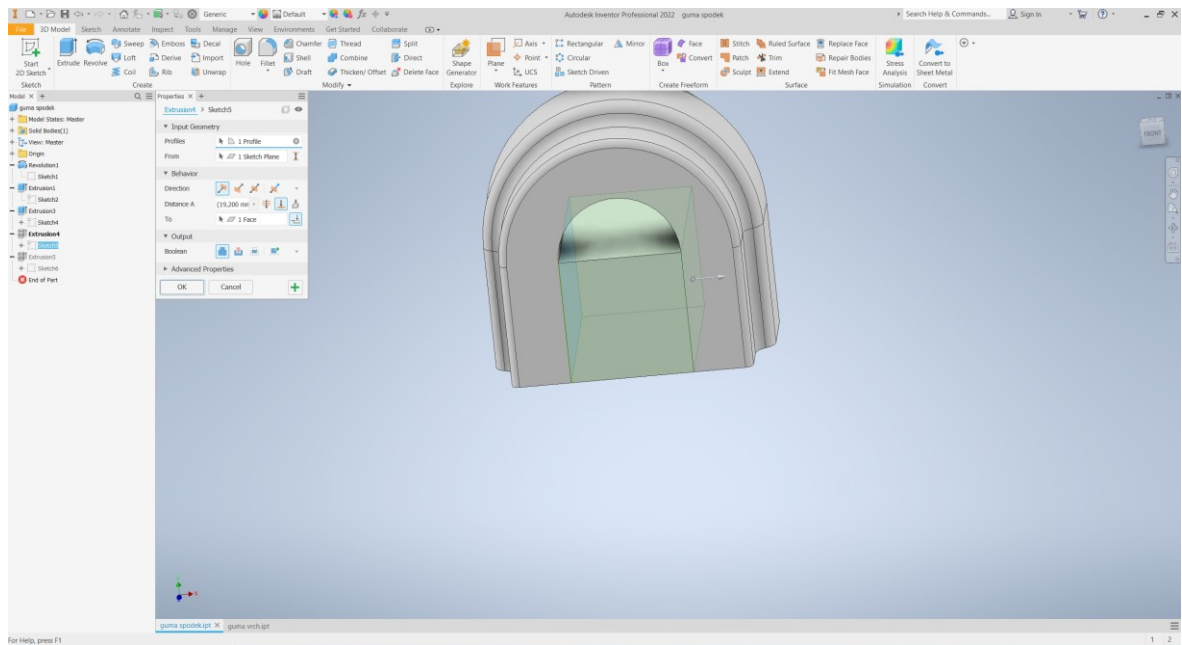


Obrázek 9 Promítnutí geometrie jako základ náčrtu spodní gummy



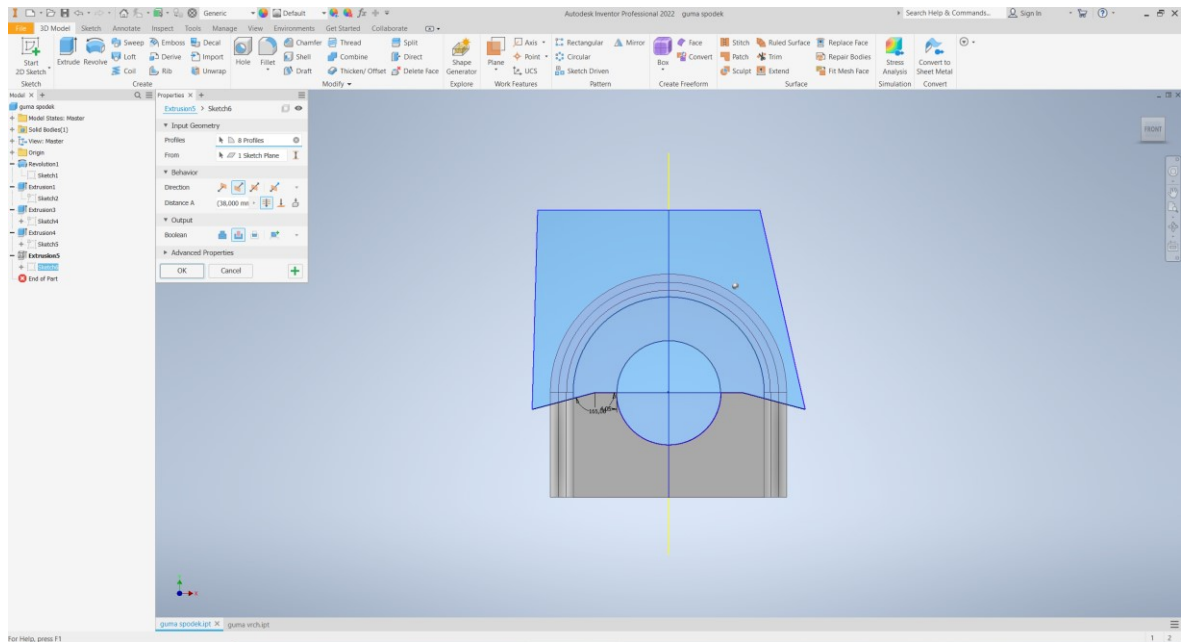
Obrázek 10 Vytvoření části objemu spodní gummy

2) Dále byl doplněn chybějící objem pomocí funkce „vysunuti“.



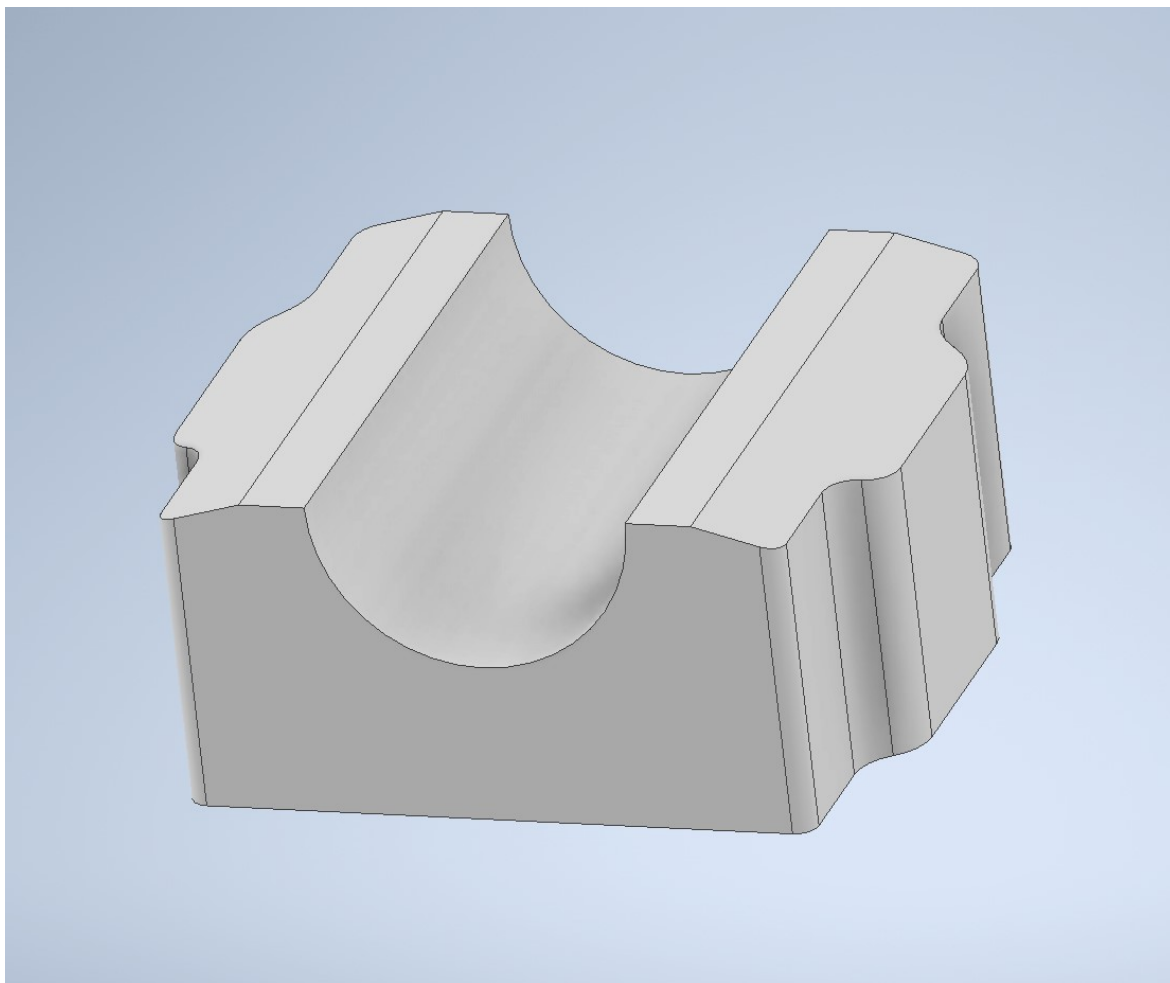
Obrázek 11 Dodělení objemu spodní gummy

3) Pro dokončení modelu se odebral objem pro díru a zkosení na horních rozích v jednom kroku pomocí funkce „vyříznout“.



Obrázek 12 Dokončení tvaru spodní gummy ořezáním

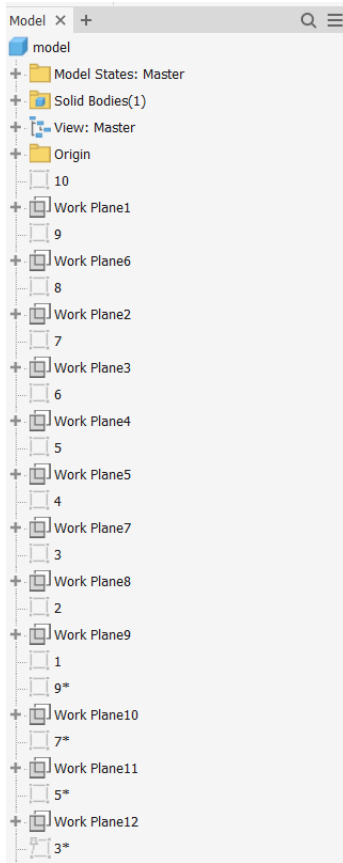
4) Finální podoba modelu spodní gummy:



Obrázek 13 Výsledná podoba spodní gummy

Pro vytvoření modelu samotného stabilizátoru bylo využito funkce 3D skici pro spojení předem vytvořených bodů odpovídající hlavním bodům na neutrální ose. Jedná se o body před a za ohybem a průsečíky pomyslných čar rovných úseků.

1) Vytvoření třinácti bodů pro kompletní popsání trajektorie neutrální osy:



Jedná se vždy o vytvoření rovnoběžné roviny v určité vzdálenosti od počátku v ose X.

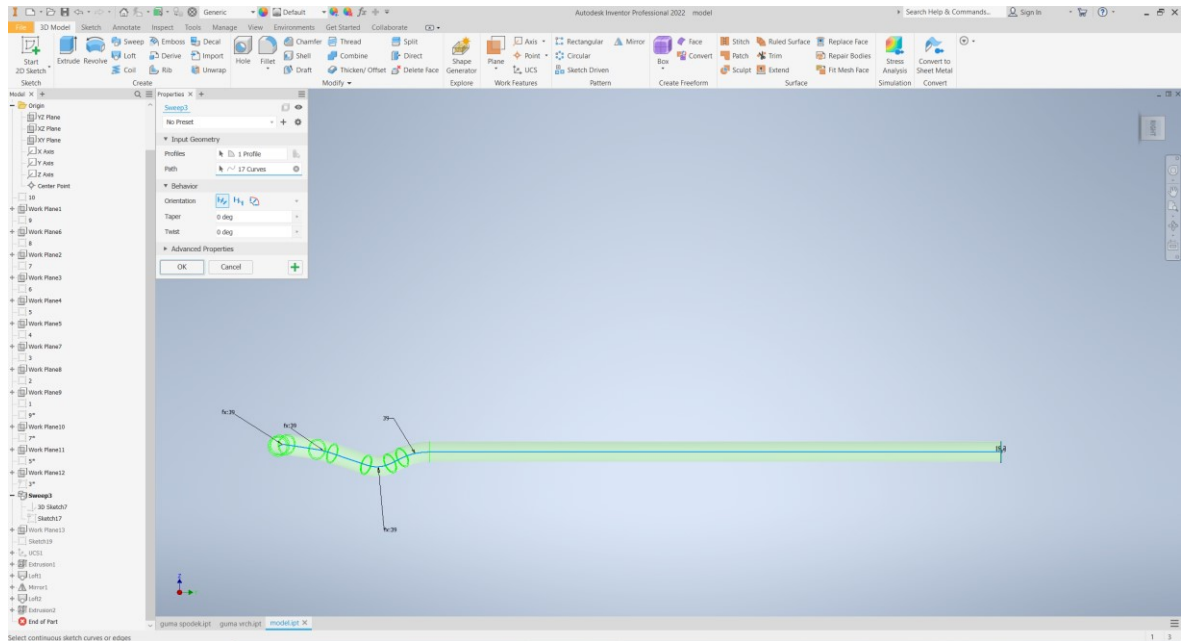
Následně vytvořená skica nese souřadnice bodu v ose Y a Z.

Body 1 – 10 odpovídají bodům před a za ohybem.

Body 3* – 9* odpovídají průsečíkům v ohybu.

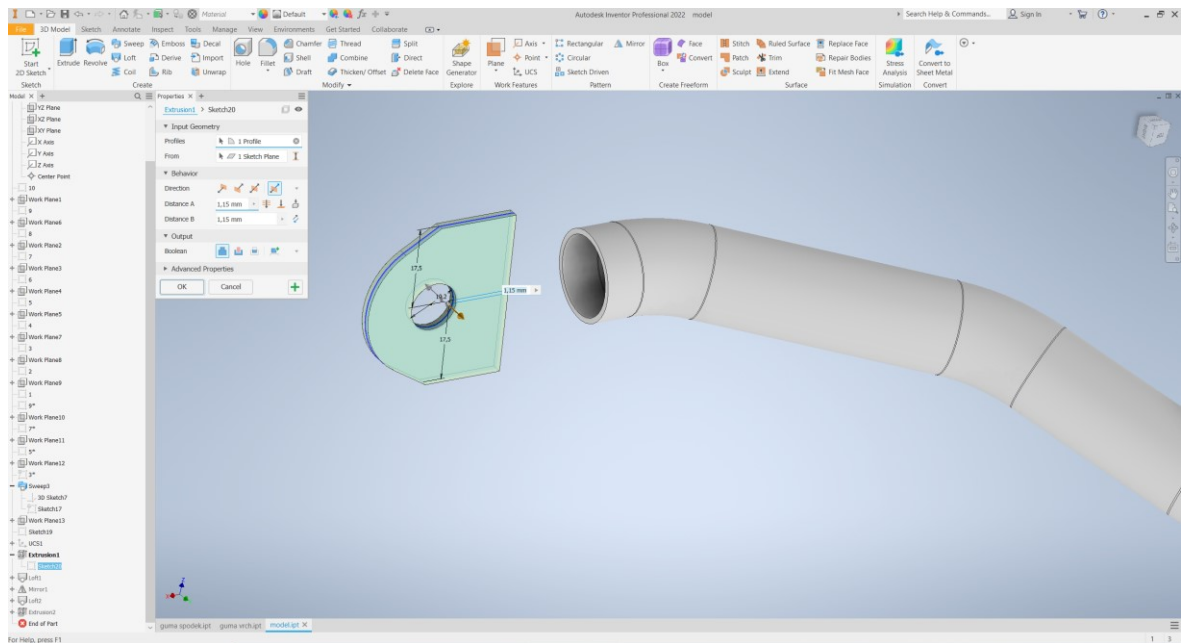
Obrázek 14 Strom vytvořených bodu pro další zpracování

- 2) Objem tělesa byl vytvořen pomocí funkce „tažení“ kružnice o daném průměru po křivce vytvořené spojením předešle vytvořených bodů.



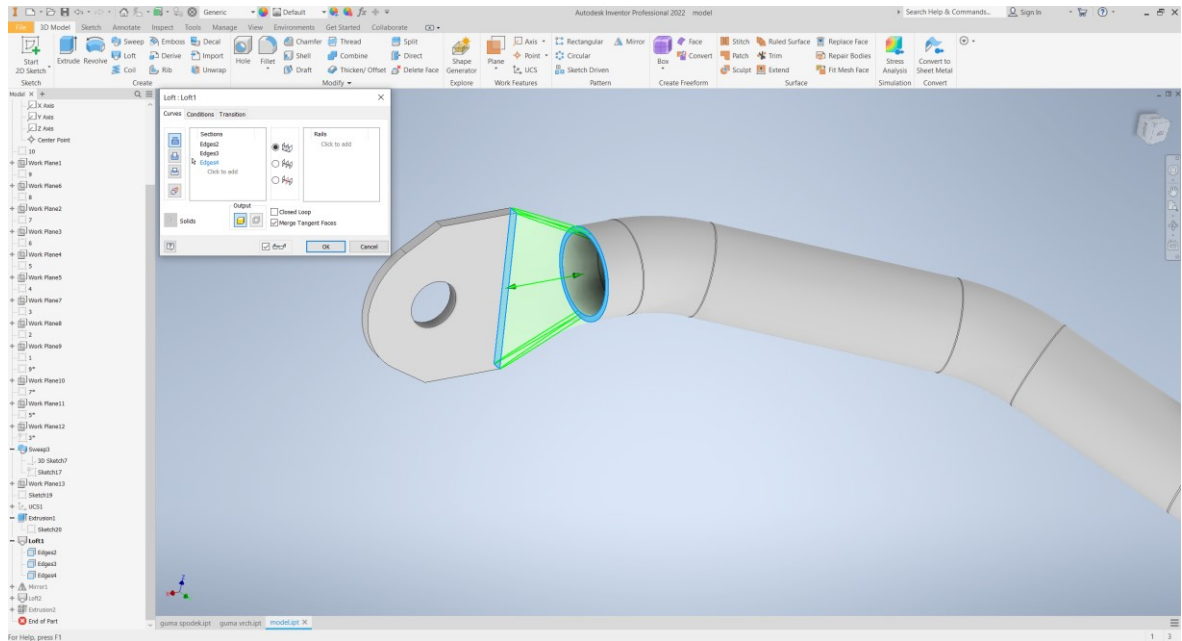
Obrázek 15 Vytvoření základního profilu stabilizátoru pomocí funkce tažení

- 3) Dále bylo vytvořeno zploštěné zakončení stabilizátorů pomocí funkce „vysunutí“.



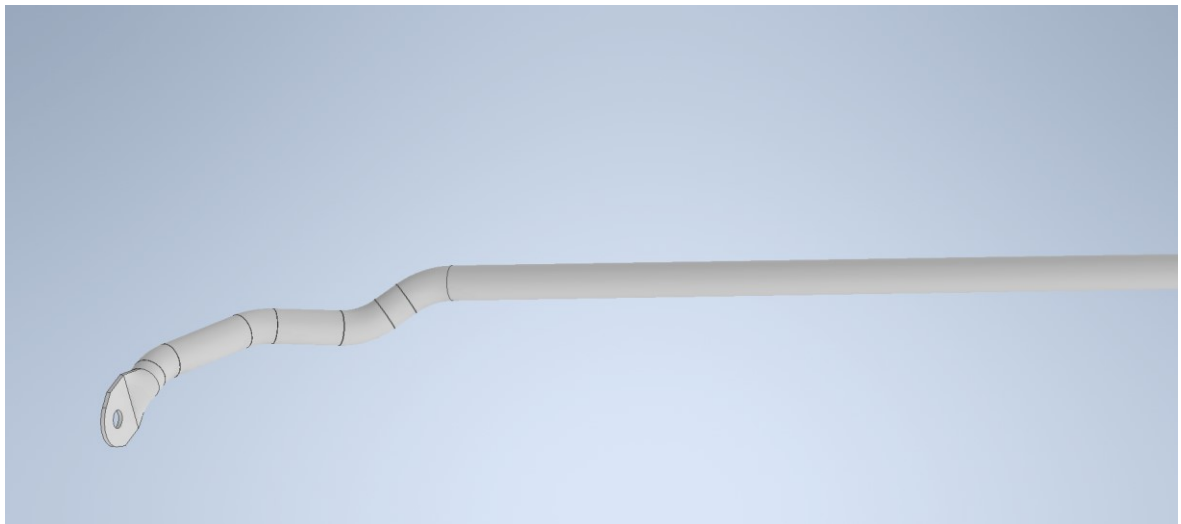
Obrázek 16 Vytvoření objemu zploštění

- 4) Vytvořením spoje chybějícího objemu bylo vytvořeno spojením dvou ploch pomocí funkce „šablonování“.



Obrázek 17 Spojení obou částí dohromady

- 5) Výsledná podoba modelu stabilizátoru:

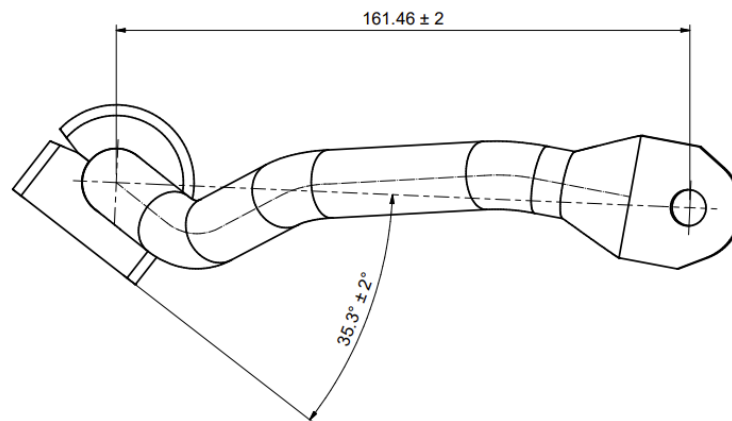


Obrázek 18 Výsledný model stabilizátoru

4.2 Vytvoření metrologického výkresu dle firemních požadavků

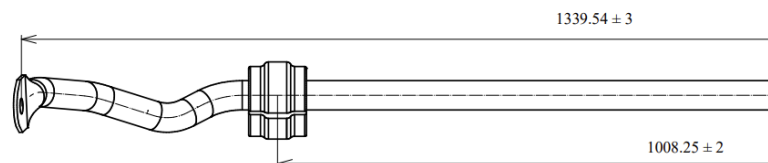
Vyhotovením metrologického výkresu se rozumí zakótování rozměrů určených k následnému měření. Zde jsou tyto konkrétní rozměry:

- Délka díry od osy Y neboli délka ramene.
- Natočení gum vzhledem k rovině XY.



Obrázek 19 Popis měřených hodnot dle výkresu (1)

- Rozteč děr.
- Rozteč středů uložení gum.



Obrázek 20 Popis měřených hodnot dle výkresu (2)

4.3 Výběr metrologického zařízení

Jako metrologické zařízení pro toto měření byl stanoven 3D souřadnicový měřicí systém od firmy Zeiss.

Výhodou je zde urychlení měření pomocí programu, možnost měření ve více osách a natočení měřeného výrobku podle výkresové dokumentace, tudíž není nutnost přepočítávání rozměrů.



Obrázek 21 Portálové CMM firmy Zeiss použité při měření [18]

Pro následné měření byla zvolena sonda s rubínovými čidly pro měření ve všech osách.

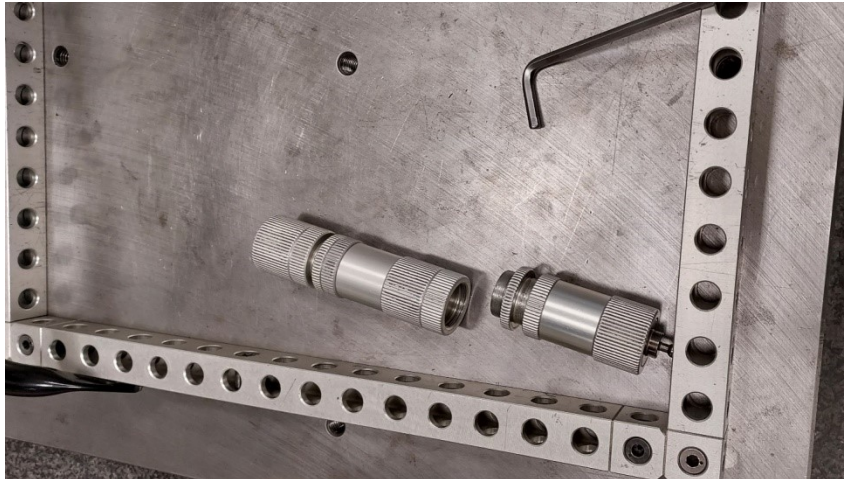


Obrázek 22 Dotyková spínací sonda HP-THDe použitá při měření

4.4 Popis programu CMM

Pro tvorbu programu byl využit software od firmy Zeiss, která je přímo určena pro použití na tomto konkrétním měřicím zařízení. Výhodou je přívětivé uživatelské rozhraní a velmi jednoduchá manipulace při vytváření programu.

Základem je korekce nulového bodu stroje a nulového bodu měřeného dílu. To je vyřešeno upnutím dílu do stroje většinou podle výkresové dokumentace. Požadovaná výška je vymezena podpěrným nastavitelným válečkem.

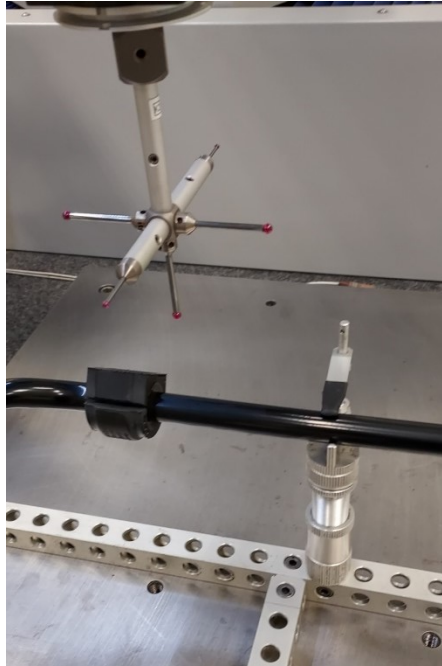


Obrázek 23 Stavitelné válečky pro zajištění správné výšky

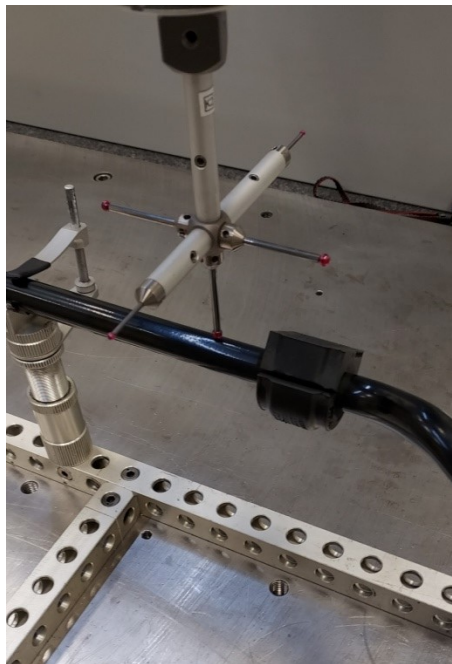


Obrázek 24 Uložení stabilizátoru

Dále pro korekci je nutno vybrat referenční plochy, aby si stroj mohl určit přesnou pozici dílu. Ty jsou zde vnější a vnitřní plochy zploštění kolem děr, které jsou určeny třemi doteky. Dále pozice díry určená čtyřmi doteky v díře. A průměr rovné části stabilizátorů, což je určeno třemi body.



Obrázek 25 Nájezd měřicí sondy



Obrázek 26 Dotyk měřicí sondy

Tyto základní plochy je nutno naměřit ručně pomocí ovládacího panelu



Obrázek 27 Ovládací panel dotykové sondy

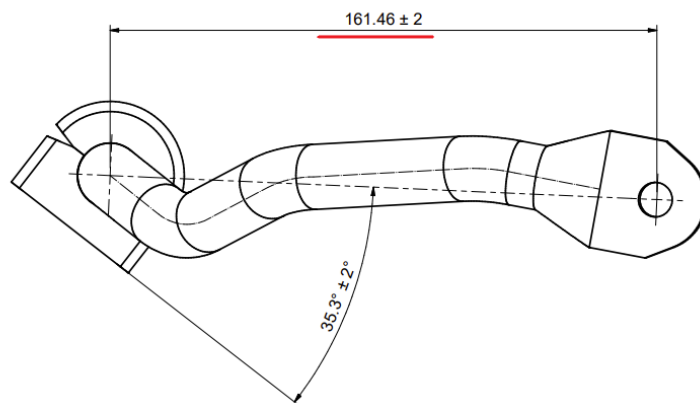
Jakékoli následné operace jde poté už jednoduše vybrat a jsou provedeny poloautomaticky popřípadě plně automaticky.

Pro splnění požadovaných firemních podmínek byly dále nadefinovány operace pro měření délky jednotlivých ramen, natočení gum vůči rovině XY, rozteč mezi dírami a rozteč mezi středy gum. Zároveň bylo zadáno programové vypočítání symetrie středů gum vůči nulovému bodu.

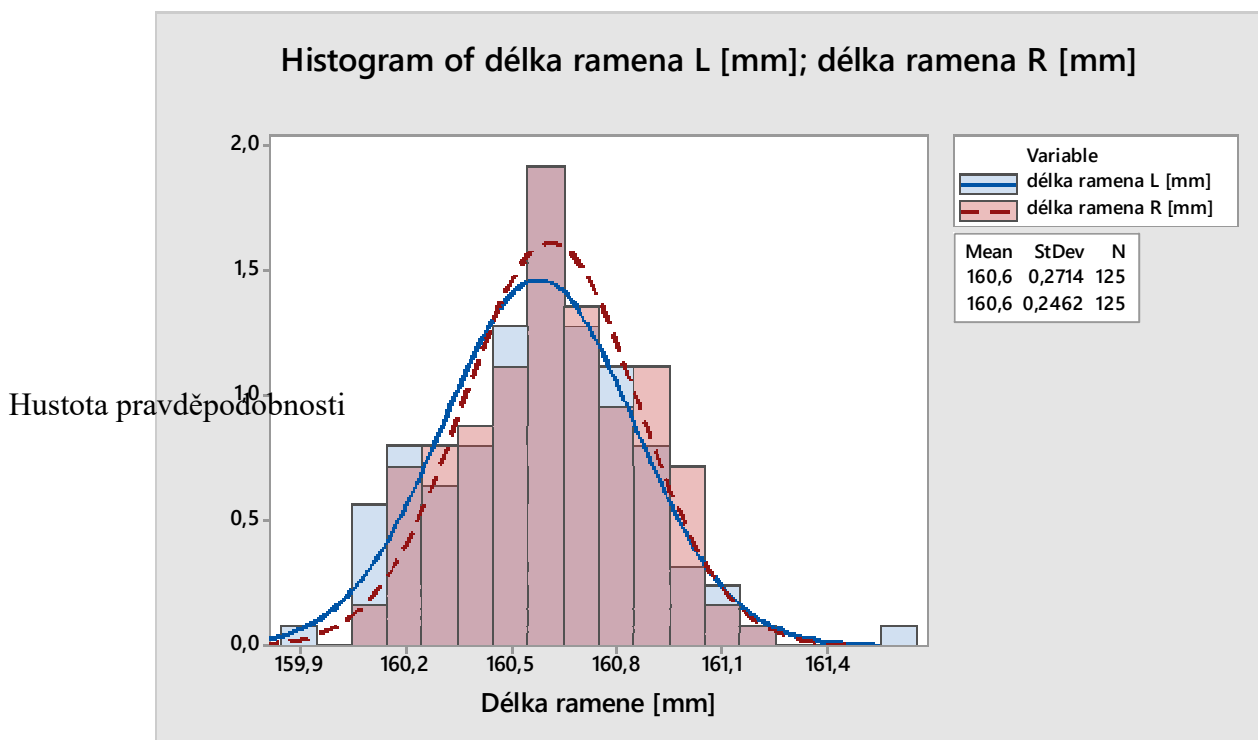
4.5 Postup vyhodnocení

Při zpracovávání naměřených hodnot byly vytvořeny grafy pro lepší čitelnost výsledků měření.

Prvním z těchto grafů je histogram délek levého a pravého ramene



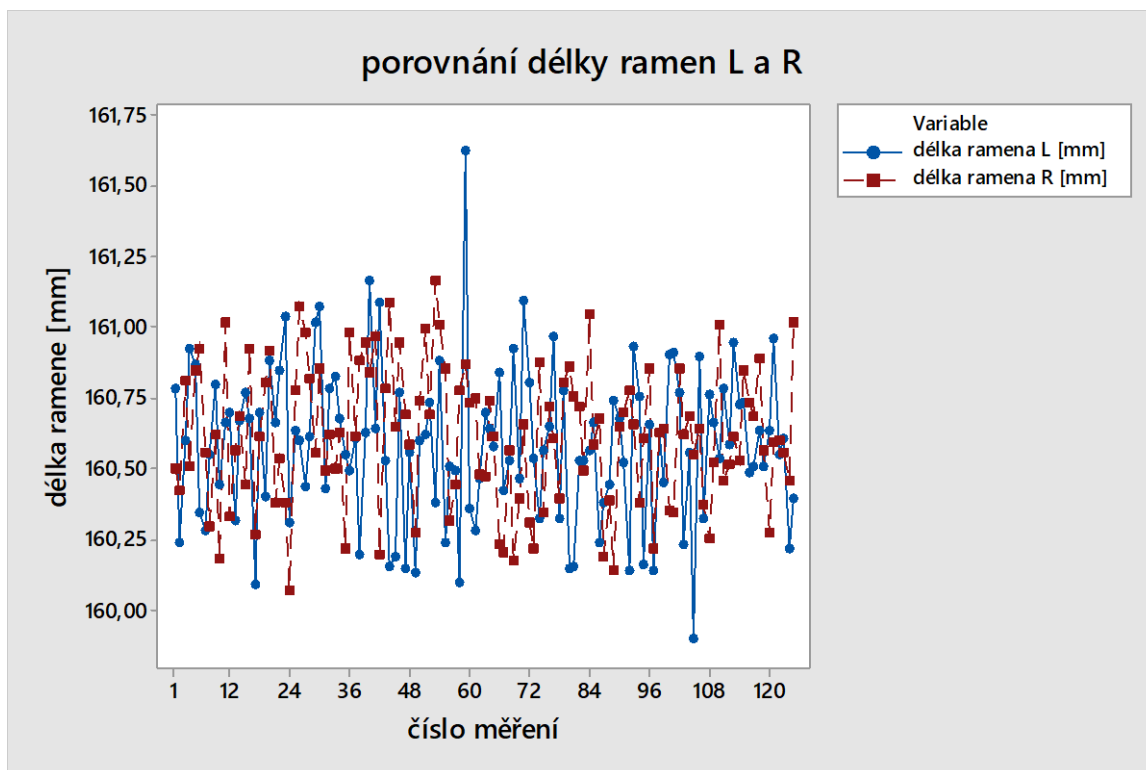
Obrázek 28 Část metrologického výkresu pro délku ramene



Obrázek 29 Normální rozdělení délek ramen

U tohoto grafu můžeme pozorovat, jak data věrně kopírují Gaussovu křivku, z čehož vyplývá, že většina naměřených hodnot se bude nacházet v intervalu \pm dvou směrodatných odchylek.

Následuje porovnání kompletního souboru hodnot pro levé a pravé rameno:



Obrázek 30 Porovnání délek ramen

Z grafu je patrné, že veškeré hodnoty leží v požadované toleranci, což je $161,46 \pm 2$ mm.

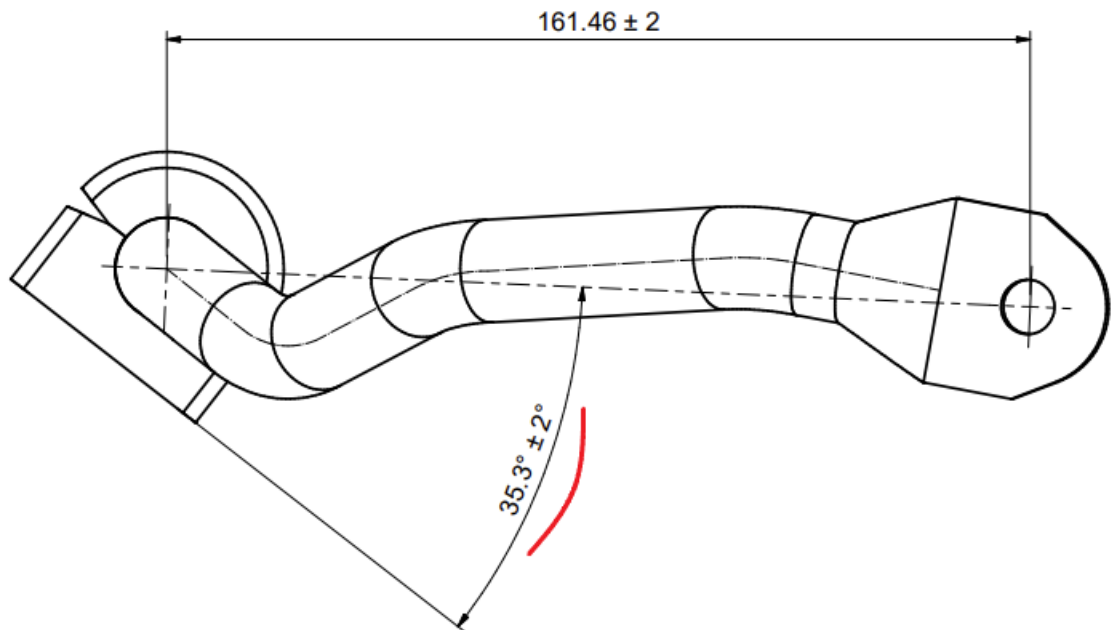
A že většina hodnot leží v intervalu 2 směrodatných odchylek, která odpovídá hodnotě

$160,58 \pm 2 \cdot 0,27$ mm pro délku levého ramene a $160,62 \pm 2 \cdot 0,25$ mm pro délku pravého ramene.

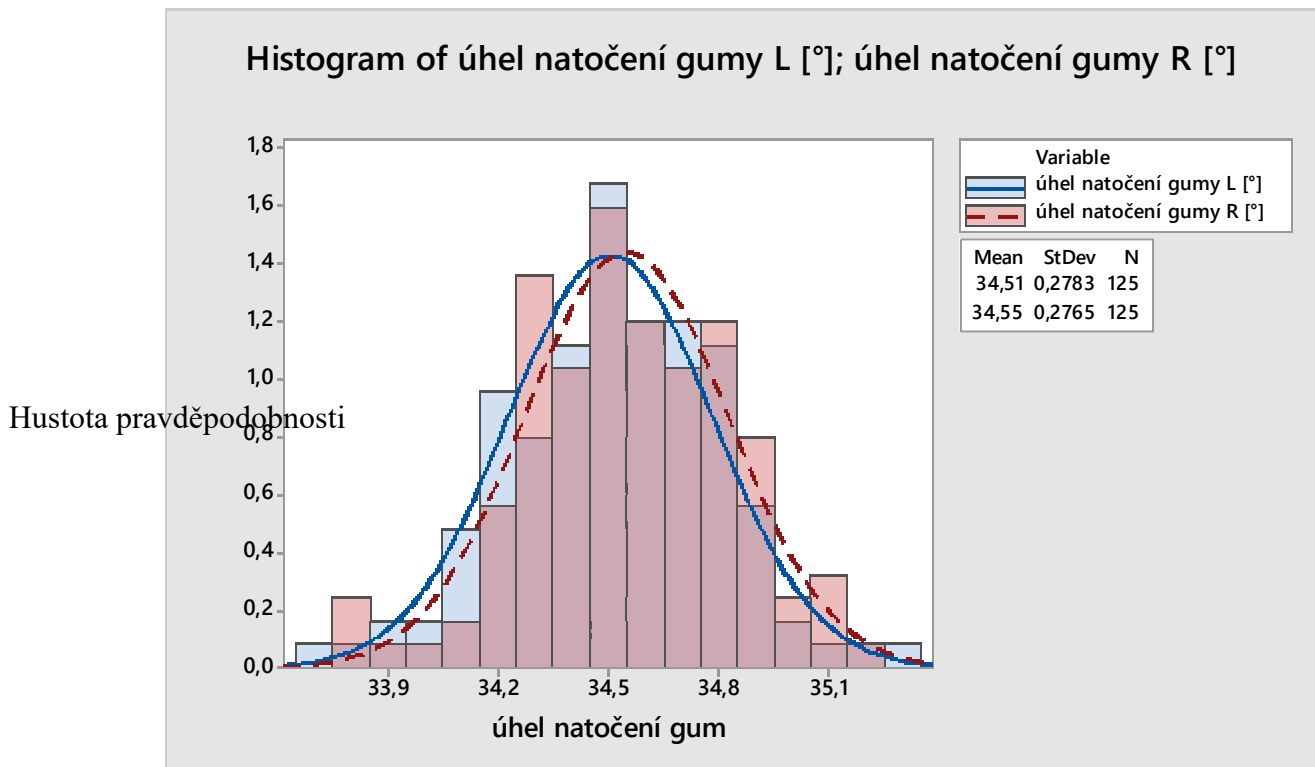
Tyto hodnoty nejčastěji ovlivňuje při výrobě samotné tvarování profilu, kde může docházet k určitým výchylkám a je nutná korekce stroje přímo při výrobě. K tomu napomáhá měřicí přípravek s upravenými tolerancemi pro kontrolu každého kusu ihned po profilování.

Další operací, která ovlivňuje rozměry stabilizátoru je popuštění ke snížení pnutí, které se vytváří při profilování hlavně v ohybech ramen. Při tomto tepelném zpracování se může vychýlit oproti požadované hodnotě, proto po této operaci následuje fixace rozměrů ručně na lisu, kde je každý kus natvarován tak, aby odpovídal tolerancím předepsaného měřicího přípravku.

Tento postup byl zopakován pro natočení gummy vůči rovině XY.

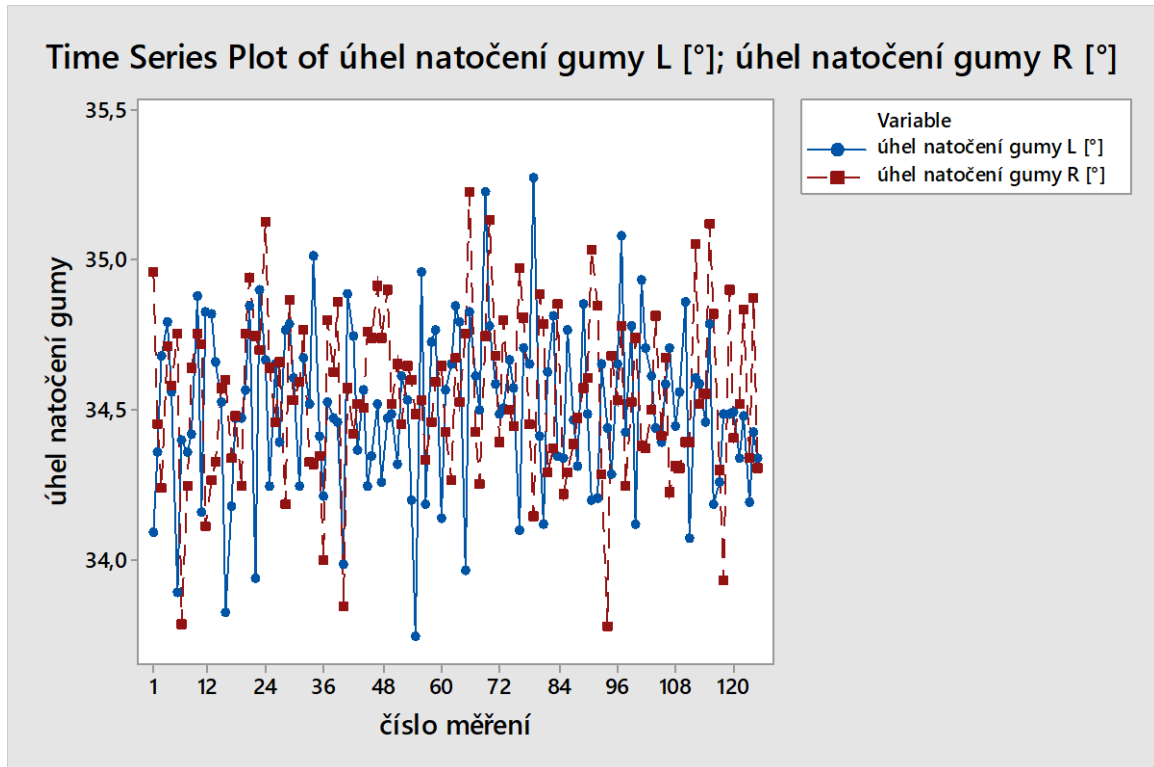


Obrázek 31 Část metrologického výkresu pro natočení gum



Obrázek 32 Normální rozdělení natočení gum

Opět je z grafu patrné, že data kopírují Gaussovu křivku.



Obrázek 33 Porovnání natočení gum

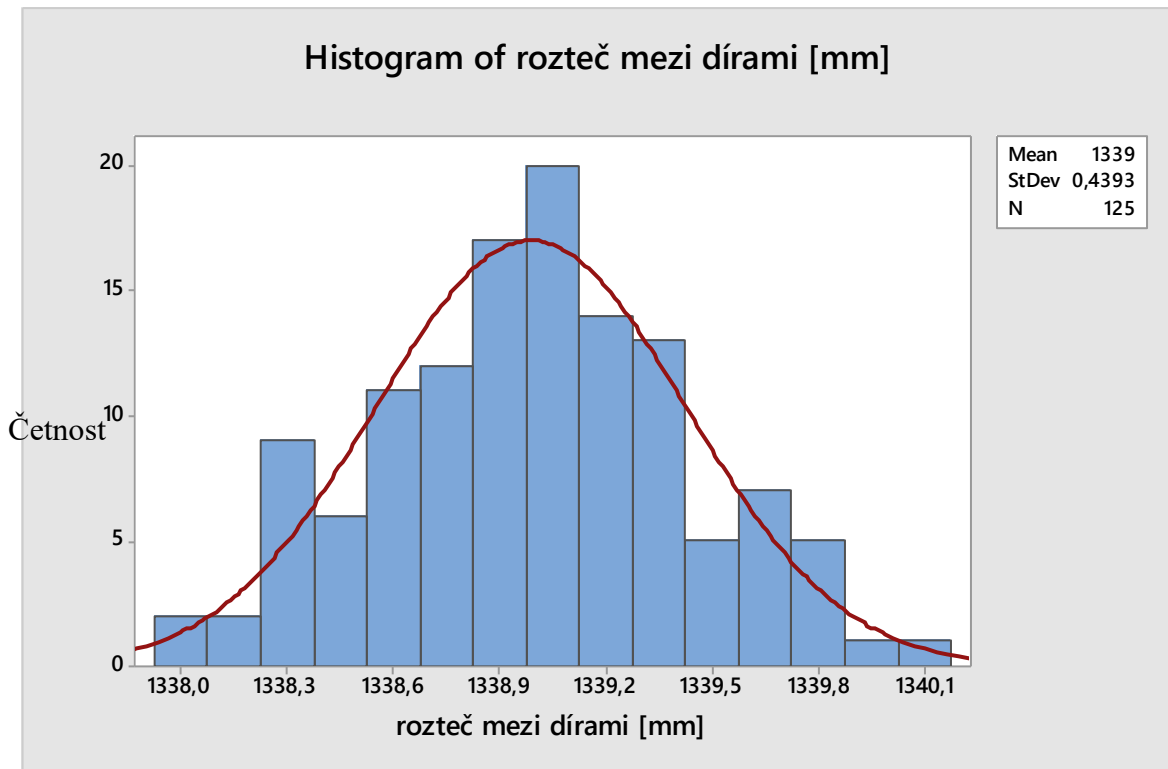
Z grafu vyplývá, že veškeré hodnoty leží v požadované toleranci, což je $35,3 \pm 2^\circ$.

A že většina hodnot opět leží v intervalu 2 směrodatných odchylek, která odpovídá hodnotě

$34,5 \pm 2 \cdot 0,3^\circ$ pro natočení levé gumy a $34,6 \pm 2 \cdot 0,3^\circ$ pro natočení pravé gumy.

Tyto hodnoty mohou být ovlivněny chybou vznikající při nalisování gum na stabilizátor. Tato operace probíhá pomocí natavení gum na stabilizátor. Gumy jsou po celou dobu zatěžovány tlakem a po vyjmutí musí proběhnout kontrola vložení do přípravku pro zajištění správného natočení u všech vyrobených součástí. Tyto hodnoty mohou být ovlivněny špatným založením dílů do stroje, nebo špatným nastavením stroje, kdy může dojít ke špatnému natočení gum a následnému posunutí, či dokonce odtržení.

Pro porovnání rozteče mezi dírami ve zploštění byl vytvořen histogram



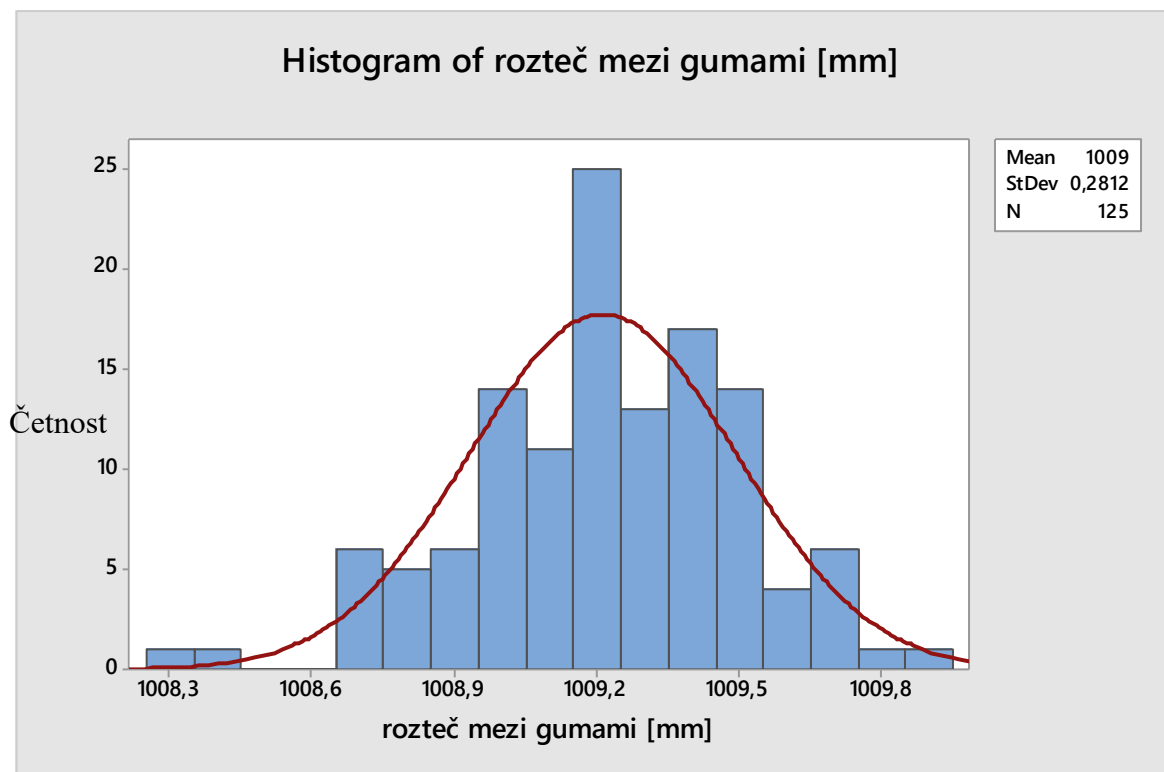
Obrázek 34 Normální rozdělení rozteče mezi dírami

A pro statistické zpracování byly důležité hodnoty uvedeny v tabulce.

Tabulka 1 Statistické zpracování rozteče děr

veličina	n	Průměr	Nejistota typu	Směrodatná	Minimální	Maximální
	[-]	[mm]	A	odchylka	hodnota	hodnota
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Rozteč mezi dírami	125	1339	0,039	0,44	1338,0	1340,1

Naměřená data odpovídají normálnímu rozdělení, z čehož vyplývá, že 95% hodnot leží v intervalu dvou směrodatných odchylek, což odpovídá hodnotě $1339 \pm 2 \cdot 0,44$ mm a že nejmenší a největší hodnota leží v požadovaném intervalu $1339,54 \pm 3$ mm.



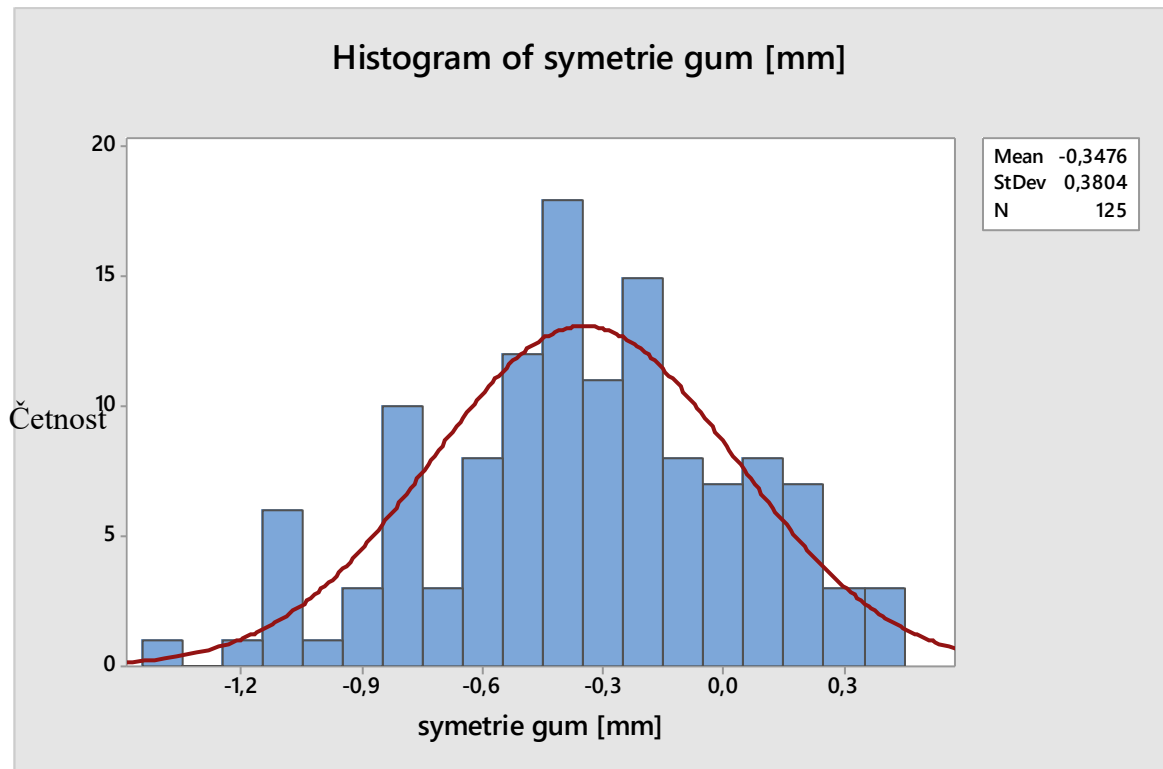
Obrázek 35 Normální rozdělení rozteče mezi gumami

Tabulka 2 Statistické zpracování rozteče středů gum

veličina	n	Průměr	Nejistota typu	Směrodatná	Minimální	Maximální
	[-]	[mm]	A	odchylka	hodnota	hodnota
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Rozteč mezi gumami	125	1009,2	0,025	0,28	1008,3	1009,9

Pro rozteč gum opět platí normální rozdělení, kterému odpovídá, že 95% hodnot leží v intervalu dvou směrodatných odchylek, což odpovídá hodnotě $1009,2 \pm 2 \cdot 0,28$ mm a že nejmenší a největší hodnota leží v požadovaném intervalu $1008,25 \pm 2$ mm.

Jako poslední zpracování dat je vytvoření histogramu symetrie gum.



Obrázek 36 Normální rozdělení symetrie gum

Tabulka 3 Statistické zpracování symetrie gum

veličina	n [-]	Průměr [mm]	Nejistota typu A [mm]	Směrodatná odchylka [mm]	Minimální hodnota [mm]	Maximální hodnota [mm]
Symetrie gum	125	-0,3476	0,0340	0,3804	-1,4373	0,4180

ZÁVĚR

V praktické části mé bakalářské práce jsem v programu Autodesk Inventor Professional 2022 vytvořil modely stabilizátoru a dvou gum pro jeho uložení, dle firemních požadavků. Z těchto modelů jsem vytvořil metrologický výkres se všemi potřebnými hodnotami pro měření.

Dále by následovalo vytvoření CMM programu, tento program má vytvořený firma, tak jsem pouze popsal jeho vytvoření a funkci, abych ho byl schopen sám sestavit.

Poté proběhlo samotné měření, kde jsem nastavil upnutí a manuálně naváděl sondu pro nutné doteky, aby mohlo proběhnout automatické doměření.

Nakonec jsem pomocí jednoduché statistiky zpracoval data a zkontroloval správnost naměřených hodnot, jestli odpovídají předepsaným tolerancím.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CHUDÝ, Vladimír. Meranie technických veličín. V Bratislave: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 1999. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 8022712752
- [2] DE SILVA a G.M.S. Basic Metrology for ISO 9000 Certification. 1. Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 0750651652
- [3] SOONG a T. T. Fundamentals of Probability and Statistics for Engineers. 1. Wiley-Interscience, 2004. ISBN 0470868147
- [4] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: Academia, 2006. ISBN 80-200-1396-2
- [5] RAMACHANDRAN, Kandethody M. a Chris P. TSOKOS. Mathematical Statistics with Applications. Academic Press, 2009. ISBN 0123748488
- [6] HUGHES, Ifan G. a Thomas P. A. HASE. Measurements and their uncertainties: a practical guide to modern error analysis. Oxford: Oxford University Press, 2010. ISBN 978-0-19-956633-4
- [7] PROULX, Tom. Optical Measurements Modeling and Metrology. Vol. 5. Springer Science & Business Media, 2011. ISBN 9781461402282.
- [8] GRABE, Michael. Measurement Uncertainties in Science and Technology. 2nd Edition. Berlin: Springer-Verlag, 2014. ISBN 978-3-319-04887-1
- [9] TOUTENBURG, Helge a SHALABH. Statistical Analysis of Designed Experiments, Third Edition (Springer Texts in Statistics). 3rd ed. 2010. Springer, 2009. ISBN 1441911472
- [10] ZAKHAROV, Igor a Olesia BOTSIURA. Error vs Uncertainty: mathematical, terminological and conceptual aspects of evaluating the characteristics of measurement accuracy. 2020 XXX International Scientific Symposium 'Metrology and Metrology Assurance (MMA) [online]. IEEE, 2020, 2020-9-7, , 1-5 [cit. 2021-10-31]. ISBN 978-1-7281-9719-7. Dostupné z: doi:10.1109/MMA49863.2020.9254248

- [11] KOROLYOVA, Anastasiya, Ivan VIKTOROV a Anna CHUNOVKINA. Validation of calibration procedures: mathematical, terminological and conceptual aspects of evaluating the characteristics of measurement accuracy. 2020 XXX International Scientific Symposium 'Metrology and Metrology Assurance (MMA) [online]. IEEE, 2020, 2020-9-7, , 1-4 [cit. 2021-10-31]. ISBN 978-1-7281-9719-7. Dostupné z: doi:10.1109/MMA49863.2020.9254266
- [12] DAVIS, Richard, Stephan SCHLAMMINGER a Anna CHUNOVKINA. Basic metrology for 2020: mathematical, terminological and conceptual aspects of evaluating the characteristics of measurement accuracy. 2020 XXX International Scientific Symposium 'Metrology and Metrology Assurance (MMA) [online]. IEEE, 2020, 2020-9-7, 23(3), 10-20 [cit. 2021-10-31]. ISBN 978-1-7281-9719-7. ISSN 1094-6969. Dostupné z: doi:10.1109/MIM.2020.9082793
- [13] Souřadnicová měřicí technika. . Nejčtenější strojírenský časopis – MM spektrum [online]. www.mmspektrum.com [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicova-merici-technika.html>
- [14] WILKIE, Jacqueline; JOHNSON, Michael A.; KATEBI, Reza. Control engineering. Macmillan International Higher Education, 2017.
- [15] LEACH, R. K., et al. Geometrical metrology for metal additive manufacturing. CIRP annals, 2019, 68.2: 677-700.
- [16] Kopáček A., Erdélyi J., Kyrinovič P. (2020) Coordinate Measuring Systems and Machines. In: Engineering Surveys for Industry. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48309-8_7
- [17] VON KLITZING, Klaus. Metrology in 2019. Nature Physics, 2017, 13.2: 198-198.
- [18] Zeiss Prismo [foto] [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.zeiss.de/messtechnik/produkte/systeme/koordinatenmessgeraete/portalmessgeraete/prismo.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D Dvoudimenzionální

3D Trojdimenzionální

CMM Souřadnicové měřicí zařízení

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Blokové schéma procesu měření	24
Obrázek 2 Vytvoření náčrtu vrchní gumy	32
Obrázek 3 Vytvoření objemu vrchní gumy rotací kolem osy	32
Obrázek 4 Vytvoření náčrtu pro následné vyříznutí	33
Obrázek 5 Vyříznutí objemu do vrchní gumy	33
Obrázek 6 Vytvoření náčrtu pro zkosení	34
Obrázek 7 Vytvoření zkosení pomocí odebrání objemu	34
Obrázek 8 Výsledná podoba vrchní gumy	35
Obrázek 9 Promítnutí geometrie jako základ náčrtu spodní gumy	36
Obrázek 10 Vytvoření části objemu spodní gumy	36
Obrázek 11 Dodělení objemu spodní gumy	37
Obrázek 12 Dokončení tvaru spodní gumy ořezáním	37
Obrázek 13 Výsledná podoba spodní gumy	38
Obrázek 14 Strom vytvořených bodu pro další zpracování	39
Obrázek 15 Vytvoření základního profilu stabilizátoru pomocí funkce tažení	40
Obrázek 16 Vytvoření objemu zploštění	40
Obrázek 17 Spojení obou částí dohromady	41
Obrázek 18 Výsledný model stabilizátoru	41
Obrázek 19 Popis měřených hodnot dle výkresu (1)	42
Obrázek 20 Popis měřených hodnot dle výkresu (2)	42
Obrázek 21 Portálové CMM firmy Zeiss použité při měření	43
Obrázek 22 Dotyková spínací sonda HP-THDe použitá při měření	43
Obrázek 23 Stavitelné válečky pro zajištění správné výšky	44
Obrázek 24 Uložení stabilizátoru	44
Obrázek 25 Nájezd měřicí sondy	45
Obrázek 26 Dotyk měřicí sondy	45
Obrázek 27 Ovládací panel dotykové sondy	46
Obrázek 28 Část metrologického výkresu pro délku ramene	47
Obrázek 29 Normální rozdělení délek ramen	47
Obrázek 30 Porovnání délek ramen	48
Obrázek 31 Část metrologického výkresu pro natočení gum	49
Obrázek 32 Normální rozdělení natočení gum	49
Obrázek 33 Porovnání natočení gum	50
Obrázek 34 Normální rozdělení rozteče mezi dírami	51

Obrázek 35 Normální rozdělení rozteče mezi gumami	52
Obrázek 36 Normální rozdělení symetrie gum.....	53

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Statistické zpracování rozteče děr	51
Tabulka 2 Statistické zpracování rozteče středů gum.....	52
Tabulka 3 Statistické zpracování symetrie gum	53

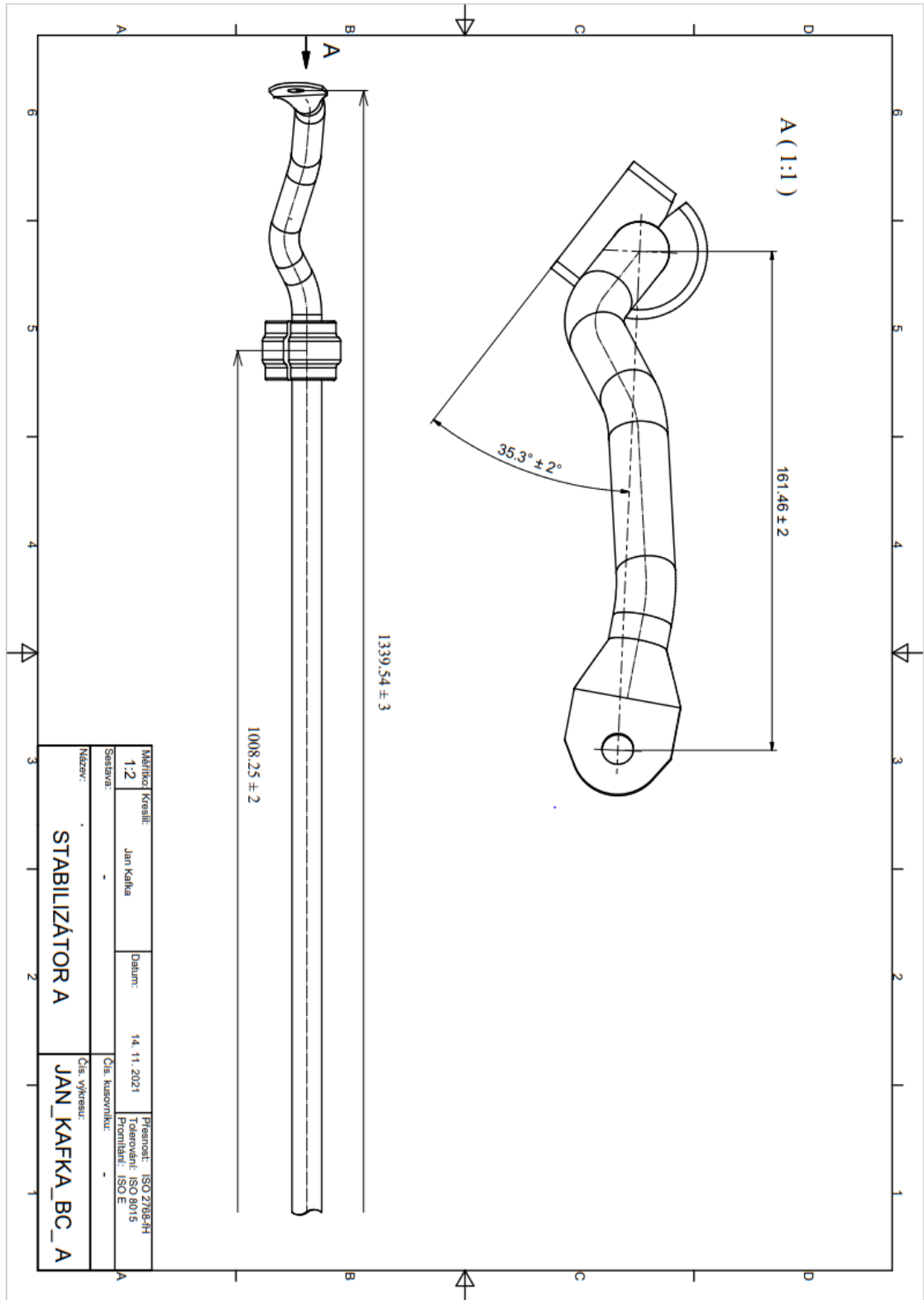
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Metrologický výkres

Příloha P II: Tabulka naměřených hodnot 1. část

Příloha P III: Tabulka naměřených hodnot 2. část

PŘÍLOHA P I: METROLOGICKÝ VÝKRES



PŘÍLOHA P II: TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT 1. ČÁST

číslo měření	rozeč mezi dírami [mm]	délka ramena L [mm]	délka ramena R [mm]	úhel natočení gumy L [°]	úhel natočení gumy R [°]	rozeč mezi gumami [mm]	symetrie gum [mm]
1	1339,33	160,783	160,498	34,0907	34,9635	1009,04	0,13668
2	1339	160,237	160,424	34,3582	34,4551	1008,9	-1,16546
3	1338,85	160,595	160,81	34,6798	34,2391	1009,45	-0,423
4	1339,02	160,923	160,508	34,7934	34,7154	1008,92	-1,1038
5	1339,35	160,866	160,848	34,5601	34,5782	1009,18	-0,0874
6	1339,05	160,341	160,92	33,8879	34,7527	1009,3	-0,16162
7	1338,95	160,28	160,553	34,399	33,787	1009,21	0,2868
8	1339,25	160,55	160,297	34,3574	34,2471	1009,46	0,03929
9	1338,59	160,799	160,622	34,4177	34,638	1009,37	-0,67746
10	1339,01	160,44	160,183	34,8822	34,7541	1009,28	-0,23278
11	1339,18	160,662	161,015	34,1613	34,7192	1008,73	-0,75007
12	1339,42	160,695	160,332	34,827	34,1094	1009,36	-0,1539
13	1339,11	160,312	160,559	34,8226	34,2646	1008,96	-0,57317
14	1339,21	160,669	160,684	34,6579	34,3234	1009,07	-0,30957
15	1338,84	160,767	160,443	34,5275	34,5759	1008,99	0,11614
16	1337,96	160,678	160,92	33,8215	34,6034	1009,56	-0,09461
17	1339,12	160,087	160,264	34,1799	34,3368	1009,87	-0,35282
18	1338,89	160,7	160,614	34,471	34,478	1009,18	0,25255
19	1339,01	160,398	160,803	34,4747	34,2464	1009,35	-0,30089
20	1338,71	160,877	160,915	34,5648	34,7563	1009,45	-0,51531
21	1338,23	160,664	160,376	34,8457	34,9395	1009,72	-0,09477
22	1338,56	160,847	160,534	33,9389	34,7508	1009,1	-0,27347
23	1339,16	161,038	160,382	34,9	34,6998	1008,79	-0,27868
24	1339,01	160,31	160,069	34,6643	35,1281	1009,11	-0,37798
25	1339,03	160,631	160,777	34,245	34,6375	1009,17	-0,40319
26	1339,49	160,595	161,074	34,654	34,4607	1009,15	-0,45289
27	1338,3	160,436	160,978	34,3902	34,6596	1009,16	-0,08261
28	1339	160,61	160,82	34,7659	34,1864	1009,4	-1,1319
29	1338,97	161,011	160,556	34,7909	34,8684	1008,32	-0,20341
30	1339,04	161,069	160,85	34,6049	34,535	1009,02	-0,06919
31	1339,36	160,43	160,495	34,2461	34,5969	1008,9	0,19182
32	1339	160,783	160,62	34,6716	34,7691	1009,17	-0,57382
33	1338,67	160,826	160,498	34,5184	34,3289	1009,54	-0,4173
34	1339,32	160,674	160,623	35,0132	34,319	1009,25	-0,4308
35	1338,75	160,551	160,217	34,4101	34,3458	1009,8	0,13562
36	1338,9	160,495	160,978	34,2139	34,0013	1009,17	-0,4482
37	1338,61	160,602	160,61	34,5258	34,8021	1009,2	-0,11718
38	1339,14	160,193	160,881	34,4741	34,6267	1009,34	-0,29249
39	1339,26	160,626	160,944	34,4581	34,864	1009,33	0,05177
40	1339,02	161,162	160,837	33,9827	33,8425	1008,87	-0,07316
41	1339,46	160,637	160,966	34,886	34,5703	1009,66	-0,39865
42	1338,94	161,083	160,194	34,7492	34,4175	1009,17	-0,22273
43	1338,74	160,528	160,781	34,3686	34,5202	1009,74	-0,30371
44	1339,65	160,15	161,085	34,5681	34,5064	1009,31	-0,76368
45	1339,34	160,185	160,65	34,2443	34,7634	1008,79	-0,92537
46	1338,48	160,765	160,944	34,345	34,7435	1009,36	0,27359
47	1338,86	160,145	160,687	34,5204	34,9166	1009,43	-0,80269
48	1338,28	160,554	160,585	34,2609	34,7376	1008,82	-0,18518
49	1339,49	160,131	160,276	34,4756	34,9	1009,26	0,35596
50	1338,73	160,6	160,738	34,4834	34,5194	1009,51	-1,05675
51	1339,14	160,621	160,996	34,3212	34,6563	1009,5	-0,28931
52	1338,4	160,732	160,691	34,6147	34,4532	1009,21	0,22218
53	1338,63	160,376	161,161	34,531	34,6471	1008,69	-0,78828
54	1338,76	160,877	161,009	34,2017	34,6022	1009,21	-1,07238
55	1339,13	160,235	160,854	33,742	34,4868	1009,14	-0,51064
56	1338,34	160,507	160,315	34,9599	34,5368	1009,38	-0,34556
57	1339,02	160,493	160,439	34,1822	34,3307	1009,22	-0,17643
58	1338,42	160,093	160,772	34,7293	34,4583	1009,22	-1,43726
59	1339,58	161,623	160,864	34,7702	34,5962	1008,72	-0,35311
60	1339,1	160,359	160,731	34,1388	34,6466	1009,37	0,13947
61	1339	160,277	160,746	34,5671	34,4271	1009,38	-0,79396
62	1339,06	160,46	160,481	34,6525	34,2685	1009,05	-0,16967
63	1340	160,694	160,472	34,8501	34,6723	1009,28	-0,61807

PŘÍLOHA P III: TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT 2. ČÁST

číslo měření	rozteč mezi dírami [mm]	délka ramena L [mm]	délka ramena R [mm]	úhel natočení gumy L [°]	úhel natočení gumy R [°]	rozteč mezi gumami [mm]	symetrie gum [mm]
64	1338,43	160,64	160,737	34,7956	34,5235	1009,2	0,41802
65	1338,32	160,573	160,611	33,9663	34,7549	1008,98	-0,52017
66	1339,14	160,839	160,23	34,8294	35,2305	1008,89	0,05529
67	1338,39	160,422	160,202	34,612	34,4276	1008,84	-0,24665
68	1338,94	160,528	160,563	34,4998	34,2506	1009,18	-0,88281
69	1338,71	160,92	160,176	35,232	34,7454	1009,53	-0,48387
70	1339,39	160,465	160,395	34,7781	35,1346	1009,18	-0,6279
71	1339,14	161,092	160,656	34,5845	34,6816	1009,02	-0,83429
72	1339,3	160,8	160,308	34,4859	34,3952	1009,47	-0,46652
73	1339,73	160,535	160,213	34,5094	34,8012	1009,04	-0,3486
74	1339,57	160,323	160,873	34,6673	34,4969	1009,03	-0,39767
75	1339,75	160,563	160,341	34,5767	34,449	1009,16	-0,37063
76	1339,21	160,647	160,715	34,0976	34,9771	1009,48	-0,7031
77	1338,65	160,966	160,605	34,7088	34,806	1009,53	0,01814
78	1339,41	160,322	160,393	34,6512	34,4558	1009,31	-0,53314
79	1338,79	160,771	160,804	35,2739	34,1449	1009,05	-0,42234
80	1338,18	160,146	160,859	34,4156	34,8866	1009,67	0,17682
81	1340,06	160,154	160,754	34,1157	34,7883	1009,02	0,19852
82	1338,57	160,527	160,716	34,6282	34,2904	1009,37	-0,87252
83	1339,17	160,524	160,493	34,8152	34,3728	1009,16	-0,62222
84	1338,37	160,56	161,046	34,3484	34,8526	1009,21	-0,20319
85	1338,86	160,662	160,583	34,3373	34,2176	1009,69	-0,25169
86	1338,84	160,236	160,676	34,7701	34,2912	1009,37	-0,41154
87	1339,72	160,379	160,191	34,4637	34,3886	1009,53	-0,61851
88	1338,64	160,443	160,389	34,3122	34,4703	1009,16	-0,10561
89	1339,65	160,737	160,137	34,852	34,5712	1009,66	-0,03273
90	1339,31	160,672	160,644	34,4857	34,6056	1008,37	-0,40006
91	1339,61	160,523	160,696	34,2016	35,0381	1009,22	-0,78794
92	1338,62	160,141	160,772	34,2033	34,8511	1009,53	-0,8246
93	1338,55	160,928	160,655	34,6557	34,2836	1008,96	0,17577
94	1339,16	160,754	160,377	34,4398	33,7802	1009,57	-0,49732
95	1337,97	160,163	160,603	34,2855	34,6801	1009,12	-0,15016
96	1338,82	160,656	160,855	34,6549	34,5314	1008,99	-0,24132
97	1339,62	160,141	160,214	35,0794	34,7796	1008,7	0,17264
98	1338,6	160,629	160,623	34,4246	34,2475	1009,44	0,12647
99	1338,78	160,451	160,638	34,7797	34,5296	1009,36	-0,60038
100	1338,75	160,901	160,35	34,1187	34,7383	1009,1	0,01079
101	1339,39	160,906	160,344	34,9338	34,3783	1008,89	-0,7911
102	1338,2	160,764	160,851	34,7055	34,3736	1009,43	-0,67799
103	1339,69	160,231	160,618	34,613	34,5031	1009,53	0,04636
104	1339,83	160,553	160,681	34,4371	34,8159	1009,64	-0,96268
105	1338,26	159,896	160,545	34,3928	34,411	1009,12	-0,39428
106	1338,83	160,897	160,638	34,5864	34,6768	1009,16	-0,38853
107	1338,87	160,319	160,374	34,7083	34,224	1008,66	-0,54358
108	1338,25	160,759	160,254	34,4432	34,3155	1009	-0,56514
109	1339,08	160,664	160,522	34,5596	34,3042	1009,1	0,04301
110	1338,89	160,532	161,007	34,8589	34,39	1009,23	-0,37119
111	1338,32	160,779	160,459	34,0701	34,3918	1009,57	-0,49897
112	1339,37	160,582	160,515	34,6068	35,0567	1009,11	-0,24007
113	1338,74	160,945	160,61	34,5894	34,5212	1009,37	-0,80458
114	1339,56	160,725	160,529	34,4569	34,554	1009,35	-0,2087
115	1339,27	160,732	160,845	34,7867	35,1239	1009,34	0,10741
116	1338,5	160,486	160,731	34,1883	34,8222	1009,17	-0,31627
117	1339,07	160,509	160,679	34,2621	34,2997	1009,27	-0,47552
118	1339,74	160,631	160,885	34,4847	33,9308	1008,99	0,19949
119	1338,93	160,508	160,562	34,4846	34,9038	1009,02	-0,51437
120	1339,11	160,63	160,272	34,4921	34,4035	1008,69	-1,08822
121	1338,82	160,957	160,594	34,3421	34,523	1009,26	-1,06767
122	1339,73	160,55	160,595	34,4824	34,8371	1009,28	-0,04466
123	1338,92	160,605	160,553	34,1945	34,341	1008,78	-0,3534
124	1339,32	160,219	160,458	34,4233	34,8759	1009,45	0,41143
125	1338,95	160,392	161,017	34,3382	34,308	1009,41	-0,21038