

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: Obrábění, aditivní technologie a zabezpečování kvality  
Studijní zaměření: Katedra technologie obrábění

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Inovace systému Ball-And-Socket pro radiální naklápěcí ložiska

Autor: **Bc. Jan Haruda**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.**

Akademický rok 2023/2024

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan HARUDA**  
Osobní číslo: **S22N0071P**  
Studijní program: **N0715A270011 Obrábění, aditivní technologie a zabezpečování kvality**  
Téma práce: **Inovace systému Ball-And-Socket pro radiální naklápěcí ložiska**  
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

## Zásady pro vypracování

1. Úvod do problematiky
2. Analýza současného stavu a rozbor povrchových úprav funkčních ploch
3. Návrh povrchové úpravy koule aplikací vhodné otěruvzdorné vrstvy a plánu experimentu
4. Realizace vybrané vrstvy na zkušební vzorky
5. Návrh a realizace obrábění kulové plochy
6. Experimentální ověření vlastností funkční plochy
7. Technicko – ekonomické hodnocení
8. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Elektronické informační zdroje dostupné z [www.knihovna.zcu.cz](http://www.knihovna.zcu.cz)
- CIRP ANNALS – Manufacturing Technology: (<http://www.cirp.net/>)
- Spektrum, MM Průmyslové dostupné z [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com)
- SANDVIK Coromant, Sandviken: Technická příručka obrábění, dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/>

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.**  
Katedra technologie obrábění

Konzultanti diplomové práce: **Ing. Josef Sklenička, Ph.D.**  
Regionální technologický institut  
**Ing. Jan Dolejš**  
GTW Bearings s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2023**  
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2024**

L.S.

---

**Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.**  
děkan

---

**Doc. Ing. Miroslav Zetek, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora



## **Poděkování**

Tímto děkuji svému vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Janu Řehořovi, PhD., konzultantovi Ing. Janu Dolejšovi a ostatním zaměstnancům ve firmě GTW BEARINGS s.r.o za cenné rady a připomínky při vypracování diplomové práce.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

|                         |   |                       |                      |
|-------------------------|---|-----------------------|----------------------|
| <b>AUTOR</b>            | Příjmení<br>Haruda  | Jméno<br>Jan          |                      |
| <b>STUDIJNÍ PROGRAM</b> | N0715A270011S00 Obrábění, aditivní technologie a zabezpečování<br>kvality |                       |                      |
| <b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>    | Příjmení (včetně titulů)<br>Doc. Ing. Řehoř Ph.D.                         | Jméno<br>Jan          |                      |
| <b>PRACOVISŤE</b>       | ZČU - FST - KTO   |                       |                      |
| <b>DRUH PRÁCE</b>       | <b>DIPLOMOVÁ</b>  | <del>BAKALÁŘSKÁ</del> | Nehodící se škrtněte |
| <b>NÁZEV PRÁCE</b>      | Inovace systému Ball-And-Socket pro radiální naklápěcí ložiska            |                       |                      |

|                |         |                |     |                    |      |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|
| <b>FAKULTA</b> | strojní | <b>KATEDRA</b> | KTO | <b>ROK ODEVZD.</b> | 2024 |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

|               |    |                     |    |                      |    |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|----|
| <b>CELKEM</b> | 86 | <b>TEXTOVÁ ČÁST</b> | 70 | <b>GRAFICKÁ ČÁST</b> | 16 |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|----|

|  |  |
|--|--|
| <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL<br/>POZNATKY A PŘÍNOSY</b>                | <p>Diplomová práce obsahuje návrhy inovací systém Ball and Socket pro radiální naklápěcí segmenty. Inovace spočívá v návrhu vhodné otěruvzdorné vrstvy povlaku se snahou snížit koeficient smykového tření. Následným ověřením správnosti otěruvzdorné vrstvy se provedlo měření, jak navržené otěruvzdorné vrstvy povlaků jsou vhodné.</p> <p>Diplomová práce přináší poznatky o vhodnosti použití povlaků v systému Ball and Socket.</p> |
| <b>JEDNOSLOVNÉ POJMY,<br/>KTERÉ VYSTIHUJÍ<br/>PODSTATU PRÁCE</b> | Kluzná ložiska, povlaky, návrh výroby, bod zvratu, ověření<br>správnosti   |

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

|                          |  |  |
|--------------------------|--|--|
| <b>AUTHOR</b>            | Surname<br>Haruda  | Name<br>Jan  |
| <b>STUDY PROGRAMME</b>   | N0715A270011S00 Machining, Additive Technology and Quality Assurance |  |
| <b>SUPERVISOR</b>        | Surname (Inclusive of Degrees)<br>Doc. Ing. Řehoř Ph.D.              | Name<br>Jan  |
| <b>INSTITUTION</b>       | ZČU - FST - KTO  |  |
| <b>TYPE OF WORK</b>      | <b>DIPLOMA</b>   | <b>BACHELOR</b><br><b>Delete when not applicable</b> |
| <b>TITLE OF THE WORK</b> | Innovation Ball-And-Socket for radial tilting bearings               |  |

|                |                        |                   |     |                     |      |
|----------------|------------------------|-------------------|-----|---------------------|------|
| <b>FACULTY</b> | Mechanical Engineering | <b>DEPARTMENT</b> | KTO | <b>SUBMITTED IN</b> | 2024 |
|----------------|------------------------|-------------------|-----|---------------------|------|

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

|                |    |                  |    |                       |    |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|----|
| <b>TOTALLY</b> | 86 | <b>TEXT PART</b> | 70 | <b>GRAPHICAL PART</b> | 16 |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|----|

|   |  |
|---|--|
| <b>BRIEF DESCRIPTION<br/>TOPIC, GOAL, RESULTS<br/>AND CONTRIBUTIONS</b> | <p>The thesis contains proposals for innovations of the Ball and Socket system for radial tilting segments. The innovation consists in the design of a suitable abrasion resistant coating layer in an attempt to reduce the coefficient of shear friction. Subsequent verification of the correctness of the abrasion resistant layer was carried out by measuring the suitability of the designed abrasion resistant coating layers.</p> <p>The thesis provides insights into the suitability of the coatings in the Ball and Socket system.</p> |
| <b>KEY WORDS</b>  | Plain bearings, coatings, production design, turning point, validation   |

## Obsah

|   |    |
|---|----|
| Seznam obrázků.....   | 10 |
| Seznam Tabulek.....   | 12 |
| Přehled použitých zkratk a symbolů .....  | 13 |
| Úvod.....   | 14 |
| 1 Základní informace o společnosti GTW BEARINGS s.r.o. ....                                       | 15 |
| 1.1 Historie společnosti .....  | 16 |
| 2 Úvod do problematiky .....  | 17 |
| 2.1 Kluzná ložiska .....  | 17 |
| 2.2 Rozdělení kluzných kompozicových ložisek .....  | 18 |
| 2.3 Profilová ložiska .....   | 18 |
| 2.4 Ložiska s naklápěcími segmenty .....  | 20 |
| 2.5 Řešení systému „Ball and Socket“ .....  | 22 |
| 3 Analýza současného stavu a rozbor povrchových úprav funkčních ploch .....                       | 23 |
| Druhy možných povrchových úprav.....  | 23 |
| Analýza současného stavu .....  | 24 |
| Rozbor povrchových úprav funkčních ploch.....   | 24 |
| 4 Návrh povrchové úpravy koule aplikací vhodné otěruvzdorné vrstvy a návrh plánu experimentu..... | 25 |
| 4.1 Niklování .....   | 25 |
| 4.2 PEEK .....  | 27 |
| 4.3 Chromování .....  | 29 |
| 5 Návrh a realizace obrábění kulové plochy.....   | 31 |
| 5.1 Návrh číslo 1.....  | 31 |
| 5.1.1 PEEK - návrh 1 .....  | 31 |
| 5.1.2 Nikl – návrh 1 .....  | 32 |
| 5.1.3 Chrom – návrh 1 .....   | 32 |
| 5.2 Návrh číslo 2.....  | 33 |
| 5.2.1 PEKK – návrh 2 .....  | 33 |
| 5.2.2 Nikl – návrh 2 .....  | 33 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.2.3 | Chrom – návrh 2 .....   | 33 |
| 5.3   | Výroba protikusu „Socket“ .....                               | 34 |
| 5.3.1 | „Socket“ návrh 1 .....  | 34 |
| 5.3.2 | „Socket“ návrh 2 .....  | 34 |
|       | Testování sestavení „Ball and Socket“ .....                   | 34 |
| 5.4   | Výsledné zhodnocení návrhů.....                               | 34 |
| 5.5   | Výrobní strojní zařízení .....                                | 35 |
| 5.5.1 | Pásová pila Bomar extend 700.520 Anc LS-500 .....             | 35 |
| 5.5.2 | Multifunkční horizontální obráběcí centrum Makino a51nx ..... | 37 |
| 5.5.3 | Soustruh CNC EMCO MAXXTURN 25 .....                           | 38 |
| 5.5.4 | Zeiss Prismo 3D .....   | 39 |
| 5.5.5 | DMU 40 eVo linear .....                                       | 40 |
| 6     | Realizace vybrané vrstvy povlaku na zkušební vzorky .....     | 41 |
| 6.1   | Realizace vrstvy PEEK.....                                    | 41 |
| 6.2   | Realizace vrstvy Niklu.....                                   | 43 |
| 6.3   | Realizace vrstvy Chromu.....                                  | 46 |
| 6.4   | Dodatečné úpravy povlaků .....                                | 48 |
| 7     | Experiment bodu zvratu .....                                  | 50 |
| 7.1   | Experimentální ověření.....                                   | 51 |
| 7.1.1 | Ověření vzorku s niklovým povlakem včetně maziva .....        | 51 |
| 7.1.2 | Ověření vzorku s niklovým povlakem bez maziva.....            | 52 |
| 7.1.3 | Ověření vzorku s tvrdochromovým povlakem včetně maziva .....  | 53 |
| 7.1.4 | Ověření vzorku s tvrdochromovým povlakem bez maziva .....     | 54 |
| 7.1.5 | Ověření vzorku s PEEK povlakem včetně maziva .....            | 55 |
| 7.1.6 | Ověření vzorku s PEEK povlakem bez maziva .....               | 56 |
|       | .....   | 57 |
| 7.2   | Strojní vybavení.....   | 57 |
| 7.2.1 | Fotografie experimentu .....                                  | 58 |
| 7.3   | Porovnání výsledných hodnot .....                             | 59 |
| 8     | Závěrečné měření.....   | 59 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 8.1 | Porovnání rozměrových protokolů .....   | 63 |
| 9   | Technicko-ekonomické zhodnocení .....   | 64 |
| 10  | Závěr .....                             | 66 |
| 11  | Seznam použitých zdrojů informací ..... | 67 |

## Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 1-1:Firma GTW BEARINGS s.r.o. ....  | 15 |
| Obrázek 2-1: Stribeckova křivka [15] .....  | 18 |
| Obrázek 2-2: hydrodynamický princip a hydrostatický[16].....                      | 18 |
| Obrázek 2-3:Ložiska s fixní geometrií [1].....                                    | 19 |
| Obrázek 2-4: Ložisko radiální-axiální - 4HUP [1] .....                            | 19 |
| Obrázek 2-5:Ložisko naklápějícími segmenty [1].....                               | 20 |
| Obrázek 2-6:Popis ložiska s naklápějícími segmenty se systémem BaS [4] [14] ..... | 21 |
| Obrázek 2-7:Řez ložiska s naklápějícími segmenty se systémem BaS [14].....        | 22 |
| Obrázek 2-8: Sestavení kloubového mechanismu BaS .....                            | 23 |
| Obrázek 4-1: Niklová lázeň .....  | 26 |
| Obrázek 4-2: Nádrže pro operaci niklování.....                                    | 26 |
| Obrázek 4-3: Niklová lázeň 2 .....  | 27 |
| Obrázek 4-4: WA segment + PEEK [25].....  | 29 |
| Obrázek 4-5: WA segment + PEEK s hydrostatikou[25] .....                          | 29 |
| Obrázek 4-6: Elektrostatické nanášení PEEKu [36].....                             | 29 |
| Obrázek 4-7: Strojní broušení chromu [41] .....                                   | 30 |
| Obrázek 4-8: Strojní chromování [41].....   | 30 |
| Obrázek 5-1: Normalizovaná kulička .....  | 31 |
| Obrázek 5-2: Normalizovaná kulička po pískování korundem .....                    | 32 |
| Obrázek 5-3: Bomar extend 700.520 Anc LS-500 [8].....                             | 36 |
| Obrázek 5-4: Technické parametry [5] .....  | 36 |
| Obrázek 5-5: Makino a51nx ve firmě GTW.....                                       | 37 |
| Obrázek 5-6: Makino a51nx: technická specifikace [10] .....                       | 38 |
| Obrázek 5-7: Soustruh CNC EMCO MAXXTURN [12].....                                 | 39 |

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 5-8: Zeiss Prismo [13] .....                    | 40 |
| Obrázek 5-9: DMU 40 eVo linear [43].....                | 41 |
| Obrázek 6-1: Uchycení pro pískování .....               | 42 |
| Obrázek 6-2: Otryskávání ploch .....                    | 42 |
| Obrázek 6-3: 3D model +PEEK .....                       | 42 |
| Obrázek 6-4: Povlak PEEK bez úpravy.....                | 42 |
| Obrázek 6-5: Povlak PEEK .....                          | 43 |
| Obrázek 6-6: Nikl vs surový obrobek.....                | 44 |
| Obrázek 6-7: Surový obrobek vs Nikl 2 .....             | 44 |
| Obrázek 6-8: 3D protokol rozměru a tvaru - Nikl .....   | 45 |
| Obrázek 6-9: Chromový povlak .....                      | 46 |
| Obrázek 6-10: Surový obrobek.....                       | 46 |
| Obrázek 6-11: 3D protokol rozměru a tvaru - Chrom ..... | 47 |
| Obrázek 6-12: 3D protokol rozměru a tvaru - PEEK .....  | 48 |
| Obrázek 6-13: Dodatečná úprava PEEKu .....              | 49 |
| Obrázek 6-14: Dodatečná úprava PEEKu .....              | 49 |
| Obrázek 7-1: FEM – Reakční moment [14] .....            | 50 |
| Obrázek 7-2: Ověření na barvu před měřením .....        | 51 |
| Obrázek 7-3: Niklovým povlakem včetně maziva .....      | 52 |
| Obrázek 7-4: Niklovým povlakem bez maziva .....         | 53 |
| Obrázek 7-5: Tvrdochromovým povlakem včetně maziva..... | 54 |
| Obrázek 7-6: Tvrdochromovým povlakem včetně maziva..... | 55 |
| Obrázek 7-7: Povlak PEEK včetně maziva .....            | 56 |
| Obrázek 7-8: Povlak PEEK bez maziva .....               | 57 |
| Obrázek 7-9: Průběh testu 2.....                        | 58 |
| Obrázek 7-10: Průběh testu.....                         | 58 |
| Obrázek 8-1: Rozměrový protokol - Nikl.....             | 60 |
| Obrázek 8-2: Rozměrový protokol - Tvrdochrom .....      | 61 |
| Obrázek 8-3: Rozměrový protokol - PEEK.....             | 62 |
| Obrázek 8-4: Ověření na barvu.....                      | 63 |

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 9-1: Graf – součinitel tření $f$ .....         | 64 |
| Obrázek 9-2: Graf – reakční kroučicí moment [Nm] ..... | 65 |

### **Seznam Tabulek**

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 4-1: Porovnání vhodnosti.....             | 25 |
| Tabulka 5-1: Zhodnocení a výběr návrhu .....      | 35 |
| Tabulka 7-1: Porovnání výsledků .....             | 59 |
| Tabulka 8-1: Porovnání rozměrových protokolů..... | 63 |



## Přehled použitých zkratk a symbolů

|         |  |
|---------|--|
| ISO     | Mezinárodní organizace pro normalizaci     |
| DIN     | Německý institut pro normy a standardizace |
| ČSN     | Česká technická norma                      |
| BaS     | Ball and Socket                            |
| NC      | Numerical control                          |
| CNC     | Computer Numerically Controlled            |
| PEEK    | PolyEtherEtherKetone                       |
| mm      | milimetr                                   |
| HV      | Tvrдость podle Vickerse                    |
| HRC     | Tvrдость podle Rockwella                   |
| PTFE    | Polytetrafluorethylen                      |
| Ra      | Aritmetická drsnost povrchu                |
| ZČU     | Západočeská univerzita v Plzni             |
| FST     | Fakulta strojní                            |
| RTI     | Regionální technologický institut          |
| ot./min | Otáčky za minutu                           |
| μm      | Mikrometr                                  |
| W       | Watt                                       |
| Kg      | kilogram                                   |
| TWI     | Indikátor opotřebení                       |
| N       | Newton                                     |
| Nm      | Newton metr                                |

## Úvod

Tato diplomová práce se zabývá návrhem inovace systému Ball and Socket pro radiální naklápěcí ložiska. Inovace systému byla zadána firmou GTW BEARINGS s.r.o. Tato firma se zabývá výrobou kluzných ložisek a vývojem nových inovativních komponent zahrnujících kluzná ložiska.

Ložiska s naklápějícími radiálními segmenty se systémem Ball and Socket dokáží vyrovnat určitá radiální a axiální vychýlení podle potřeb hřídele ve stroji. Pro lepší funkčnost těchto ložisek se navrhne inovativní řešení pro systém Ball and Socket tak, aby systém byl spolehlivější. Funkčnost prvku byla ověřena ve spolupráci firmy GTW BEARINGS s fakultou strojní Západočeské university v Plzni, a to v rámci programu Epsilon. Ověření systému proběhlo ve výzkumném oddělení RTI na Západočeské univerzitě.

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou část, která se zabývá metodikou kluzných ložisek a rozdělení jejich druhů dle jejich vhodnosti a funkčnosti. První část přesně popisuje úvod do problematiky a základní druhy kluzných ložisek. Následně se diplomová práce zaměřuje na analýzu stávajícího návrhu systému Ball and Socket podle kritérií firmy GTW BEARINGS. Druhá část zahrnuje nové inovativní návrhy opracování funkčních ploch u prvku Ball. Opracování ploch je posouzené podle hlavních požadavků na funkčnost, a to je především tvrdost a nejnižší součinitel tření. Cílem diplomové práce je dosáhnout vysoké kvality povrchu, tvrdosti prvku a snížit smykové tření mezi součástmi.

Následným krokem diplomové práce bylo experimentální měření, kde se u systému Ball and Socket měřil bod zvratu, neboli kdy dojde v systému při zatížení k pohybu mezi součástmi. Toto měření zodpoví, zda byl návrh opracování funkčních ploch správně navržen s ohledem na předchozí studie tohoto prvku.

Diplomová práce bude obsahovat konkrétní návrhy výroby funkčních komponent včetně dalšího postupu při výrobě a opracování.

## 1 Základní informace o společnosti GTW BEARINGS s.r.o.

Firma GTW BEARINGS s.r.o. se sídlem v Příšově vyrábí kluzná kompozicová ložiska. Firma byla založena v roce 1996. [1]

Výrobní prostory jsou čtyři výrobní haly a administrativní budova. V těchto prostorách probíhají činnosti v oblasti slévárenství, kovoobráběčství, specializovaný maloobchod a činnost technické výroby. [4]

Firma vyrábí kluzná kompozicová ložiska, pouzdra malosériově nebo kusově. Tato ložiska, pouzdra jsou navržena podle norem ISO DIN nebo na přání zákazníka. Kompletní



Obrázek 1-1:Firma GTW BEARINGS s.r.o.

výkresová dokumentace pro výrobu je vytvořena za pomoci programu Solid Edge a programy pro výrobní stroje pomocí SolidWork a TopSolid. Výrobky společnosti jsou radiální ložiska, axiální ložiska, kombinace axiálního a radiálního ložiska, axiální segmenty, radiální segmenty, axiální kroužky a další výrobky, které jsou především používány do parních turbín, generátorů, převodovek atd. [1] [4]

Firma GTW BEARINGS s.r.o. byla v roce 2012 certifikována dle ČSN EN ISO 14001:2016 a v roce 2016 byla certifikována podle ČSN OHSAS 18001:2008. [1]

## 1.1 Historie společnosti

- 1996: Založení firmy GTW BEARINGS s.r.o. – výroba kluzných hydrodynamických ložisek
- 1997: Stavba slévárenské dílny na kompozice
- 1998: Založení GTW TECHNIK s.r.o. – obchod v České republice
- 1998: Stavba první výrobní haly
- 2003: Stavba druhé výrobní haly
- 2006: Certifikace podle ISO 9001
- 2007: Stavba administrativní budovy
- 2010: Stavba třetí výrobní haly
- 2011: Implementace v Helios Orange
- 2012: Certifikace dle ISO 14001
- 2014: Stavba čtvrté výrobní haly
- 2016: Certifikace podle OHSAS 18001
- 2017: Modernizace strojního vybavení
- 2020: Další modernizace strojního vybavení
- 2023: Stavba výrobní haly a výzkumu Chotíkov [1]

## 2 Úvod do problematiky

Úvodem do problematiky se dá pojmut jako správné uložení hřídele vysokorychlostního stroje do ložiskového celku, tak aby byla zajištěna jeho funkčnost, nízká ztrátovost a vysoká účinnost. V případě vysokorychlostního stroje, jako je například generátor, se ukládá hřídel do kluzného ložiska a kluzné ložisko do rámu stroje tak, aby se zajistila stabilita celého stroje. Stabilita stroje má vliv na správnou funkčnost a opotřebení veškerých součástí. [4] [14]

### 2.1 Kluzná ložiska

Kluzná ložiska jsou strojní zařízení sloužící k podpoře a usnadnění pohybu mezi třecími plochami. Kluzná ložiska se skládají ze dvou hlavních částí, a to vnějšího obalu neboli pouzdra a vnitřního kluzného prvku. Kluzný prvek může být vyroben z různých materiálů, jako například z kovu, plastu a keramiky. V případě firmy GTW se jedná převážně o kompozicovou výstelku. Tato ložiska fungují v souladu s hydrodynamickým principem. [1] [3] [4]

#### Hydrodynamický princip kluzných ložisek

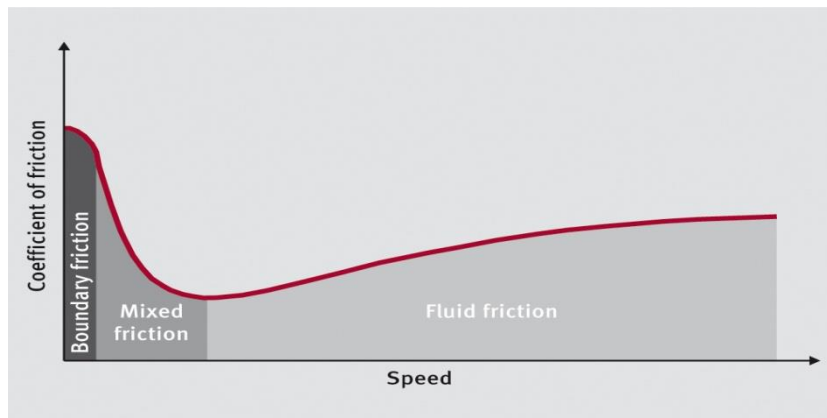
Hydrodynamický princip popisuje chování kapaliny (oleje) v mezeře mezi kluznou kompozicovou výstelkou a hřídelí. Hydrodynamická ložiska využívají točivý moment hřídele k vytvoření tlakového filmu. Tento tlakový film od sebe odděluje hřídel a kompozicovou výstelku a tím minimalizuje tření mezi nimi. [3] [4] [17]

Pokud je hřídel v klidu, tak leží na kompozicové výstelce. Při rozběhu a chodu vzniká tlakový film dle znázorněného obrázku 3-1. Podle druhu zatížení a druhu ložiska se hydrodynamický klín tvoří buď na radiální ploše nebo axiální ploše. Ložiska se dělí na axiální a radiální, popřípadě kombinovaná. [3] [4] [17]

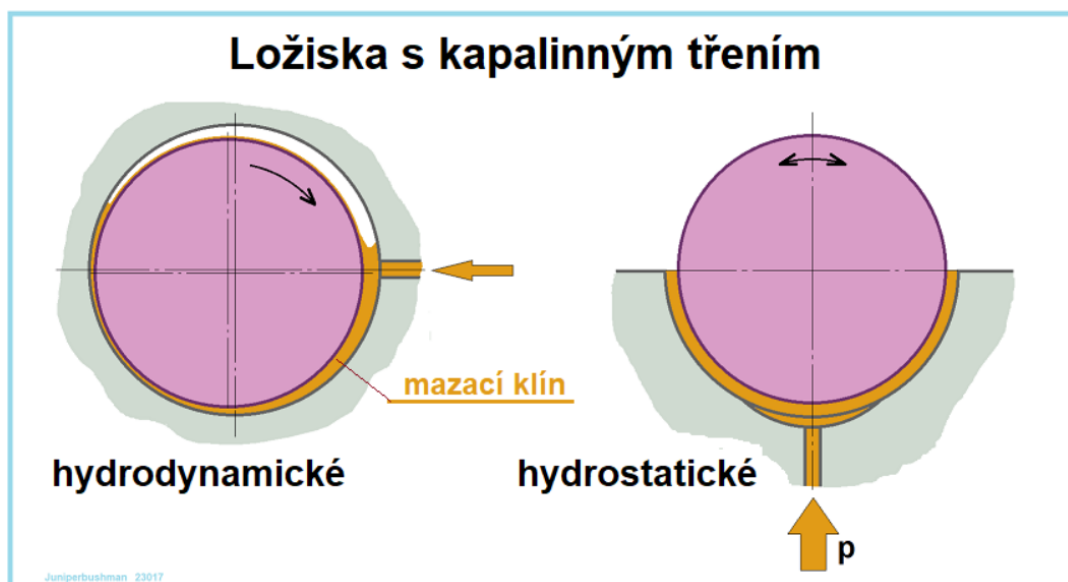
Při provozu dochází u ložisek postupně ke třem fázím tření:

- najetí (rozběh)
- provoz
- dojetí (doběh)

Součinitel tření je závislý na frekvenci otáček při stále konstantní viskozitě. [3] [17]



Obrázek 2-1: Stribeckova křivka [15]



Obrázek 2-2: hydrodynamický princip a hydrostatický [16]

## 2.2 Rozdělení kluzných kompozicových ložisek

Podle obvodové rychlosti a velikosti zatížení se ložiska dělí na profilová ložiska a na ložiska s naklápějícími segmenty. [1]

## 2.3 Profilová ložiska

Profilová ložiska jsou taková ložiska, která jsou tvořena fixní geometrií. Tato ložiska se řadí mezi nejjednodušší a cenově nejlevnější ložiska. Ložiska s fixní geometrií mají upravený vnitřní průměr tak, aby tlakový film usměrňoval hřídel do požadované pozice. Dle geometrie se rozlišují 4 druhů ložisek s fixní geometrií, a to podle následujícího obrázku. [1] [2] [4]



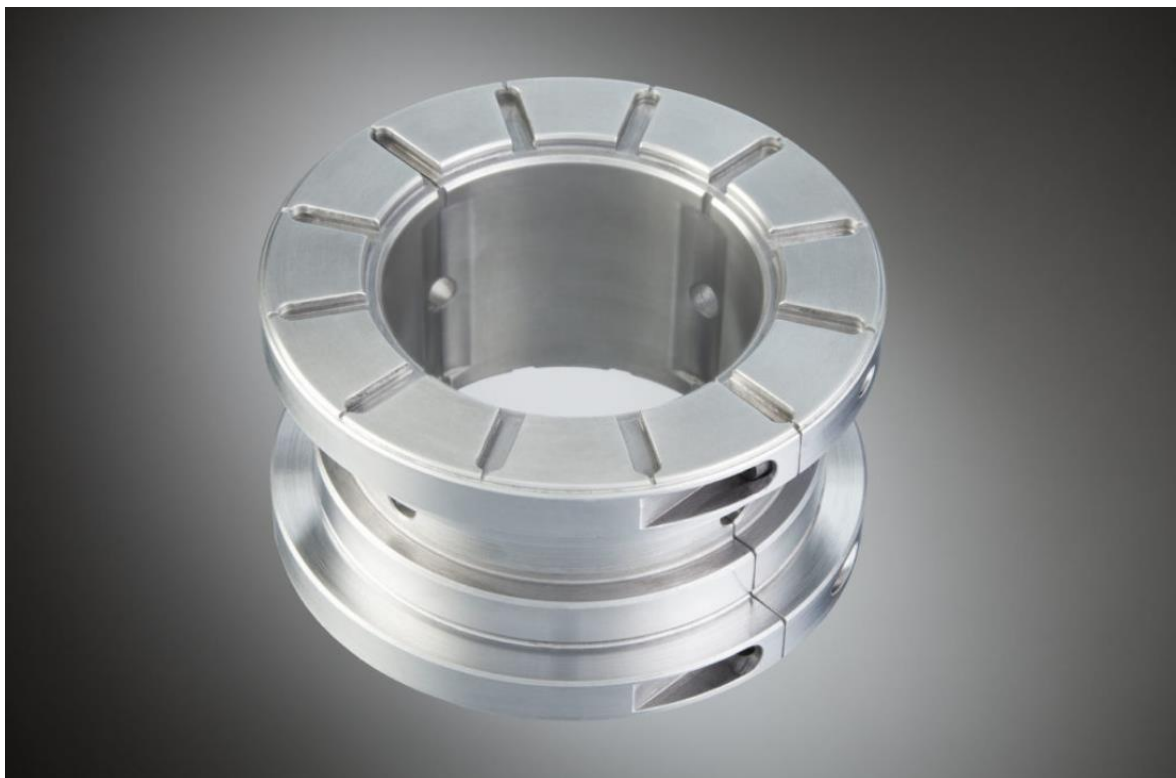
Obrázek 2-3: Ložiska s fixní geometrií [1]

Válec – nejjednodušší profil, používaný pro nenáročné provozní podmínky, dokáže nést největší zatížení

Citron – přizpůsobuje částečně pohyb hřídele ve vertikálním směru

Offset – přizpůsobuje částečně pohyb hřídele v horizontálním směru

4-plochý – neboli dle označení GTW 4HUP; Tlakový klín vzniká ve čtyřech místech [1]  
[4] [6]



Obrázek 2-4: Ložisko radiální-axiální - 4HUP [1]

## 2.4 Ložiska s naklápěcími segmenty

Ložiska s naklápěcími segmenty se čím dál více rozvíjejí a vyrábějí z důvodu schopnosti přenést vysoké obvodové rychlosti. Vysoké obvodové rychlosti se zajišťují pomocí čtyř nebo pěti segmentů, které jsou umístěny po vnitřním obvodu tělesa ložiska.

Segmenty ložiska mají specifický tvar tím, že vnější zaoblení segmentu je podstatně menší než zaoblení vnitřního průměru tělesa a tím dochází k čárovému dotyku. Pomocí jiného zaoblení segmentu se mohou segmenty uvnitř ložiska naklánět.

Naklopení segmentu je zajištěno pomocí přizpůsobivého tlakového klínu mezi hřídelí a segmentem, což určuje dobrou hydrodynamickou stabilitu.

Ložiska s naklápějícími segmenty s čárovým dotykem dokážou přizpůsobit tlakový klín aktuálním podmínkám v radiálním směru ložiska. [1] [4] [14] [18]

Tato ložiska se skládají z:

- tělesa
- segmentu
- trysky
- těsnících deklů



Obrázek 2-5: Ložisko naklápěcími segmenty [1]



Ložiska s naklápěcími segmenty a systémem Ball and Socket se používají kvůli schopnosti vyrovnávat radiální segment dle náklonu hřídele do osy stroje.

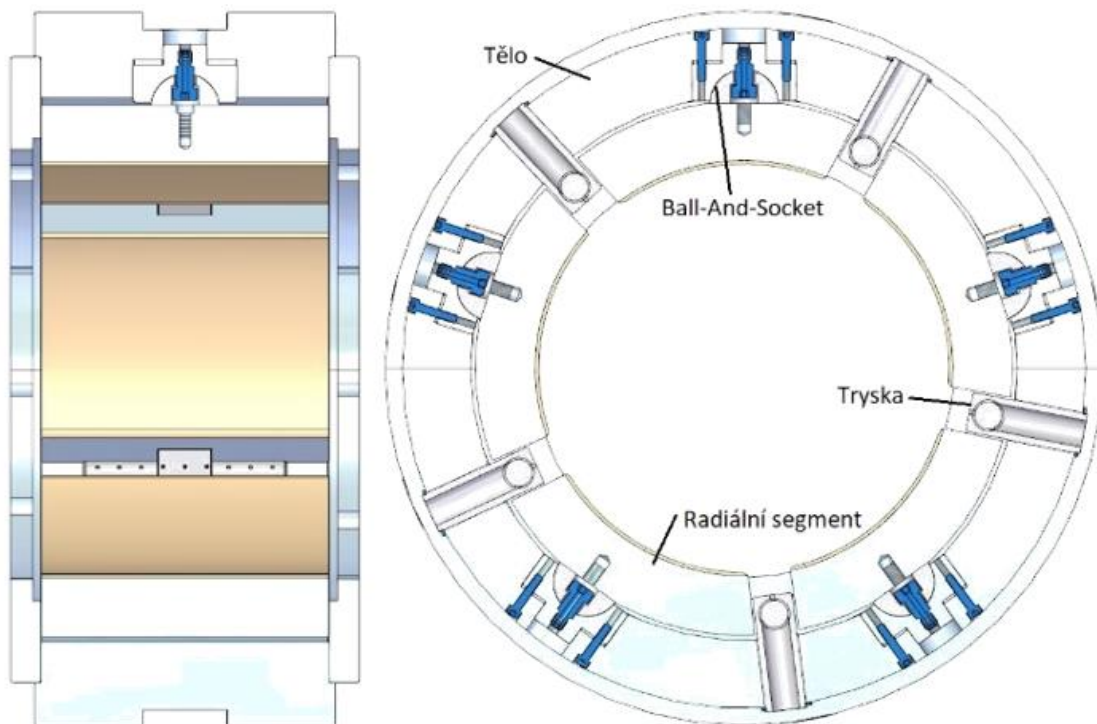
- Tato ložiska se skládají z tělesa, segmentu, trysky, těsnících deklů a sestavení „Ball and Socket“. [1] [4] [14] [18]

Výhody ložiska s naklápěcími segmenty oproti ložiskům s fixní geometrií:

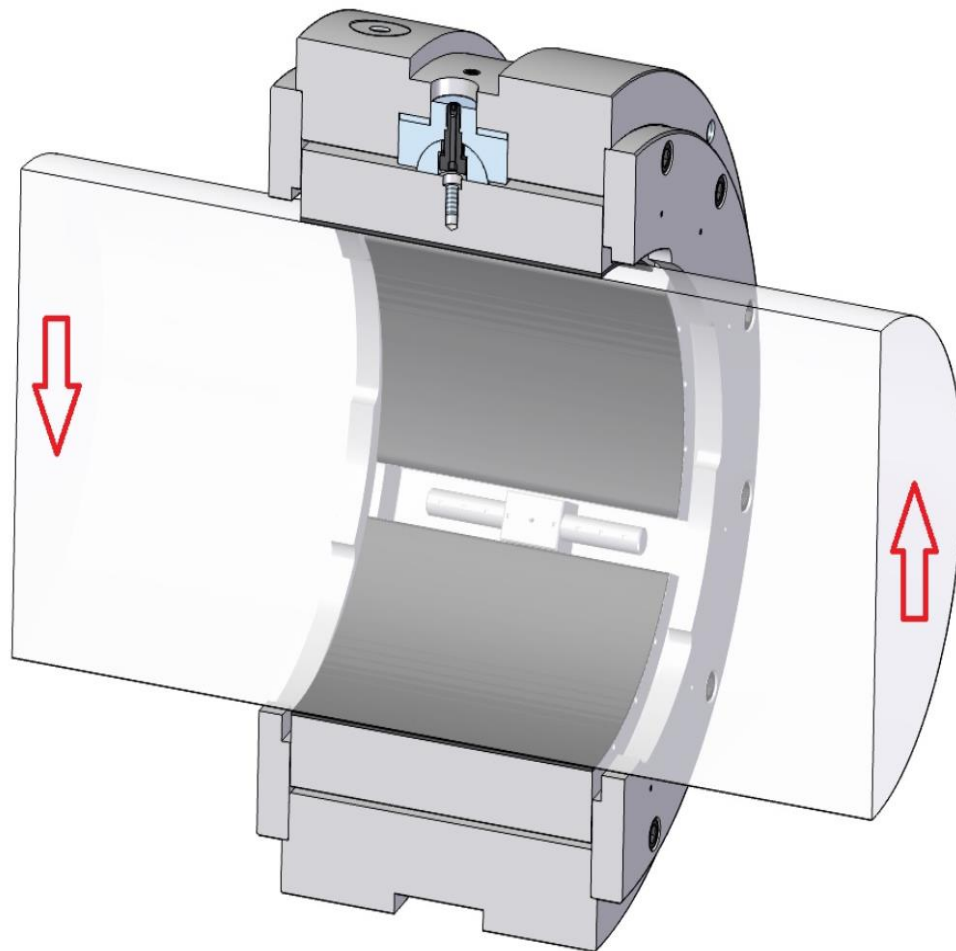
- Vysoké obvodové rychlosti a hydrodynamická stabilita
- Řízení průtoku oleje pomocí trysek
- Přijatelně malá citlivost na nevyrovnanost hřídele [1] [4] [14] [18]

Nevýhody ložiska s naklápěcími segmenty oproti ložiskům s fixní geometrií:

- Složitá výroba jednotlivých komponentů
- Vyšší cena [1] [4] [14] [18]



Obrázek 2-6: Popis ložiska s naklápěcími segmenty se systémem BaS [4] [14]

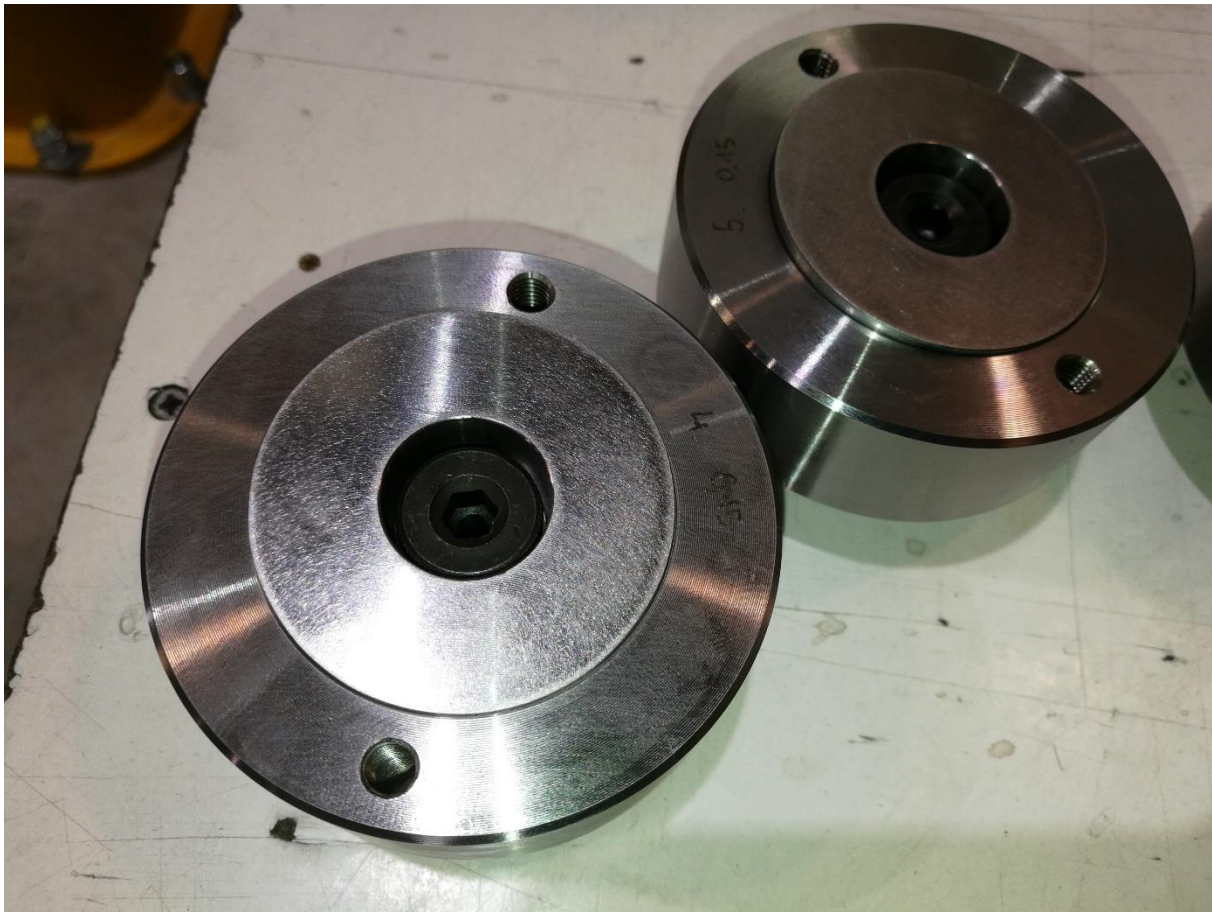


Obrázek 2-7: Řez ložiska s naklápějícími segmenty se systémem BaS [14]

## 2.5 Řešení systému „Ball and Socket“

Systém Ball and Socket je kloubový mechanismus, kde se částečná kulička pohybuje v protikuse. Snaha tohoto zařízení je taková, že osu segmentu ustanovuje do polohy osy hřídele. Tímto ustanovením ložisko vyrovná částečně nesouososti hřídele. [4] [14]

U systému je značně důležitá co nejvyšší geometrická přesnost a co nejnižší drsnost povrchů dosedacích ploch bez vzniku mikrosvarů. V případě kvalitního povrchu dosedacích ploch bude snazší smýknutí kuličky na protikuse. Zabráněním mikrosvarů by měly řešit povlaky. [4] [14]



Obrázek 2-8: Sestavení kloubového mechanismu BaS

### 3 Analýza současného stavu a rozbor povrchových úprav funkčních ploch

Povrchové úpravy slouží k ochraně materiálu před korozí, mechanickým poškozením nebo pro přípravu dalších úprav. [19]

#### Druhy možných povrchových úprav

- Nátěry a barvy
  - Nátěry převážně slouží k ochraně před korozí a povrchové barvy slouží také jako ochrana před korozí, ale především slouží k estetickým účelům [19] [20] [21]
- Cementace
  - Tepelná úprava povrchu pro zvýšení tvrdosti [21] [22]
- Galvanické pokování
  - Galvanizací se na povrch kovového materiálu nanáší zinek nebo chrom a ten chrání před korozí. [21] [23]
- Teflonování (PTFE)

- Teflonováním se na povrch nanáší teflon pro snížení tření a pro odolnost proti chemikáliím [21] [24]
- PEEK
  - Materiál PEEK se aplikuje na povrch materiálu pomocí nástřiku. Materiál PEEK má nízký součinitel tření a funguje jako elektrický izolant. [21] [25]
- Tvrdé chromování
  - Nanesením tvrdochromu se zlepši mechanické vlastnosti materiálu [21] [26]
- Niklování
  - Niklováním se na povrch nanese malá vrstva tvrdého niklu, který zlepši mechanické vlastnosti a estetický vzhled [21] [26]

## **Analýza současného stavu**

V dnešní době se systém Ball and Socket vyrábí dle následujícího návrhu.

Prvek „Ball“ je vhodné koupit jako kuličku z valivého ložiska dle ISO 3290, kde je zaručená drsnost, geometrická a rozměrová přesnost. Kulička se upne do univerzálního přípravku ve stroji Makino a51nx a ofrézuje se plocha, která je nutná pro zhotovení závitu. Kuličku upneme do přípravku za závit a ofrézuje se s posunutím o x mm od středu. Na závěr se vyfrézuje zahlobení a kulička se začistí. [4] [14]

Prvek „Socket“ se vyrábí z kruhové tyče 34CrNiMo6. Tento polotovár upneme do CNC soustruhu Doosan 2600\_Y, kde se obrobí vnější průměr, čelo a tvar koule. Do tvaru koule se vloží protikus „Ball“ a otestuje se na barvu, zda se plochy shodují. V případě, že opis není dostatečný, tak se provede korekce NC programu a operace se opakuje. Dále se otočí prvek a obrobí se druhá strana včetně průchozích závitů. Na závěr se prvek začistí. [4] [14]

## **Rozbor povrchových úprav funkčních ploch**

Zakoupená ocelová kulička (materiál AISI52100 s přesností G40) z valivého ložiska je dle každého výrobce kalena a temperována na tvrdost 55 až 66 HRc. Výrobce dále udává, že kuličky jsou broušeny, aby se dosáhlo požadovaného rozměru a hladkosti povrchu kolem Ra0,032. [27] [28]

Prvek „Socket“ z materiálu 34CrNiMo6 je konstrukční legovaná ocel a vyznačuje se vysokou pevností v tahu a houževnatostí. Tuto ocel jde jednoduše kalit, ale obtížně svařovat. Ocel se především určuje pro namáhané strojní součásti a automobilový průmysl. Povrch není upraven. [28]

## 4 Návrh povrchové úpravy koule aplikací vhodné otěruvzdorné vrstvy a návrh plánu experimentu

Pro určení vhodného materiálu na povrch kulové plochy se vytvořila tabulka s určitými povlaky, které jsou charakterizovány podle určitých důležitých vlastností, které se požadují. Tabulka vyobrazuje hodnoty od 1 po 10 s tím, že 1 je nejméně a 10 je nejvíce vhodná. Podle výsledného celkového skóre je určitý povlak vhodný pro kulovou plochu.

Plánem experimentu bude vybrat materiál pevný, tuhý, tvrdý, otěruvzdorný, netoxický a schopných fungovat jako izolant.

Tabulka 4-1: Porovnání vhodnosti

|                        | Nátěry<br>AntiRezin | Galvanické<br>zinkování | Galvanické<br>chromování | Tvrdé<br>chromování | PEEK | Niklo-<br>vání | PTFE | Grafe-<br>nový<br>povlak |
|------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|------|----------------|------|--------------------------|
| Pevnost                | 2                   | 4                       | 5                        | 10                  | 7    | 9              | 6    | 6                        |
| Tuhost                 | 1                   | 3                       | 5                        | 9                   | 6    | 8              | 6    | 4                        |
| El. Izolant            | 8                   | 0                       | 0                        | 0                   | 7    | 0              | 7    | 3                        |
| Tvrдость               | 2                   | 4                       | 5                        | 9                   | 7    | 10             | 6    | 7                        |
| Otěruvzdornost         | 3                   | 3                       | 4                        | 9                   | 8    | 10             | 8    | 8                        |
| Sterilita<br>prostředí | 2                   | 8                       | 8                        | 9                   | 10   | 9              | 9    | 7                        |
| Celkem                 | 18                  | 22                      | 27                       | 46                  | 45   | 46             | 42   | 35                       |

Dle tabulky budou nejvhodnější materiály pro kulovou plochu tvrdé chromování, niklování a materiál PEEK z důvodu jak vysoké pevnosti, tak s přihlédnutím na ostatní faktory.

### 4.1 Niklování

Vrstva niklovaného povrchu dosahuje přibližné tvrdosti 600-700 HV a z toho vyplývá, že je vysoce odolný proti otěru a opotřebení. Dále poniklovaný materiál zlepší únavovou odolnost, tím sníží možnosti vzniku trhlin a zlepší rozložení napětí na povrchu materiálu. Součinitel tření  $f$  uvažujeme 0,095. [21] [26]

Niklování je proces, u kterého se na povrch ocelové koule nanese vrstva niklu.

Způsoby niklování:

- Elektrolytické niklování
  - Tato metoda je nejčastěji používaná metoda a využívá elektrolytu obsahujícího niklové soli ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) [30]
  - Ocelová kulička je ponořena do elektrolytu a aplikuje se elektrický proud



- Při elektrickém procesu dochází k redukci niklových iontů a tím dochází k jejich ukládání na povrch kuličky [21] [30]
- Chemické niklování
  - Při této metodě dochází k chemickým reakcím a vytvoření vrstvy niklu na povrchu kuličky
  - Chemické niklování je alternativou elektrolytického niklování [21] [31]

Pracovní postup elektrolytického niklování:

Niklování probíhá v několika navazujících krocích. Počáteční operací pro niklování kuličky je předpříprava povrchu. V kuličce byl proto vytvořen závit, aby se do ní dala připevnit závitová tyč a byla jednoduchá manipulace mezi lázněmi. Předpřípravou pro niklování je myšleno odmaštění, moření a následném opláchnutí destilovanou vodou. Po dostatečném oplachu povrchu se koule ponoří do niklové lázně. Koule se v lázni ponechá 15 až 30 minut. Po tomto časovém úseku se na povrch koule vytvoří přibližně vrstva o velikosti 15 $\mu$ m-20 $\mu$ m.

Koule se na závěr opláchnou destilovanou vodou a nechá se vychladnout. [21] [30] [40]

Niklování bylo provedeno ve spolupráci s firmou SERW spol. s.r.o. Firma SERW spol. s.r.o provádí galvanické pokovování zinkem, stříbrem, mědí a niklem. Především se firma zaměřuje na venkovní vypínače, uzemňovače pro napětíovou hladinu od 1kilovoltu do 420 kilovoltů. Firma SERW byla vybrána z důvodu rychlého dodání a suverénního jednání. [32]

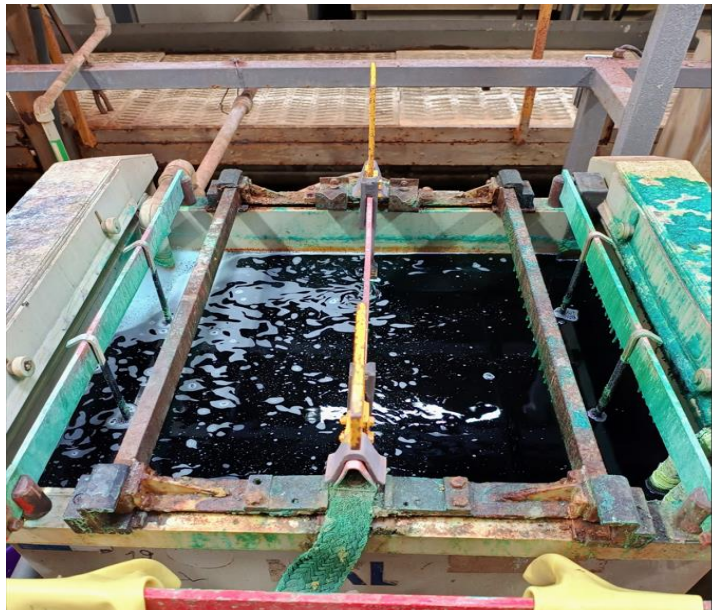
Niklování bylo provedeno dle předcházejícího postupu.



Obrázek 4-2: Nádrže pro operaci niklování



Obrázek 4-1: Niklová lázeň



Obrázek 4-3: Niklová lázeň 2

## 4.2 PEEK

Povlaky PEEK hrají vysokou roli v průmyslových aplikacích, a to zejména v oblasti kluzných ložisek, kde dokáží poskytnout dostatečnou odolnost proti opotřebení a vylepšení tribologických vlastností (procesy tření, opotřebení a mazání). Součinitel tření  $f$  uvažujeme 0,05. [25] [32]

PEEK neboli polyetheretherketon je polymerní materiál.

PEEK: mez pevnosti kluzu a odolnost vůči opotřebení jsou srovnatelné s měděnými materiály, které se používají pro kluzná ložiska. PEEK rovněž vykazuje dobré vlastnosti vůči deformacím při vysokých teplotách a dynamickém zatížení. S ohledem na dynamické vlastnosti má PEEK schopnost odolávat těmto vlastnostem jako doposud používané kompozitní materiály ložisek. [25] [32]

Co se týče tribologických vlastností, tak materiál PEEK snáší dočasné fungování bez chlazení a mazání olejem.

Způsob nanášení materiálu PEEK jsou tři základní metody, a to povlakování, vytlačování a elektrostatické nanášení. [25] [32]

- Povlakování
  - Metoda umožňuje částečně nanést přesnou tloušťku povlaku.

- Povlakování poskytne homogenní vrstvu povrchu, dobrou adhezní schopnost a konzistentní vlastnost.
- Vhodnost použití je pro tvarově složité povrchy. [32] [36]
- Vytlačování (3D tisk)
  - Metoda vytlačování je částečně přesná a velmi rychlá oproti ostatním metodám, neboť se provádí pomocí automatizovaného zařízení. (3D tiskárna)
  - Vhodnost použití této metody vzniká při výrobě vysokého počtu kusů stejného tvaru; tím se snižují náklady na výrobu [32] [35]
- Elektrostatické nanášení
  - Elektrostatické nanášení umožňuje velmi přesně definovat tloušťku povlaku, což je užitečné pro tenké vrstvy povlaku.
  - Největší výhodou je minimalizace odpadu a spotřeba materiálu pro dosažení tloušťky povlaku.
  - Vhodnost této metody vyniká především při aplikaci bez použití vysokých teplot. [32] [37]

#### Pracovní postup elektrostatického nanášení povlaku PEEK

Před samotným nanášením povlaku je důležité připravit povrch kulové plochy. Povrch musí být náležitě upraven, očištěn a odmaštěn. Dále se materiál připraví v podobě disperze při vhodné koncentraci a viskozitě. [32] [37]

Nanášení materiálu PEEK se vloží do elektrostatické pistole, která vytváří záporný elektrický náboj, a při aplikaci přilne nástřik k pozitivnímu elektrickému náboji, což je kulová plocha. [32] [37]

Kulová plocha je pomocí přípravku umístěna na stabilizační podložku. Elektrostatická pistole vystřeluje částice PEEKu směrem ke kulovému povrchu, kde jsou částice přitahovány elektrostatickým polem. Při nanášení je zapotřebí zajistit homogenní vrstvu po celém povrchu a toho je dosaženo pomocí rovnoměrného otáčení elektrostatické pistole okolo kulové plochy. Pro docílení dostatečné tloušťky se tento proces opakuje vícekrát.

Po docílení dostatečné tloušťky probíhá proces tepelného vytvrzování, aby se zajistila tvrdost povlaku. [32] [37]

Aplikování povlaku PEEK bylo zpracováno pomocí prostředníka, a to firmou Gleitlagertechnik Weißbacher GmbH

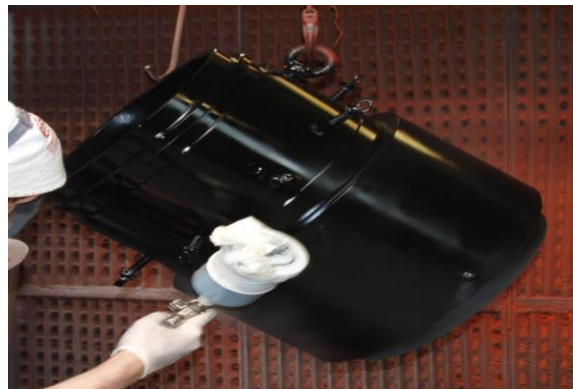




Obrázek 4-5: WA segment + PEEK s hydrostatikou[25]



Obrázek 4-4: WA segment + PEEK [25]



Obrázek 4-6: Elektrostatické nanášení PEEKu [36]

### 4.3 Chromování

Tvrdé chromování je proces, u kterého se na povrch základního materiálu aplikuje tenká vrstva chromu, a to jak za účelem zlepšení mechanických vlastností, tak i kvůli odolnosti proti opotřebení a korozi. Tvrdé chromování se často používá ve strojírenském odvětví, a to především v leteckém a automobilovém průmyslu tam, kde je zapotřebí prodloužit nebo zajistit delší životnost součástí. Vedlejší výhodou tvrdého chromování je lesklý povrch a odolnost proti poškrábání s tvrdostí 1000 HV. Součinitel tření  $f$  uvažujeme 0,085. [26] [38] [39]

- Elektrolytické chromování
  - Tato metoda je nejrozšířenější a využívá elektrický proud k aplikaci depozice chromu na povrch materiálu
  - Chromovaný materiál je katoda a chromovací roztok je anoda. [38] [39]
- Chemické chromování

- Za použití chemické metody se aplikuje depozice chromového povlaku na povrch materiálu
- Povlakování se může provádět jak za studena, tak za tepla
- Používá se při velkém počtu různorodých tvarových ploch [38] [39] [40]
- Vakuové nanášení - Sputtering
  - Metoda využívá ionty k aplikaci depozice chromového povlaku na povrch materiálu
  - Ionty se uvolňují pomocí vysokého napětí [38] [40]

#### Pracovní postup elektrochemického tvrdého chromování

Před aplikováním chromového povlaku se jako u předchozích verzí musí povrch nejprve očistit od nečistot a odmastit od olejových skvrn. Dále se kulová plocha připevní k elektrickému vodiči a ponoří se do chromovacího roztoku (roztok obvykle obsahuje kyselinu chromovou a přídavné přísady, který urychlují proces chromování). Při aktivaci elektrického proudu dojde k depozici chromu na kulový povrch. Následně po aplikaci chromového povlaku se kulová plocha vystaví vysokým teplotám, aby se docílilo vyšší adhezi a pevnosti povrchu. Závěrečným krokem tvrdého chromování je leštění, popřípadě broušení povrchu. [38] [40] [42]

Tvrdé chromování bylo provedeno ve firmě NOVEX Bohemia s.r.o. Firma NOVEX Bohemia s.r.o je firma specializující se na povrchové úpravy jak kovových součástí, tak polymerových. Firma se převážně zaměřuje na povrchovou úpravu pomocí chromu. Tato firma byla vybrána z důvodu rychlého dodání pochromovaného vzorku. [41]



Obrázek 4-8: Strojní chromování [41]



Obrázek 4-7: Strojní broušení chromu [41]

## 5 Návrh a realizace obrábění kulové plochy

Navrženy budou dvě možnosti výroby kvůli zaměření na jednoduchost a možnost aplikace povlaků na samotný polotovár. Výsledkem bude vybrat jednu možnost za účelem jednotvárnosti výroby.

### 5.1 Návrh číslo 1

Návrh číslo jedna bude vycházet z dřívější studie, kde se kulička kupuje jako normalizovaná součást a dodatečné úpravy vznikají přímo na kuličce. Kulička bude dle domluvy vyrobena ve firmě GTW Bearings s.r.o. [4]

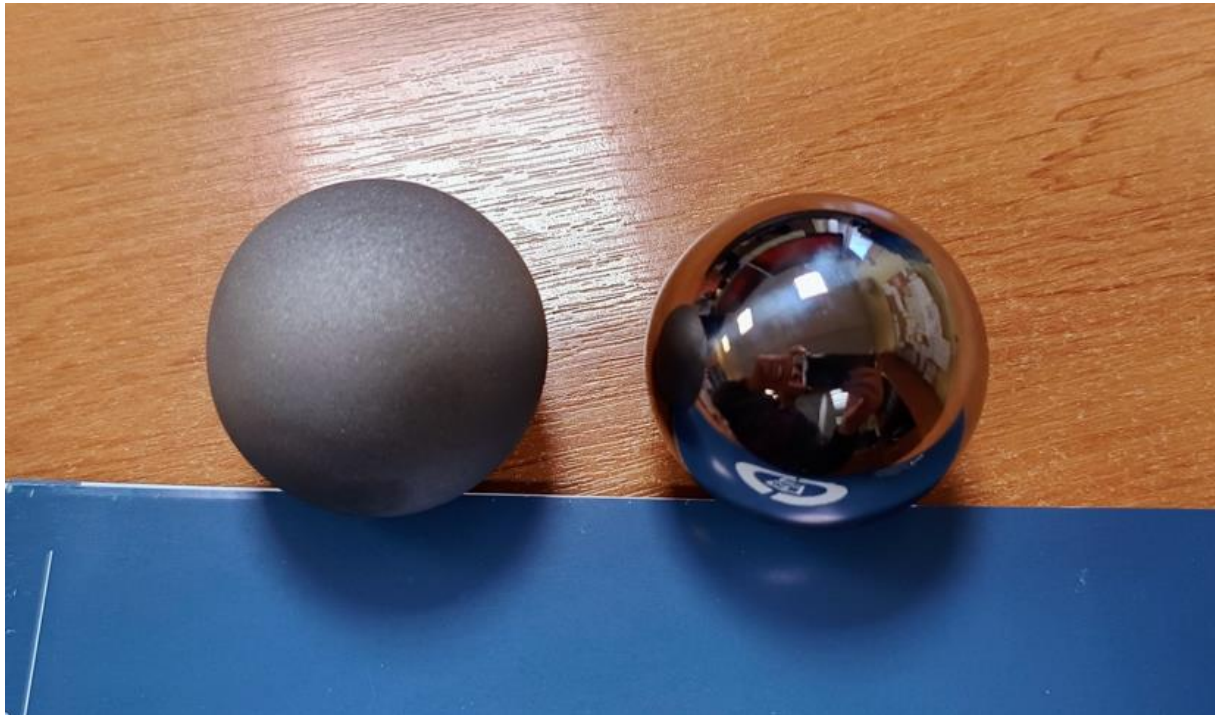


Obrázek 5-1: Normalizovaná kulička

#### 5.1.1 PEEK - návrh 1

Návrh 1 je koupit ocelovou kuličku z valivého ložiska a otryskáváním vytvořit na povrchu koule hrubozrný povrch ocelovou drtí s označením GH.

Ocelová drť GH nevytvořila na povrchu hrubozrný povrch, tak se k otryskávání použil korund F22. Korund F22 vytvořil na povrchu koule drsnost přibližně Ra3,2.



Obrázek 5-2: Normalizovaná kulička po pískování korundem

Následně se prvek ocelová kulička upne se do univerzálního přípravku ve stroji Makino a51nx a ofrézuje se ploška, která je nutná pro zhotovení otvoru M18. Kuličku upneme do přípravku ve tvaru kužele za závit M18, ofrézuje se s posunutím o  $x$  mm od středu a vyfrézujeme se zahloubení. Kulička se na závěr začistí.

### 5.1.2 Nikl – návrh 1

Návrh 1 je koupit ocelovou kuličku z valivého ložiska. Pro poniklování ocelové kuličky není zapotřebí opracovávat vnější obal, proto se může začít s výrobou.

Prvek ocelová kulička o stejném průměru se upne do univerzálního přípravku ve stroji Makino a51nx a ofrézuje se ploška, která je nutná pro zhotovení otvoru M18. Kuličku upneme do přípravku ve tvaru kužele za závit M18, ofrézuje se s posunutím o  $x$  mm od středu a vyfrézujeme se zahloubení. Kulička se na závěr začistí.

### 5.1.3 Chrom – návrh 1

Návrh 1 je koupit ocelovou kuličku z valivého ložiska. Pro tvrdé chromování ocelové kuličky není zapotřebí opracovávat vnější obal, proto se může začít s výrobou.



„Prvek ocelová kulička o stejném průměru se upne do univerzálního přípravku ve stroji Makino a51nx a ofrézuje se ploška, která je nutná pro zhotovení otvoru M18. Kuličku upneme do přípravku ve tvaru kužele za závit M18, ofrézuje se s posunutím o x mm od středu a vyfrézuje se zahloubení. Kulička se na závěr začistí.“

## 5.2 Návrh číslo 2

Návrh číslo dva bude z tyče KR60 z materiálu C45. Tato kruhová tyč má průměr 60mm a délku 75mm. Podle domluvy bude výroba probírat dle domluvy na ZČU v oddělení RTI.

### 5.2.1 PEKK – návrh 2

Kruhová tyč KR60 se upne do sklíčidla za vnější průměr do stroje CNC soustruh EMCO MAXXTURN 25. Nejprve se na soustruhu zarovná čelo a poté se hrubuje průměr 35mm, následně se vyvrtají vnitřní díry o průměru 25mm a průměru 20mm. Tyto díry se následně dokončí výstružníkem dle výkresu. Dalším krokem je přepnout na soustruhu součást za vysoustružený průměr 35mm. Výroba začíná zarovnáním čela součásti a hrubováním. Dalším krokem je vytvořit na součásti kulovou plochu o rádiusu R24,5mm včetně rovné plochy pro vrtání. Ploška navazující na kulovou plochu slouží pro snadné vytvoření díry 22 mm, včetně zahloubení 23 mm a závitu M18. Na závěr se na součásti srazí hrany.

### 5.2.2 Nikl – návrh 2

Kruhová tyč KR60 se upne do sklíčidla za vnější průměr do stroje CNC soustruh EMCO MAXXTURN 25. Nejprve se na soustruhu zarovná čelo a poté se hrubuje průměr 35mm, následně se vyvrtají vnitřní díry o průměru 25mm a průměru 20mm. Tyto díry se následně dokončí výstružníkem dle výkresu. Dalším krokem je přepnout na soustruhu součást za vysoustružený průměr 35mm. Výroba začíná zarovnáním čela součásti a hrubováním. Dalším krokem je vytvořit na součásti kulovou plochu o rádiusu R25mm včetně rovné plochy pro závit. Ploška navazující na kulovou plochu slouží pro snadné vytvoření závitu M18. Na závěr se součást začistí.

### 5.2.3 Chrom – návrh 2

Postup výroby pro tvrdé chromování je stejný jako u Nikl – návrh 2. „Kruhová tyč KR60 se upne do sklíčidla za vnější průměr do stroje CNC soustruh EMCO MAXXTURN 25. Nejprve se na soustruhu zarovná čelo a poté se hrubuje průměr 35 mm, následně se vyvrtají vnitřní díry o průměru 25 mm a průměru 20 mm. Tyto díry se následně dokončí výstružníkem dle výkresu. Dalším krokem je přepnout na soustruhu součást za vysoustružený průměr 35mm. Výroba začíná zarovnáním čela součásti a hrubování. Dalším krokem je vytvořit na součásti kulovou plochu o rádiusu R25mm včetně rovné plochy pro závit. Ploška navazující na kulovou plochu slouží pro snadné vytvoření závitu M18. Na závěr se součást začistí.“

### 5.3 Výroba protikusu „Socket“

Součást Socket se bude vyráběna z kruhové tyče s obchodním označením KR90, a to z vysoce kvalitního materiálu 42CrMo4, který je známý vysokou pevností a odolností proti opotřebením. Polotovár bude mít rozměry o délce 55mm a průměru 90mm. Výrobní proces začíná manipulací s kruhovou tyčí, která je nejprve uříznuta na požadovanou délku na pásové pile PP 602 CNC.

#### 5.3.1 „Socket“ návrh 1

Následně je polotovár pevně zafixován do pracovního soustruhu CNC EMCO MAXXTURN 25 tak, aby se dosáhlo maximální přesnosti výroby.

V první fázi obrábění se hrubuje vnější průměr, čelo a vnitřní zahloubení kulového tvaru. Kulový tvar se soustruží tak dlouho, dokud není tvarově podobný s protikusem „Ball“ a to tak, že se upravuje v programu korekce nástroje. Čím bude tvarová podobnost větší, tím bude stabilita a funkčnost celého sestavení kvalitnější. Poté co se první strana dokončí, součást se ve sklíčidle otočí a zafixuje. Během druhé fáze je vyrobený vnější průměr 32mm, středový závitu M10 a manipulační závity M6, které dále slouží k propojení celého funkčního systému ložiska. Následně se celý prvek začistí.

#### 5.3.2 „Socket“ návrh 2

Nejprve se zafixuje polotovár do pracovního soustruhu CNC EMCO MAXXTURN 25 a následně se polotovár vyhrubuje dle přiloženého výkresu.

Po vyhrubování se přesune polotovár na strojní frézku DMU 40 eVo linear, kde se začne kulovou frézou obrábět vnitřní koule dle protikusu „Ball“. Program se jako u soustružení upravuje tak dlouho, dokud nemá dostatečně stejnou tvarovou podobnost a dobrou kvalitu povrchu. Další operace zahrnují vyvrtání děr a závitů. Následně se součást upne za obrobený průměr a začistí se čelo součásti.

#### Testování sestavení „Ball and Socket“

Výsledný prvek musí být důsledně testován zkouškou na barvu z důvodu kvality povrchu. Případné defekty nebo nedostatky musí být zahlazeny nebo odstraněny. Tyto kroky zajišťují správnost funkce celého sestavení.

Tento návrh výroby platí jak pro PEEK, chrom a i nikl.

Výroba prvku Socket bude posléze povlakování všech součástí. Následné měření udá, jak velké povlaky jsou a upřesní, na jakou velikost vyrábět vnitřní kulovou plochu.

### 5.4 Výsledné zhodnocení návrhů

Byly navrženy dva návrhy výroby pro jednotlivé aplikace povlaků, kde se porovnaly jednoduchosti výroby a možnosti obrábění. Pro následné vyhodnocení byla vytvořena tabulka, která znázorňuje jednoduchost zařízení polotovaru, jak snadné jsou počáteční obráběcí operace,

upínací jednoduchost a jak snadno lze aplikovat jednotlivé povlaky. Tabulku vyobrazují hodnoty od 0 do 10, kde 0 značí velmi obtížné a 10 velmi snadné.

Tabulka 5-1: Zhodnocení a výběr návrhu

|                     | Návrh 1 | Návrh 2 |
|---------------------|---------|---------|
| Pořízení polotovaru | 8       | 5       |
| Počáteční obrábění  | 2       | 9       |
| Průběžné operace    | 3       | 9       |
| Aplikace PEEK       | 2       | 9       |
| Aplikace Nikl       | 8       | 7       |
| Aplikace Chrom      | 8       | 7       |
| Celkem              | 31      | 46      |

Podle vyhodnocovací tabulky se použije pro výrobu součástí Návrh číslo 2 pro jeho jednodušší obráběcí operace a jednodušší aplikaci PEEK na polotovar.

## 5.5 Výrobní strojní zařízení

Pro jednotlivé výrobní operace byla zvolena strojní zařízení, která jsou ve vlastnictví nebo pronájmu firmy GTW nebo ZČU RTI.

### 5.5.1 Pásová pila Bomar extend 700.520 Anc LS-500

Pásová pila Bomar extend 700.520 Anc LS-500 je počítačem řízená pila s robustní konstrukcí z velmi kvalitních materiálů, které dokážou zajistit stabilitu a přesnost řezání. Pásová pila CNC obsahuje software umožňující programovat řeznou tloušťku. [5] [8]

Konstrukční řešení pásové pily je vhodné jak pro materiály kovové, tak také pro dřevěné, plastové i jiné. Stůl pásové pily navíc obsahuje elektrohydraulický podavač materiálu pro jednodušší manipulaci s řezaným materiálem. Tento podavač je vhodný do délky polotovaru 520 mm. Dále pásová pila obsahuje přívod chladicí kapaliny přímo do řezu. Podstatnou výhodou této pily je bezpečnostní systém proti přetížení, který se například může aktivovat při řezání příliš tvrdého materiálu. [5] [8]



Obrázek 5-3: Bomar extend 700.520 Anc LS-500 [8]

Technické parametry stroje jsou:

|                           |                          |     |
|---------------------------|--------------------------|-----|
| ○                         | □                        | □   |
| 520                       | 700×520                  | 520 |
| Pracovní režim:           | poloautomatický          |     |
| Typ stroje:               | horizontální pásová pila |     |
| Typ řezu:                 | Rovný řez                |     |
| Rozsah úhlových řezů:     | -                        |     |
| Pohon:                    | 4 kW, 3x400 V/50 Hz      |     |
| Rychlost pilového pásu:   | 15 – 90 m/min.           |     |
| Rozměry pilového pásu:    | 6 640×41×1,3 mm          |     |
| Ložná výška materiálu:    | 780 mm                   |     |
| Délka nejkratšího zbytku: | 30 mm                    |     |
| Nejmenší řezaný průměr:   | -                        |     |

Obrázek 5-4: Technické parametry [5]



### 5.5.2 Multifunkční horizontální obráběcí centrum Makino a51nx

Obráběcí stroj Makino a51nx je velmi výkonné horizontální centrum, které se používá pro výrobu kovových dílů. Makino a51nx obsahuje CNC řídicí systém, kde jeho software precizně dokáže ovládat vysoké otáčky stroje při vysoké kvalitě výrobních operací, a to především při opakované výrobě. [9] [10]

Obráběcí stroj je konstruován jako sestavení odlitků a kovových součástí, aby bylo možno dosáhnout vysoké kvality při obrábění za vysokých otáček. Vřeteno Makina a51 nx je schopno dosáhnout, jak již bylo zmíněno, vysokých otáček, a to až 14 000 ot./min. [9] [10]

Makino a51nx obsahuje jak ochranné prvky, jako jsou bezpečnostní dveře, tak ale i kontrolní senzory dorazů proti možnému najetí mimo obrobek. [9]

Tento stroj je především používán při sériové výrobě. [10]



Obrázek 5-5: Makino a51nx ve firmě GTW

**Paleta: 400 x 400 mm**  
**X: 560 mm Y: 640 mm Z: 640 mm**

|                           |                                       |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Vřeteno ot./min           | 14,000 rpm (14K High Torque, 20K)     |
| Vřetenový Kužel           | CAT40 (HSK63)                         |
| Rychlý posuv              | 60,000 mm/min                         |
| Rychlost posuvu řezání    | 50,000 mm/min                         |
| Max. hmotnost obrobku     | ø630 mm x 900 mm                      |
| Max. užitečné zatížení    | 400 kg                                |
| Kapacita ATC              | 60 tools (optional 40, 134, 219, 313) |
| Nástroj k nástroji        | 0.9 secs                              |
| Čip k čipu                | 2.2 secs                              |
| Max. délka nástroje (Cat) | 430 mm                                |
| Max. délka nástroje HSK   | 420 mm                                |
| Max. průměr nástroje      | 170 mm                                |
| Max. hmotnost nástroje    | 12 kg                                 |

Obrázek 5-6: Makino a51nx: technická specifikace [10]

### 5.5.3 Soustruh CNC EMCO MAXXTURN 25

Soustruh CNC EMCO MAXXTURN 25 je víceúčelový soustružnický stroj vhodný pro přesné výrobní operace. Řídicí systém stroje je CNC, které má kontrolu nad celým výrobním procesem při výrobě složitých součástí nebo při výrobě tolerančně přesných výrobků. [11] [12]

Velkou konstrukční výhodou tohoto stroje je možnost doplnění stroje o automatizované robotické systémy pro zvýšení produktivity a efektivity při výrobě. Tyto systémy převážně zahrnují podavače a upínače. Definovanou součástí tohoto stroje je přesné obrábění i při vysoké opakovatelnosti. [11] [12]

V souhrnu je soustruh CNC EMCO MAXXTURN 25 vhodný pro atypické výrobky až po malosériovou výrobu při zachování přesnosti stroje. [11] [12]

Technické parametry stroje:

- Maximální průměr 114 mm
- Vzdálenost mezi vřeteny 845 mm
- Max. otáčky vřetena 8000 ot./min
- Max. výkon vřetena 6,5kW [12]



Obrázek 5-7: Soustruh CNC EMCO MAXXTURN [12]

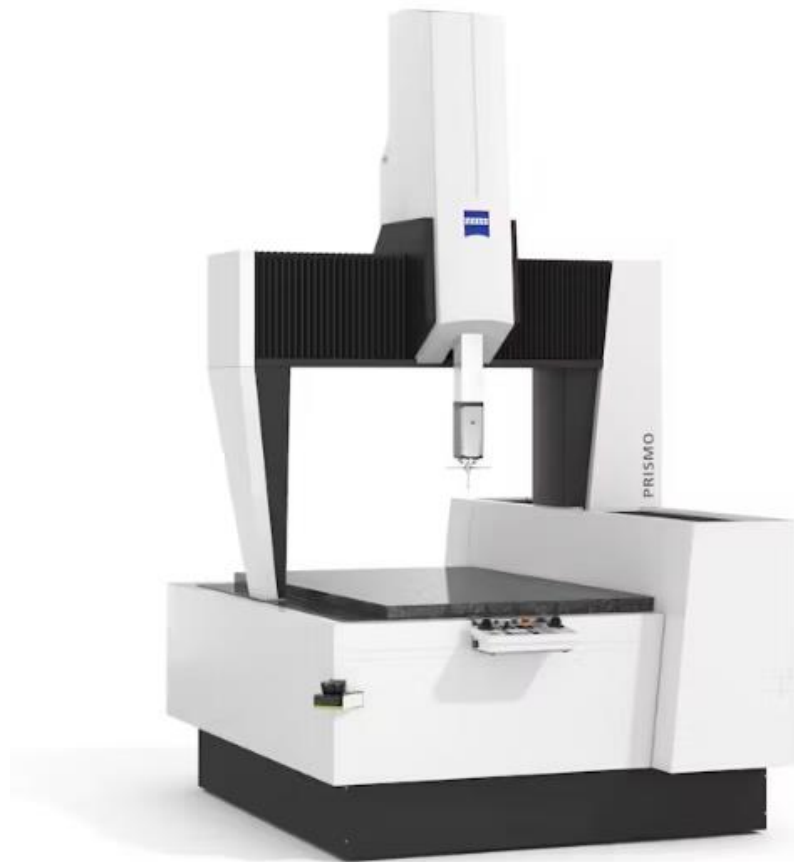
#### 5.5.4 Zeiss Prismo 3D

Zeiss Prismo je 3D měřicí strojní zařízení, které slouží převážně ke kontrole tvarů a rozměrů výrobku. Je to strojní zařízení, které se používá při výrobě s požadavkem na vysokou kvalitu výrobku. [7] [13]

Mezi klíčové vlastnosti výrobce udává přesnost stroje, trojrozměrné prostředí, automatické nebo poloautomatické měření a rychlé generování výstupních dat. [7] [13]

Technické parametry:

- Rozsah měření:  $x=900\text{mm}$  ;  $y=1200\text{mm}$  ;  $z=700\text{mm}$
- Nejistota měření:  $0,9\ \mu\text{m} + L / 350\ \mu\text{m}$  [13]



Obrázek 5-8: Zeiss Prismo [13]

### 5.5.5 DMU 40 eVo linear

DMU 40 eVo linear je 5tiosý obráběcí stroj s vysokým výkonem a přesným uspořádáním pro vysokou kvalitu výroby. Už z názvu vyplývá, že stroj bude mít možnost pohybu v lineárním směru, což může vést k vyšší produktivitě. [43] [44]

Konstrukce stroje je částečně otevřená pro rychlou manipulaci se součástkami a zaručuje k nim snadný přístup. [43] [44]

Vzhledem k tomu, že stroj DMU 40 eVo linear je 5tiosý stroj, tak má velkou škálu výrobních aplikací, které vedou samozřejmě k vysoké produktivitě. [43] [44]

Technické parametry:

- Maximální nájezd:  $x=400\text{mm}$  ;  $y=400\text{mm}$  ;  $z=375\text{mm}$
- Maximální průměr obrobku je 450mm a maximální délka 460mm
- Nosnost stolu je 250kg [43]



Obrázek 5-9: DMU 40 eVo linear [43]

## 6 Realizace vybrané vrstvy povlaku na zkušební vzorky

Hlavním požadavkem pro jednotlivé vrstvy povlaku bylo snížit koeficient smykového tření, zvýšit pevnost, zvýšit tvrdost při zachování rozměrové přesnosti součásti.

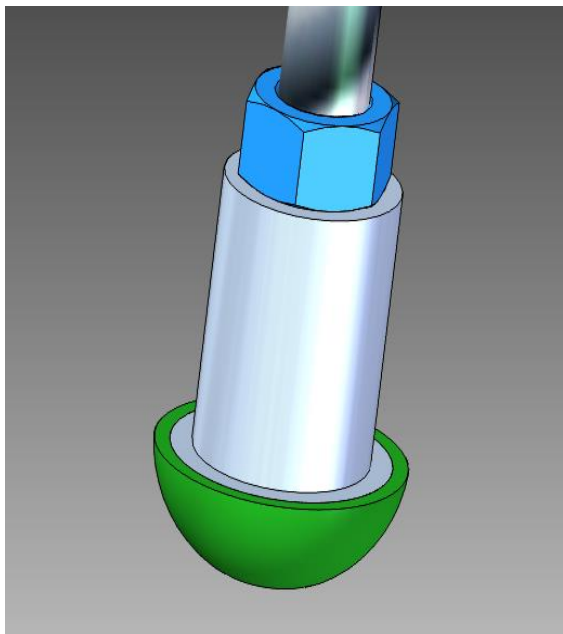
Dále se od povrchu požaduje vyšší přesnost drsnosti povrchu a to Ra menší než 0,8, především u chromu a niklu, kde se k povrchu polotovaru přichytí vrstva povlaku o síle 15-20  $\mu\text{m}$ .

Povrch materiálu se hodnotí dle poskytnutých informací dodaných výrobcem a posouzením povrchu podle materiálu.

### 6.1 Realizace vrstvy PEEK

Po technologickém nástřiku PEEKu na povrch obrobku je nezbytné začistit a odstranit přebytečný povlak, a to podle obrázků: Obrázek 6-4: Povlak PEEK bez úpravy a Obrázek 6-5: Povlak PEEK. Začistění je nezbytná úprava před dokončením povrchu povlaku kvůli možnému odštěpnutí povlaku. Začistění proběhlo ve firmě Gleitlagertechnik Weißbacher GmbH.





Obrázek 6-3: 3D model +PEEK



Obrázek 6-1: Uchycení pro pískování



Obrázek 6-2: Otryskávání ploch



Obrázek 6-4: Povlak PEEK bez úpravy



Obrázek 6-5: Povlak PEEK

Posouzení dle vizuální stránky:

Nanesená vrstva PEEK je hrubozrného charakteru, kde tloušťka vrstvy je od 0,6mm do 0,75mm. Vrstva naneseného materiálu je nerovnoměrná a s drsností povrchu Ra6,3. Následným měřením na stroji s označením Zeiss Prismo přesně definuje, jaké má nanesená vrstva přídavky. Je nezbytné povrch obrobít pro dosažení tvaru a drsnosti povrchu. Po obrobení bude následovat ověření kulovitosti neboli geometrická tolerance tvaru profilu na stroji Zeiss Prismo.

## 6.2 Realizace vrstvy Niklu

Rozdílnost součástí s niklovým povlakem a bez niklového povlaku lze posoudit dle několika různých aspektů.

Posouzení dle výrobce:

- Kvalita povrchu – Povrch součásti s niklovým povlakem posuzuje jako hladší, neboť při niklování přímo nikl může zahladit mikroskopické nerovnosti. [30] [45] [45]
  - Výrobce udává u poniklovaného povlaku vyšší odolnost proti korozi a zároveň vyšší odolnost proti opotřebení a to v rozmezí mezi 8-12 TWI(odolnější proti škrábancům a rýhám). Další velmi podstatnou informací, která výrobce udává, je vysoká adheze niklu se součástí. Tvrdost niklového povlaku výrobce udává v rozmezí 840-1100HV (65-69HRc) [30] [45] [45]
- Odstín – Povrch materiálu je vizuálně lesklý, stříbrný s vysokou odrazivostí [30] [45] [45]



*Obrázek 6-6: Nikl vs surový obrobek*

Pro upřesnění: Obrázek 6-6: Nikl vs surový obrobek na obrázku lze vidět vlevo součást s niklovým povlakem.



*Obrázek 6-7: Surový obrobek vs Nikl 2*



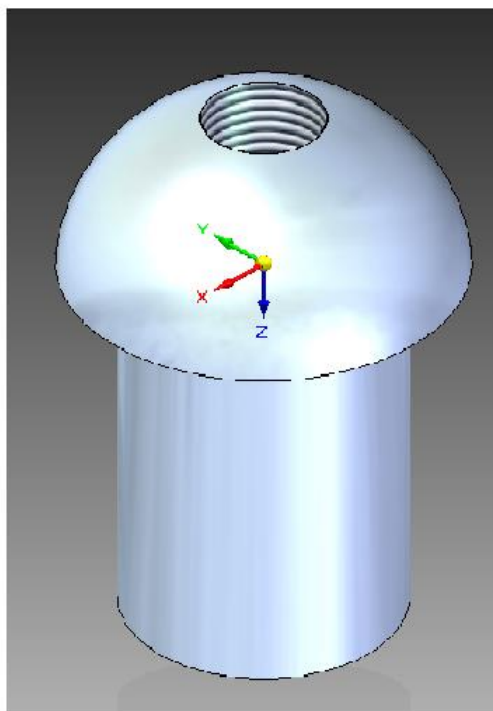
Posouzení dle vizuální stránky a rozměrové přesnosti:

Výsledná vrstva povlaku je lesklejší a neboť se jedná o materiál nikl, tak bude tvrdší a to v rozmezí 840-1100HV (65-69HRC). Po změření na 3D měřicím zařízení s označením Zeiss Prismo docházíme k závěru, že tvarová koule po nanesení povlaku niklu je tvarově stálá, a to v rozmezí 50+0,2 včetně tvaru profilu dle GTW předpisu. Toto výsledné změření nemusí být důvěryhodné kvůli vysoké toleranční chybě stroje. Měření na stroji se převážně provádělo z důvodu zjištění rádiusu R pro výrobu protikusu „Socket“. Drsnost povrchu kulové plochy je dle přílohy Ra0,23.

| ZEISS                          |                              | Rozměrový protokol ZEISS Calypso |               |         | Dimension protokol ZEISS Calypso |  |  | GTW |  |
|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------|---------|----------------------------------|--|--|-----|--|
| Zakázka-Pozice /Order-Position | Zákazník /Client             | Datum /Date                      |               |         |                                  |  |  |     |  |
|                                |                              | 10. května 2024                  |               |         |                                  |  |  |     |  |
| Číslo průvodky /Dispatch Num.  | Číslo výkresu / Drawing Num. | Material Nr.:                    |               |         |                                  |  |  |     |  |
| Kunde Zeichnung                | Díl číslo / Part Num.        | Stroj /Machine                   | Stránka /Page | z /from |                                  |  |  |     |  |
|                                | Nikl 1                       | C32Bit                           | 1             | 1       |                                  |  |  |     |  |

| Název/Name    | ID   | Měr. hod./<br>Aktual | Jm.hod./<br>Nominal | Horní tol./<br>pos Tol | Dolní tol./<br>neg Tol | Odchylna<br>Diff | <- -> |
|---------------|------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------|-------|
| Průměr_Koule2 | D    | 50.082               | 50.000              | 0.000                  |                        | 0.082            | 0.082 |
| Tvar1         | Tvar | 0.032                | 0.000               |                        |                        | 0.032            |       |



Obrázek 6-8: 3D protokol rozměru a tvaru - Nikl

### 6.3 Realizace vrstvy Chromu

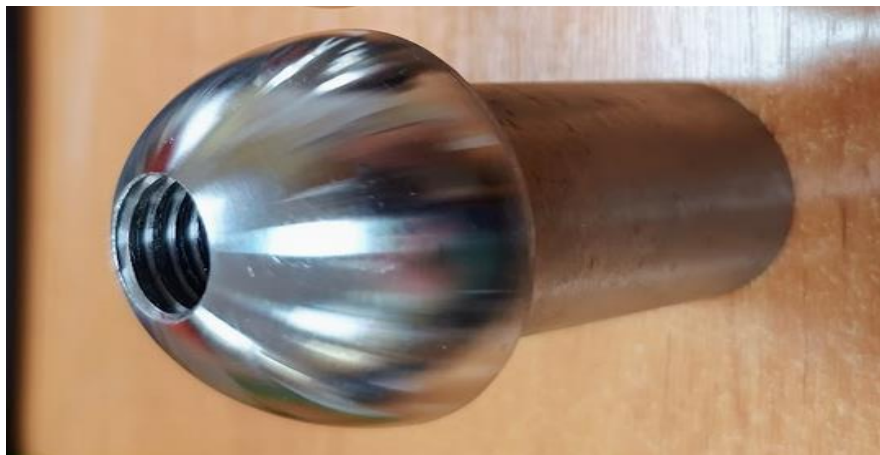
Rozdílnost součástí s chromovým povlakem a bez chromového povlaku lze posoudit dle několika různých aspektů.

Posouzení dle výrobce:

- Kvalita povrchu – Chromovým povlakem posuzuje výrobce jako povrch s nižším potenciálním číslem Ra než povrch bez chromového povlaku. Tloušťku povlaku definuje v rozmezí 15 až 20  $\mu\text{m}$ . [38] [39] [40]
  - Výrobce udává u chromového povlaku vyšší odolnost proti korozi a zároveň vyšší odolnost proti opotřebení a to v rozmezí 5-6 TWI, neboť na povrchu chromu během oxidace vznikne ochranná vrstva. Další velmi podstatnou informací, kterou výrobce udává, je vysoká adheze chromu se součásti, což zajistí rozměrovou přesnost a vysokou tvrdost a to s minimálně 1000HV (69HRc). [38] [39] [40]
- Odstín – Povrch materiálu je lesklý, hladký a stříbrný s reflexní povahou [38] [39] [40]



Obrázek 6-9: Chromový povlak

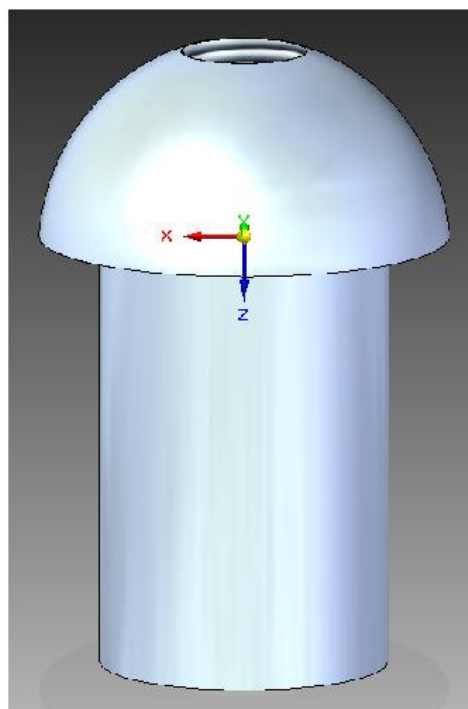


Obrázek 6-10: Surový obrobek

Posouzení dle vizuální stránky a rozměrové přesnosti:

Výsledná vrstva chromového povlaku je matnější, když porovnáme s niklovým povlakem. Jelikož se jedná o materiál chrom, tak bude minimální tvrdost 1000HV (69HRC). Po změření na 3D měřícím zařízení s označením Zeiss Prismo docházíme k závěru, že tvarová koule po nanesení povlaku tvrdochrom je tvarově stálá, a to v rozmezí 50+0,2 včetně tvaru profilu dle GTW předpisu. Měření na stroji se převážně provádělo z důvodu zjištění rádiusu R pro výrobu protikusu „Socket“. Drsnost povrchu kulové plochy je dle přílohy Ra0,74.

| ZEISS                          |                              | Rozměrový protokol ZEISS Calypso |                     |                        |                        | Dimension protokol ZEISS Calypso |       | GTW |  |
|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------|-------|-----|--|
| Zakázka-Pozice /Order-Position | Zákazník /Client             | Datum /Date                      |                     | 10. května 2024        |                        |                                  |       |     |  |
| Číslo průvodky /Dispatch Num.  | Číslo výkresu / Drawing Num. | Material Nr.:                    |                     |                        |                        |                                  |       |     |  |
| Kunde Zeichnung                | Díl číslo / Part Num.        | Stroj /Machine                   | Stránka /Page       | z /from                |                        |                                  |       |     |  |
|                                | Chrom 1                      | C32Bit                           | 1                   | 1                      |                        |                                  |       |     |  |
| Název/Name                     | ID                           | Měr. hod./<br>Aktual             | Jm.hod./<br>Nominal | Horní tol./<br>pos Tol | Dolní tol./<br>neg Tol | Odchylka<br>Diff                 | <- -> |     |  |
| Průměr_Koule2                  | D                            | 50.040                           | 50.000              | 0.000                  |                        | 0.040                            | 0.040 |     |  |
| Tvar1                          | Tvar                         | 0.016                            | 0.000               |                        |                        | 0.016                            |       |     |  |



Obrázek 6-11: 3D protokol rozměru a tvaru - Chrom

## 6.4 Dodatečné úpravy povlaků

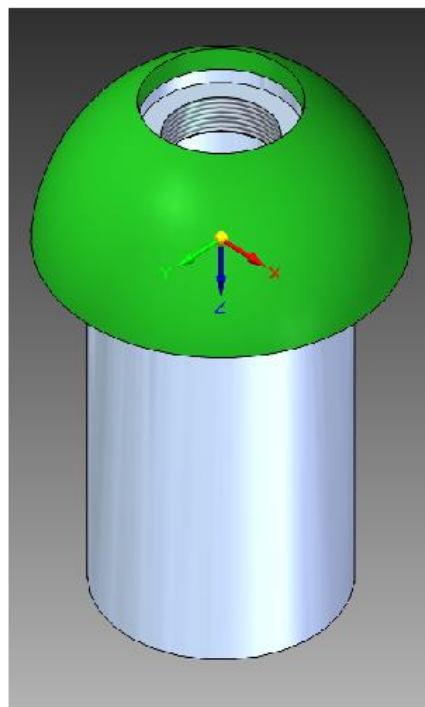
Dodatečné úpravy budou nezbytné pouze u materiálu PEEK. Vzhledem k tomu, že povlak PEEK je nerovnoměrně rozložený po celé kulové ploše, tak bude nezbytná dokončovací operace na stroji EMCO MAXXTURN 25. Dokončovací operace je nezbytná pro dosažení požadované kulovitosti, tloušťky vrstvy a drsnosti povrchu.

Následné změření rozměrové přesnosti na stroji s označením Zeiss Prismo potvrdilo správné toleranční rozmezí 50+0,2 včetně geometrické tolerance tvaru povrchu dle GTW předpisu. Drsnost povrchu kulové plochy je dle přílohy Ra0,52.

| Zakázka-Pozice /Order-Position |  | Zákazník /Client             |  | Datum /Date     |  |                       |  |
|--------------------------------|--|------------------------------|--|-----------------|--|-----------------------|--|
|                                |  |                              |  | 10. května 2024 |  |                       |  |
| Číslo průvodky /Dispatch Num.  |  | Číslo výkresu / Drawing Num. |  | Material Nr.:   |  |                       |  |
|                                |  |                              |  |                 |  |                       |  |
| Kunde Zeichnung                |  | Díl číslo / Part Num.        |  | Stroj /Machine  |  | Stránka /Page z /from |  |
|                                |  | Peek 1                       |  | C32Bit          |  | 1 1                   |  |

| Název/Name    | ID   | Měr. hod./<br>Aktual | Jm.hod./<br>Nominal | Horní tol./<br>pos Tol | Dolní tol./<br>neg Tol | Odchylka<br>Diff | <- -> |
|---------------|------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------|-------|
| Průměr_Koule2 | D    | 50.039               | 50.000              | 0.000                  |                        | 0.039            | 0.039 |
| Tvar1         | Tvar | 0.024                | 0.000               |                        |                        | 0.024            | 0.021 |



Obrázek 6-12: 3D protokol rozměru a tvaru - PEEK



Obrázek 6-13: Dodatečná úprava PEEKu

Vzhledem k povrchu a kulovitosti u materiálu nikl a tvrdochrom není zapotřebí dalších úprav. Další úprava by byla krajně nevhodná z důvodu poškození povrchové vrstvy.

Po následujících úpravách lze začít s výrobou protikusu prvku Socket. Výroba probíhá dle předcházející kapitoly. Následujícím krokem po výrobě obou součástí je experimentální ověření správnosti těchto prvků.



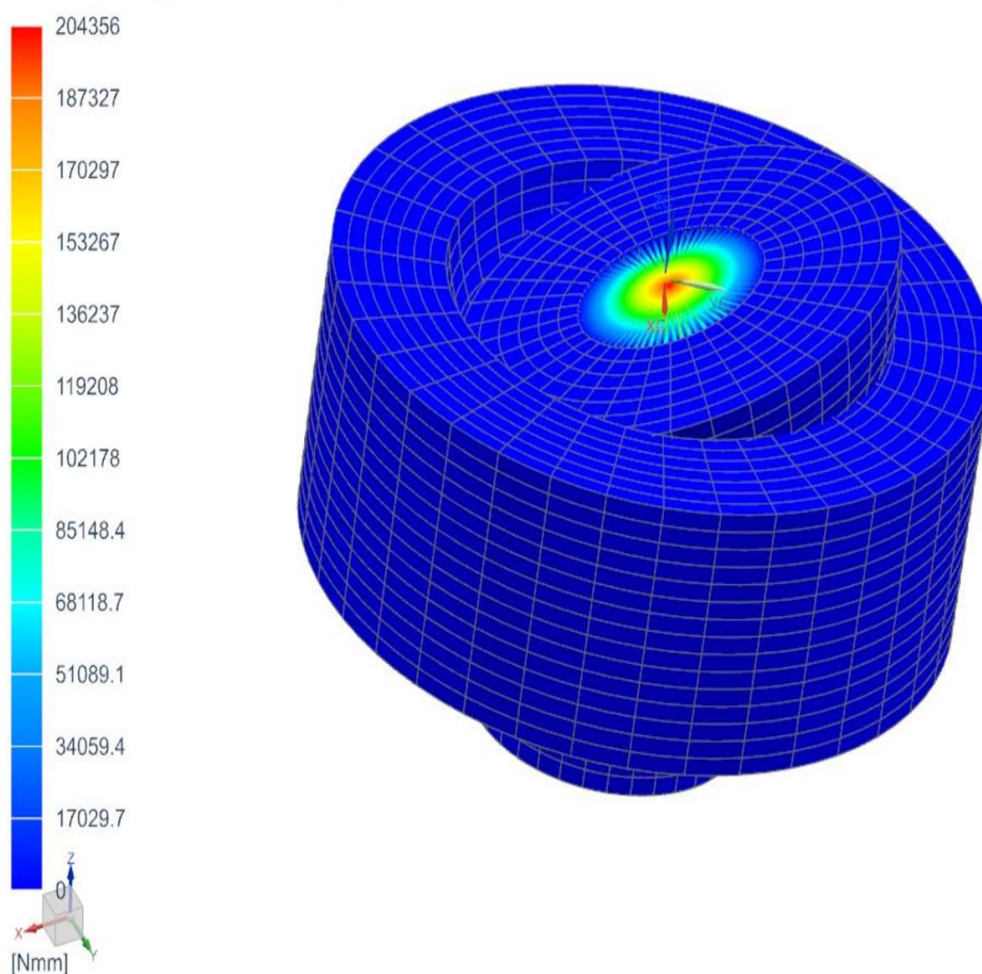
Obrázek 6-14: Dodatečná úprava PEEKu



## 7 Experiment bodu zvratu

Pro správné zjištění funkčnosti systému Ball and Socket byla provedena FEM analýza, kde hlavním cílem bylo zjistit reakční moment nezbytný pro vychýlení prvku Ball. Prvek Ball bude zatěžován osovou silou o velikosti 140kN a otáčen o přibližně 3°. Pro přesné definování FEM analýzy byl uvažován třecí koeficient o velikosti 0,1 a 0,05. Koeficient 0,05 je uvažován pro povrch s mazacím elementem a koeficient 0,1 pro povrch bez použití maziva. [14]

sestava\_sim1 : 3st svisle Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Reaction Moment - Nodal, Magnitude  
Min : 0, Max : 204356, Units = Nmm  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



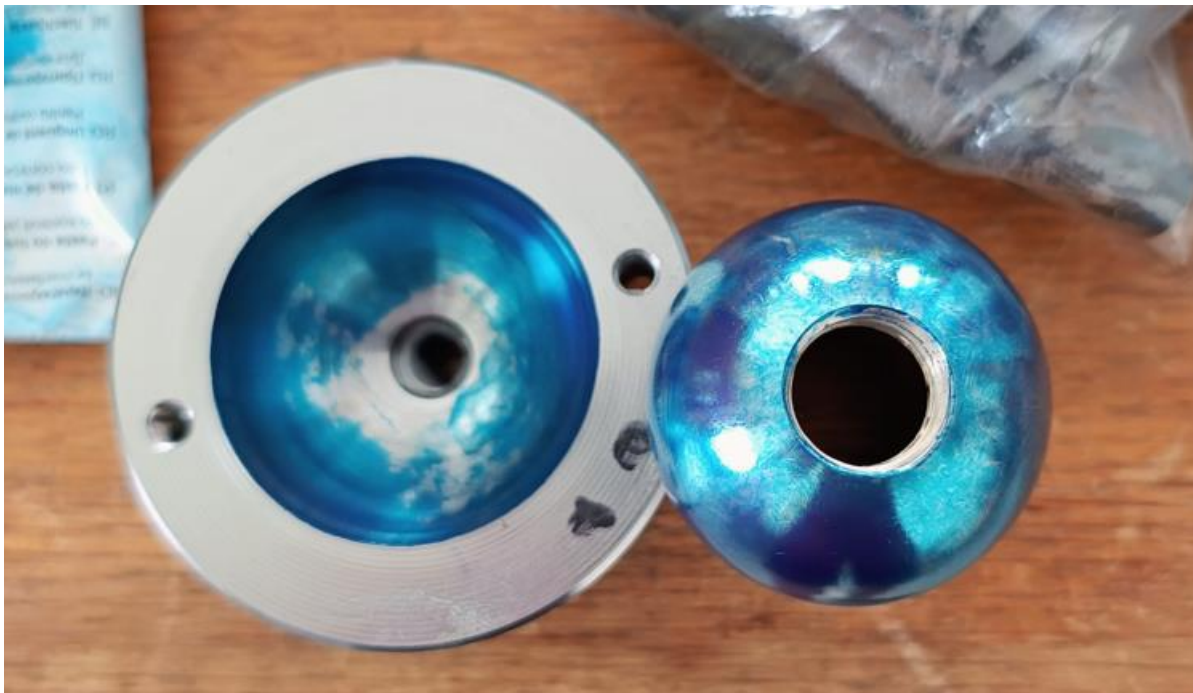
Obrázek 7-1: FEM – Reakční moment [14]

Výsledkem FEM analýzy pro koeficient tření 0,05 byl reakční moment o velikosti 204Nm a reakční síla o velikosti 8160N. Pro následující koeficient tření 0,1 byl reakční moment 408Nm a reakční síla 16320N. [14]

## 7.1 Experimentální ověření

Experimentální ověření proběhlo na stroji Inova FU-O-250-1620-V1. Experiment ověřoval, zda nebo kdy dojde k bodu zvratu u každé jednotlivé varianty, a to u vzorku s niklem, tvrdochromem a PEEKem. Do horních čelistí se uchytil prvek Ball za nefunkční dřík. Do dolních čelistí se zafixoval prvek Socket za taktéž nefunkční dřík. Následně celý systém Ball and Socket zatížíme silou 140kN. Dalším krokem ověření je otáčení prvkem Ball o cca 3° na obě strany. Výslednou měřenou veličinou byl krouticí moment vycházející ze základní polohy, tedy z polohy 0°. Jednotlivé vzorky byly ověřovány jak za sucha, tak při použití maziva. Jako mazivo se použilo Molykote 44 medium, které je vhodné jako ložiskový mazací tuk do vysokých teplot. [14]

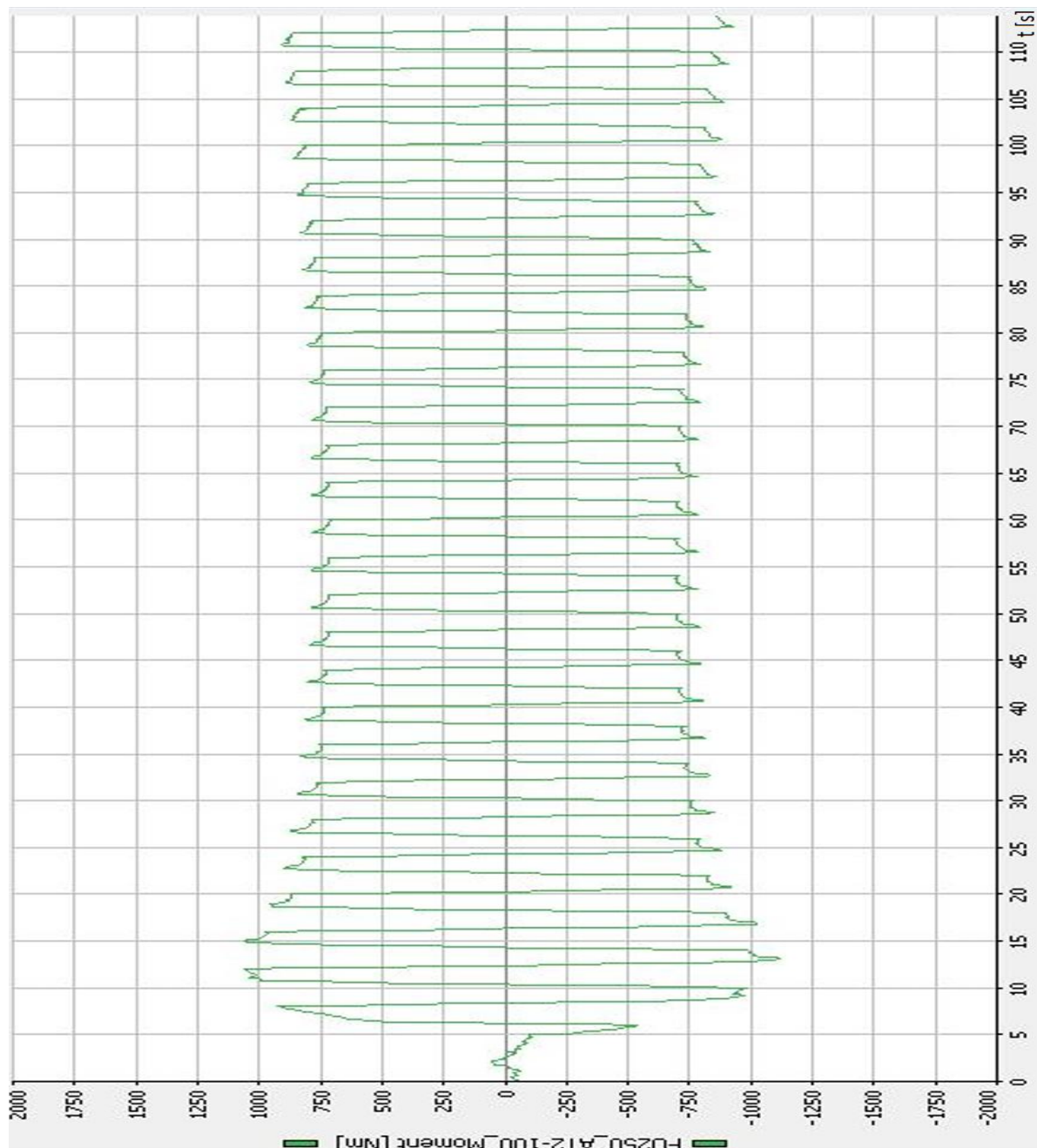
Před experimentálním měřením se všechny kusy ověřily, zda navzájem dosedají.



Obrázek 7-2: Ověření na barvu před měřením

### 7.1.1 Ověření vzorku s niklovým povlakem včetně maziva

Vzorek s niklovým povlakem byl zatížen silou 140kN a natáčen kolem soustředné osy stroje o cca 3°. Vzorek byl vychýlen z klidového stavu přibližně 25 krát během 110 sekund. Výslednou hodnotou byl krouticí moment závislý na jednotce času. Krouticí moment dosahuje průměrné hodnoty 752Nm. Krouticí moment zpočátku klesá, ale po vytlačení maziva roste.

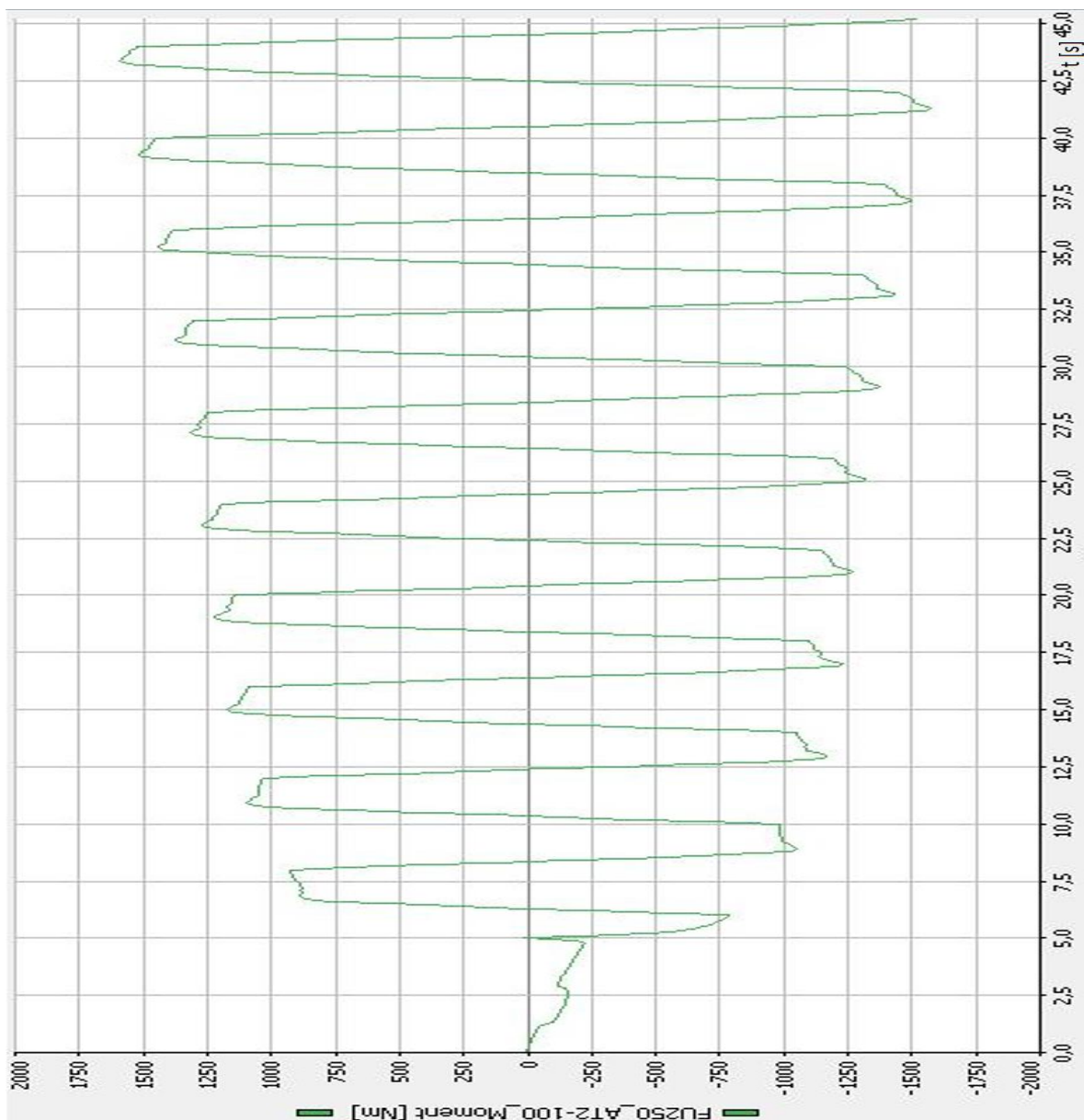


Obrázek 7-3: Niklovým povlakem včetně maziva

### 7.1.2 Ověření vzorku s niklovým povlakem bez maziva

Vzorek s niklovým povlakem byl zatížen silou 140kN a natáčen kolem soustředné osy stroje o cca 3°. Vzorek byl vychýlen z klidového stavu přibližně 10 krát během 45 sekund. Výslednou hodnotou byl krouticí moment závislý na jednotce času. Krouticí moment dosahuje průměrné hodnoty 1272Nm. Krouticí moment hned od samého počátku zatěžování roste.

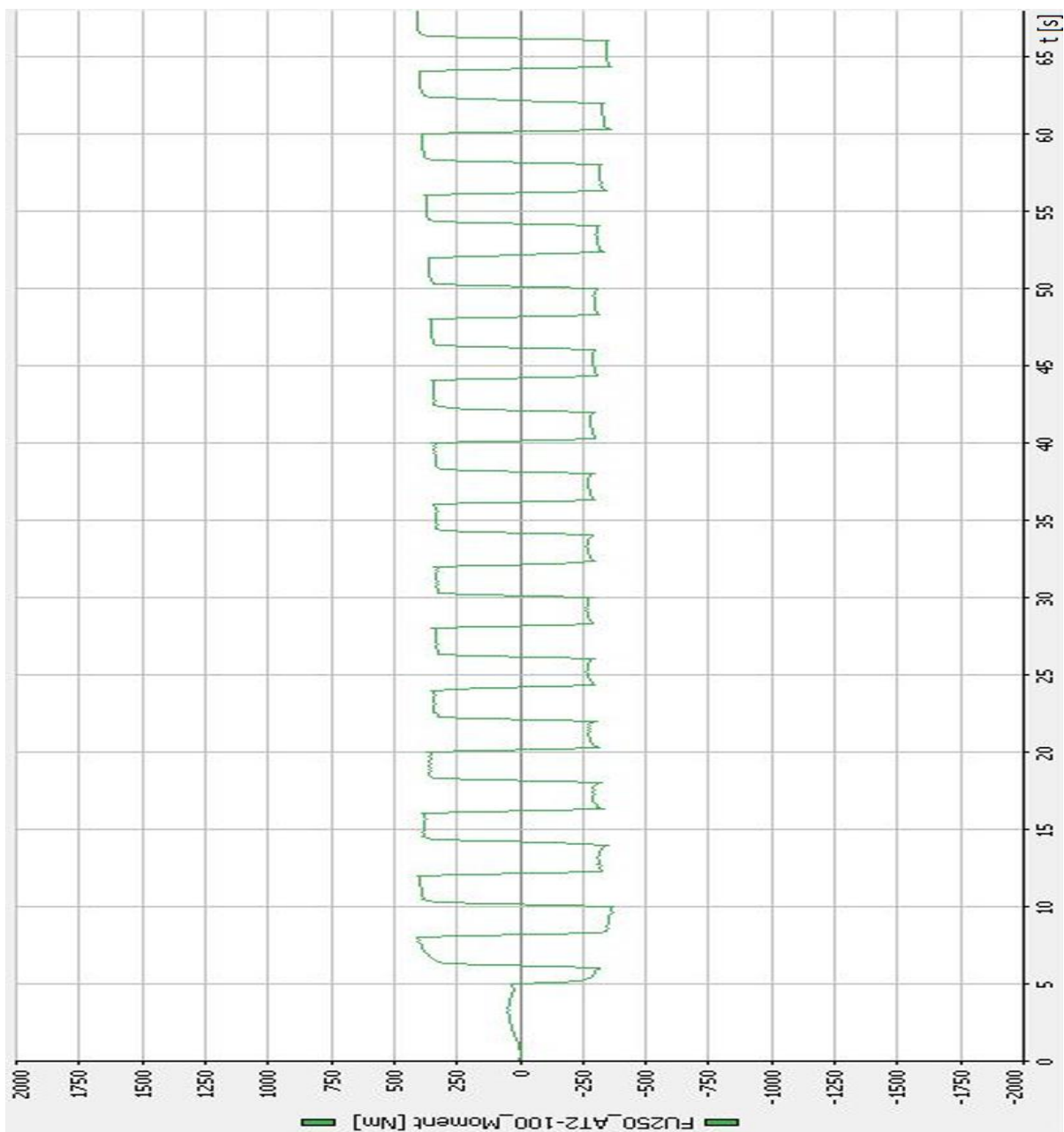




Obrázek 7-4: Niklovým povlakem bez maziva

### 7.1.3 Ověření vzorku s tvrdochromovým povlakem včetně maziva

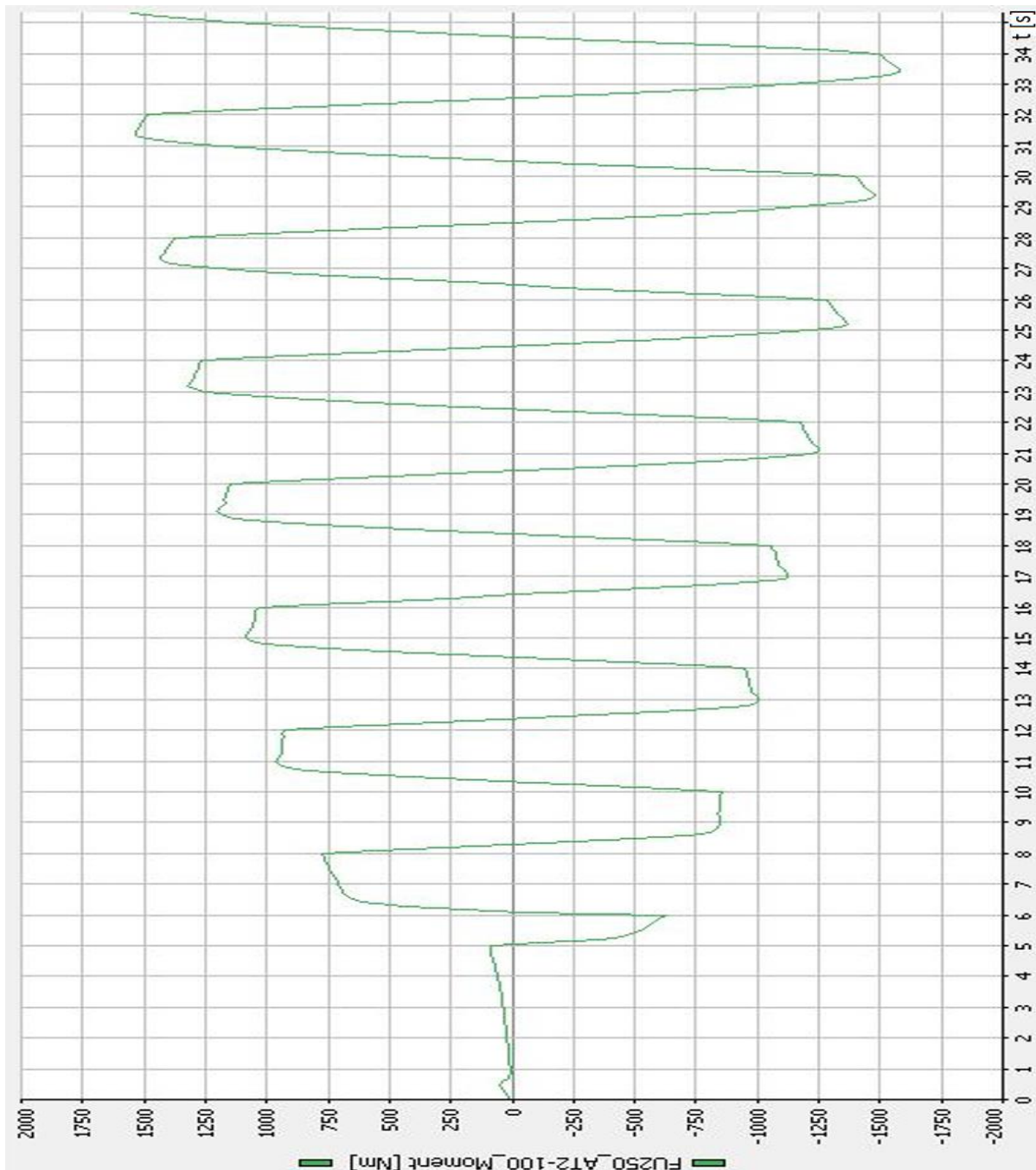
Vzorek s tvrdochromovým povlakem byl zatížen silou 140kN a natáčen kolem soustředné osy stroje o cca 3°. Vzorek byl vychýlen z klidového stavu přibližně 15 krát během 65 sekund. Výslednou hodnotou byl krouticí moment závislý na jednotce času. Krouticí moment dosahuje průměrné hodnoty 371Nm. Krouticí moment zpočátku klesá, ale po vytlačení maziva roste.



Obrázek 7-5: Tvrdochromovým povlakem včetně maziva

#### 7.1.4 Ověření vzorku s tvrdochromovým povlakem bez maziva

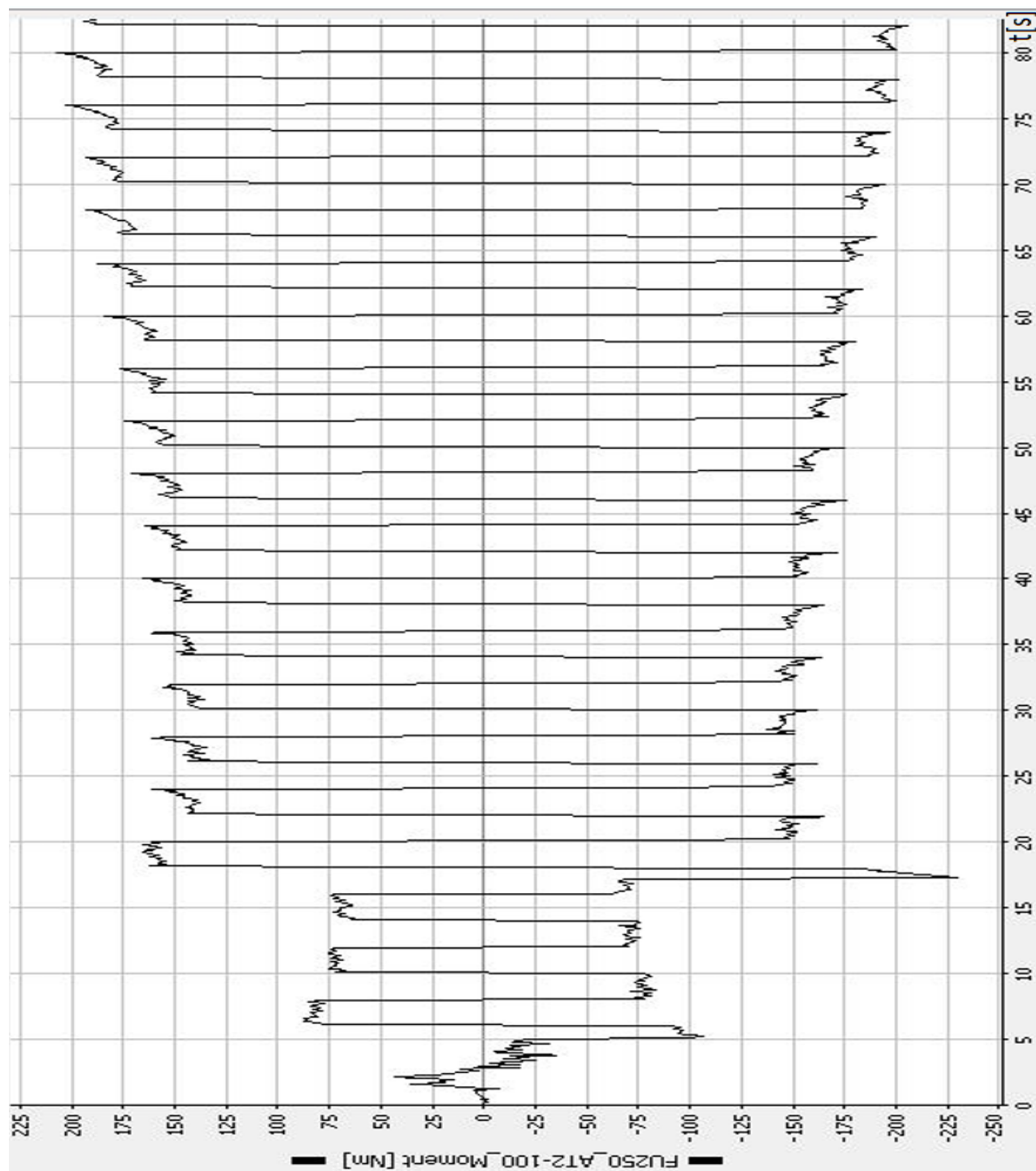
Vzorek s tvrdochromovým povlakem byl zatížen silou 140kN a natáčen kolem soustředné osy stroje o cca 3°. Vzorek byl vychýlen z klidového stavu přibližně 8 krát během 35 sekund. Výslednou hodnotou byl krouticí moment závislý na jednotce času. Krouticí moment dosahuje průměrné hodnoty 1265Nm. Krouticí moment hned od samého počátku zatěžování roste.



Obrázek 7-6: Tvrdochromovým povlakem včetně maziva

### 7.1.5 Ověření vzorku s PEEK povlakem včetně maziva

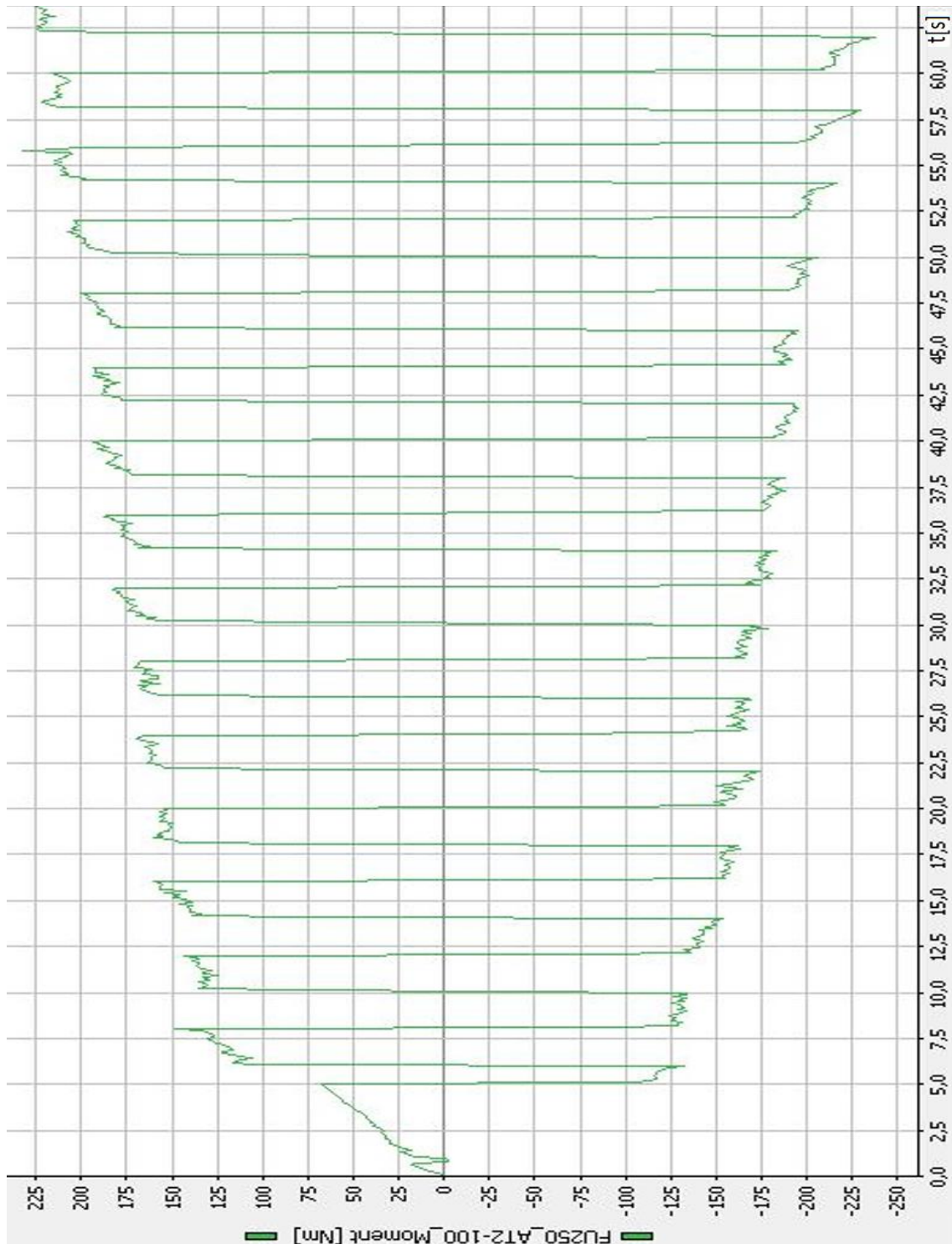
Vzorek s PEEK povlakem byl zatížen silou 140kN a natáčen kolem soustředné osy stroje o cca 3°. Vzorek byl vychýlen z klidového stavu přibližně 20 krát během 80 sekund. Výslednou hodnotou byl krouticí moment závislý na jednotce času. Krouticí moment dosahuje průměrné hodnoty 174Nm, ale v počátečních cyklech dosahuje 75Nm. Krouticí moment zpočátku klesá, ale po vytlačení maziva roste.



Obrázek 7-7: Povlak PEEK včetně maziva

### 7.1.6 Ověření vzorku s PEEK povlakem bez maziva

Vzorek s PEEK povlakem byl zatížen silou 140kN a natáčen kolem soustředné osy stroje o cca 3°. Vzorek byl vychýlen z klidového stavu přibližně 15 krát během 60 sekund. Výslednou hodnotou byl krouticí moment závislý na jednotce času. Krouticí moment dosahuje průměrné hodnoty 182Nm. Krouticí moment hned od samého počátku zatěžování roste.



Obrázek 7-8: Povlak PEEK bez maziva

## 7.2 Strojní vybavení

Inova FU-O-250-1620-V1



Hlavní parametry stroje:

- Jednoosý i víceosý stroj pro dlouhodobé zkoušky tahu, tlaku a krutu
- Stroj v hlavní ose z je poháněn lineárním hydromotorem o síle 250kN a velikosti zdvihu cca 50 mm
- Na vedlejší osy je napojený hydraulický válec o momentu 2 kNm se schopností otočení až o 50° na každou stranu. [14]

### 7.2.1 Fotografie experimentu



Obrázek 7-10: Průběh testu



Obrázek 7-9: Průběh testu 2

Obrázek 7-10: Průběh testu a Obrázek 7-9: Průběh testu 2 ukazuje průběh zkoušky při zatížení a přípravě k bodu zvratu.

### 7.3 Porovnání výsledných hodnot

Výsledné hodnoty naměřené v tomto experimentu, který obsahuje niklový povlak, tvrdochromový povlak a povlak PEEK, budou porovnány s hodnotami z výzkumné práce „Nová hydrodynamická naklápečí ložiska s velmi vysokou tuhostí a útlumem“. V úvahu se budou brát pouze výsledné hodnoty vyrobené konvekční metodou z FEM analýzy.

Tabulka 7-1: Porovnání výsledků

| Meření                          | Součinitel tření $f$ | Reakční krouticí moment [Nm] | Reakční síly na hraně koule [N] |
|---------------------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Současná varianta včetně maziva | 0,05                 | 204                          | <b>8160</b>                     |
| Současná varianta bez maziva    | 0,1                  | 408                          | <b>16320</b>                    |
| Nikl včetně maziva              | 0,2                  | 752                          | 30080                           |
| Nikl bez maziva                 | 0,35                 | 1272                         | 50880                           |
| Chrom včetně maziva             | 0,1                  | 371                          | 14840                           |
| Chrom bez maziva                | 0,35                 | 1265                         | 50600                           |
| PEEK včetně maziva              | 0,04                 | 174                          | <b>6960</b>                     |
| PEEK bez maziva                 | 0,045                | 182                          | <b>7280</b>                     |

Při porovnání výsledků je zřejmé, že niklový povlak ani chromový povlak nejsou vhodné pro tuto aplikaci. Přestože materiály jsou tvrdé a povrchy jsou téměř totožné, docházíme k závěru, že niklový povrch i chromový mají s ocelí vysoký koeficient tření a v protikuse dochází k sevření nebo mikrosvarům.

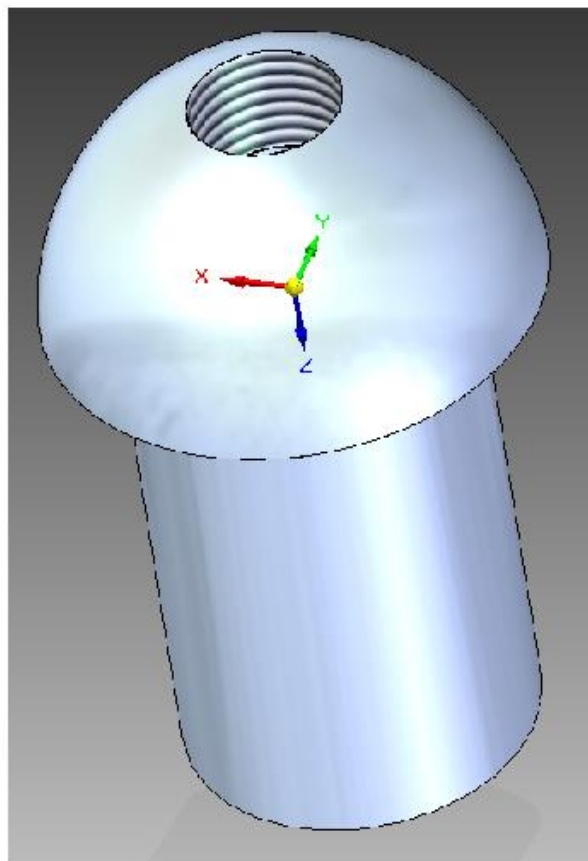
Nástřík PEEK, kde Tabulka 7-1: Porovnání výsledků vyobrazuje nižší koeficient tření. Z toho lze usuzovat, že PEEK je vhodný pro tuto aplikaci.

## 8 Závěrečné měření

Po experimentálním ověření bodu zvratu bylo provedeno závěrečné měření rozměru a tvaru součástek systému Ball and Socket, které se porovnávaly s hodnotami před experimentálním ověřením bodu zvratu.

|   |                              |  |               |         |   |  |
|---|------------------------------|--|---------------|---------|---|--|
|  |                              | <b>Rozměrový protokol ZEISS Calypso</b><br><b>Dimension protokol ZEISS Calypso</b> |               |         |  |  |
| Zakázka-Pozice /Order-Position  | Zákazník /Client             | Datum /Date  |               |         |   |  |
| Číslo průvodky /Dispatch Num.   | Číslo výkresu / Drawing Num. | 10. května 2024  |               |         |   |  |
| Kunde Zeichnung   | Díl číslo / Part Num.        | Stroj /Machine   | Stránka /Page | z /from |   |  |
|   | Nikl 2                       | C32Bit   | 1             | z       | 1   |  |

| Název/Name    | ID   | Měr. hod./<br>Aktual | Jm.hod./<br>Nominal | Horní tol./<br>pos Tol | Dolní tol./<br>neg Tol | Odchyška<br>Diff | <- -> |
|---------------|------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------|-------|
| Průměr_Koule2 | D    | 50.080               | 50.000              | 0.000                  |                        | 0.080            | 0.080 |
| Tvar1         | Tvar | 0.034                | 0.000               |                        |                        | 0.034            |       |



|   |                 |                        |                     |
|---|-----------------|------------------------|---------------------|
| GTW BEARINGS s.r.o.                         | DIČ: CZ25205242 | tel.: +420 377 923 620 | e-mail: info@gtw.cz |
| Příšov 24, 330 11, Třemošná, Czech Republic | IČ: 25205242    | fax: +420 377 923 617  | http://www.gtw.cz   |

Obrázek 8-1: Rozměrový protokol - Nikl

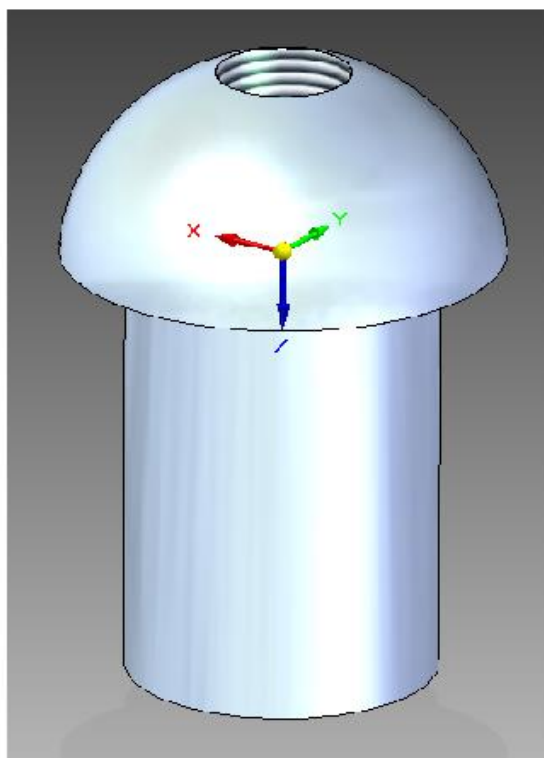
Rozměrový protokol vyobrazuje vzorek s niklovým povlakem, kde aktuální měřená hodnota průměru koule je 50,080 a aktuální měřená hodnota tvaru koule je 0,034. Drsnost povrchu je dle přílohy Ra0,52.



| ZEISS                          |                              | Rozměrový protokol ZEISS Calypso |  |  | Dimension protokol ZEISS Calypso |  |         | GTW |  |
|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------|--|--|----------------------------------|--|---------|-----|--|
| Zakázka-Pozice /Order-Position | Zákazník /Client             | Datum /Date                      |  |  | Stránka /Page                    |  | z /from |     |  |
| Číslo průvodky /Dispatch Num.  | Číslo výkresu / Drawing Num. | 10. května 2024                  |  |  | 1                                |  | 1       |     |  |
| Kunde Zeichnung                | Díl číslo / Part Num.        | Stroj /Machine                   |  |  | C32Bit                           |  |         |     |  |
|                                | Chrom 2                      |                                  |  |  |                                  |  |         |     |  |

| Název/Name    | ID   | Měr. hod./<br>Aktual | Jm.hod./<br>Nominal | Horní tol./<br>pos Tol | Dolní tol./<br>neg Tol | Odchylna<br>Diff | <- --> |
|---------------|------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------|--------|
| Průměr_Koule2 | D    | 50.038               | 50.000              | 0.000                  |                        | 0.038            | 0.038  |
| Tvar1         | Tvar | 0.020                | 0.000               |                        |                        | 0.020            |        |

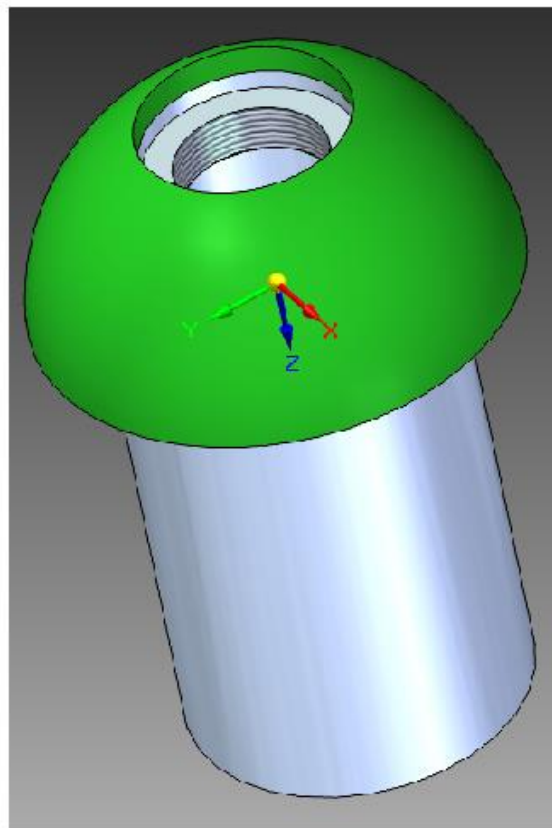


|  |                |                       |                    |
|--|----------------|-----------------------|--------------------|
| GTW BEARINGS s.r.o.                          | DIČ:CZ25205242 | tel.:+420 377 923 620 | e-mail:info@gtw.cz |
| Příšov 24, 330 11, Třeboňská, Czech Republic | IČ: 25205242   | fax:+420 377 923 617  | http://www.gtw.cz  |

Obrázek 8-2: Rozměrový protokol - Tvrdochrom

Rozměrový protokol vyobrazuje vzorek s tvrdochromovým povlakem, kde aktuální měřená hodnota průměru koule je 50,038 a aktuální měřená hodnota tvaru koule je 0,020. Drsnost povrchu je dle přílohy Ra0,8.

| Název/Name    |  | ID   | Měr. hod./<br>Aktual | Jm.hod./<br>Nominal | Horní tol./<br>pos Tol | Dolní tol./<br>neg Tol | Odchyška<br>Diff | <- -> |
|---------------|--|------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------|-------|
| Průměr_Koule2 |  | D    | 50.039               | 50.000              | 0.000                  |                        | 0.039            | 0.039 |
| Tvar1         |  | Tvar | 0.038                | 0.000               |                        |                        | 0.038            |       |



|   |                                 |   |  |
|---|---------------------------------|---|--|
| GTW BEARINGS s.r.o.<br>Příšov 24, 330 11, Třeboňská, Czech Republic | DIČ: CZ25205242<br>IČ: 25205242 | tel.: +420 377 923 620<br>fax: +420 377 923 617 | e-mail: info@gtw.cz<br>http://www.gtw.cz |
|---|---------------------------------|---|--|

Obrázek 8-3: Rozměrový protokol - PEEK

Rozměrový protokol vyobrazuje vzorek s PEEK povlakem, kde aktuální měřená hodnota průměru koule je 50,039 a aktuální měřená hodnota tvaru koule je 0,038. Drsnost povrchu je dle přílohy Ra0,63.

## 8.1 Porovnání rozměrových protokolů

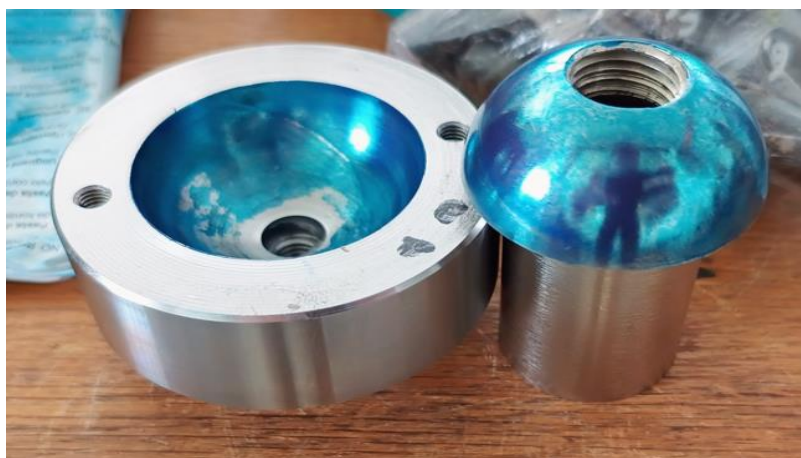
Měření systému Ball and Socket bylo provedeno konkrétně na strojním zařízení Zeiss Prismo. Výsledné hodnoty ověření na 3D stroji vyobrazuje Tabulka 8-1: Porovnání rozměrových protokolů.

Tabulka 8-1: Porovnání rozměrových protokolů

|                               | Vzorky       | Jmenovitá hodnota průměru koule + toleranční pole | Měřená aktuální hodnota průměru koule | Měření tvaru plochy koule |
|-------------------------------|--------------|---|---------------------------------------|---------------------------|
| Před experimentálním ověřením | Nikl 1       | 50+0,2  | 50,082                                | 0,032                     |
|                               | Tvrdochrom 1 | 50+0,2  | 50,040                                | 0,016                     |
|                               | PEEK 1       | 50+0,2  | 50,039                                | 0,024                     |
| Po experimentálním ověření    | Nikl 2       | 50+0,2  | 50,080                                | 0,034                     |
|                               | Tvrdochrom 2 | 50+0,2  | 50,038                                | 0,020                     |
|                               | PEEK 2       | 50+0,2  | 50,039                                | 0,038                     |

Tabulka udává výsledné hodnoty z měření jednotlivých vzorků. Výsledné hodnoty před experimentálním ověřením bodu zvratu a po experimentálním ověření bodu zvratu se lišily v rozmezí pár jednotek mikrometrů. Tyto rozdílné hodnoty jsou způsobeny toleranční chybou při opakovatelnosti měření. Z výsledných hodnot lze usuzovat, že v systému Ball and Socket se tvarová plocha kuličky nijak nedeformuje, a to ať se jedná o povlakovou vrstvu niklu, nebo tvrdochromu či PEEKu.

Správnost celého systému Ball and Socket se ověřila pomocí zkoušky otisku na barvu.



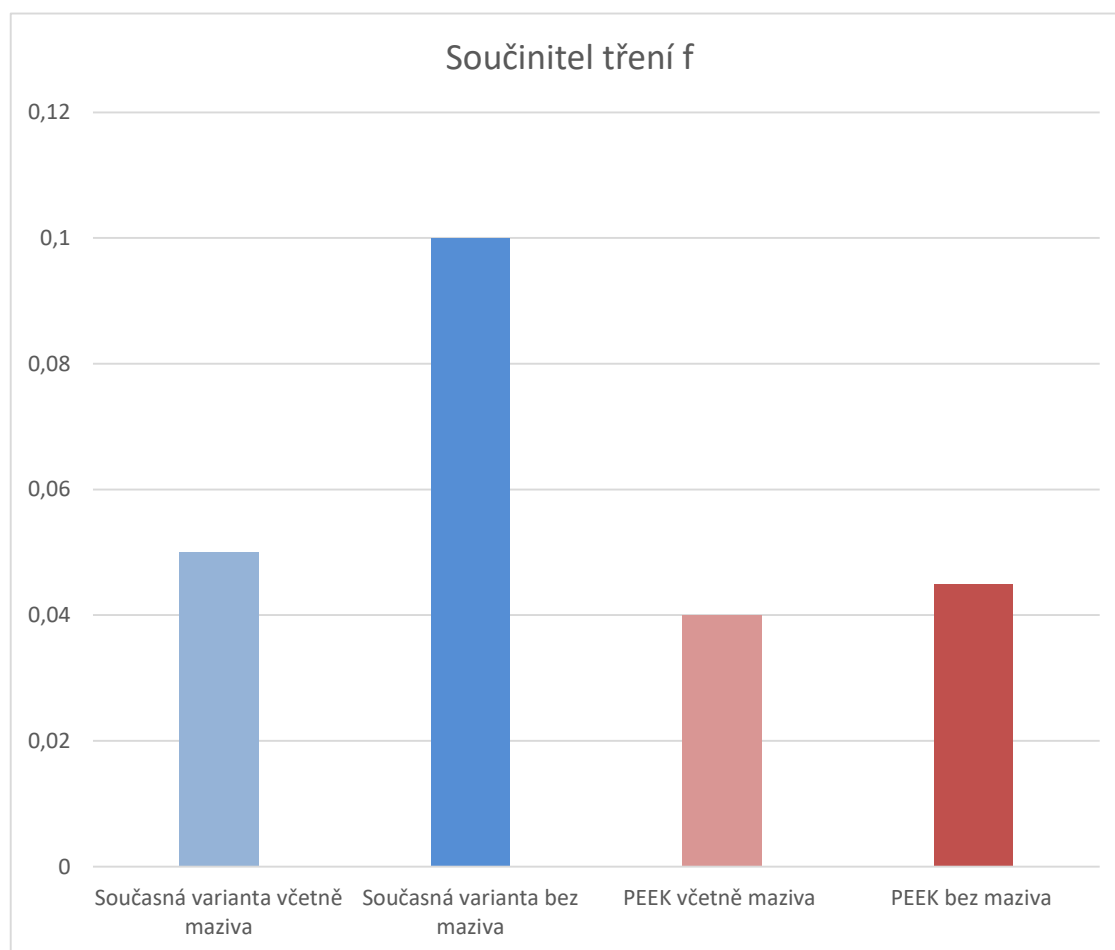
Obrázek 8-4: Ověření na barvu

## 9 Technicko-ekonomické zhodnocení

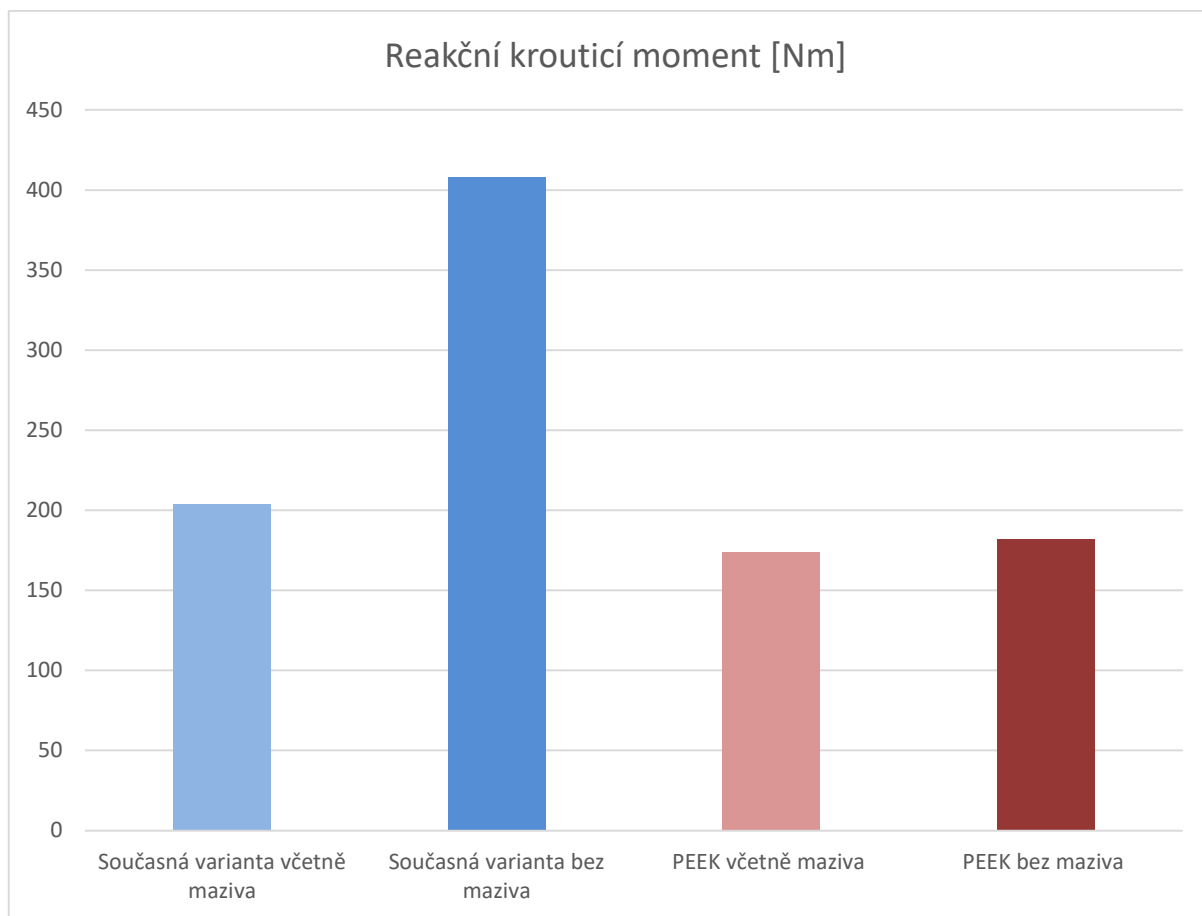
Při porovnávání kluzného ložiska s naklápěcími segmenty se systémem Ball and Socket je hlavním cílem určit, jak se jednotlivé povlaky z niklu, tvrdochromu a PEEKu cenově liší. Dalšími aspekty, které budou definovat cenu systému Ball and Socket, je náročnost výroby, dodatečné operace, ověřování a náročnost výroby protikusu Socket pro povlakovaný prvek Ball.

Z ekonomického a technického hlediska je patrné, že cenová náročnost na prvky niklu a tvrdochromu jsou navzájem téměř srovnatelná, kromě ceny na externí povlakování (Tvrdochrom o 10% dražší). Při porovnávání technických operací, které byly součástí výroby, je zřejmé, že výrobní operace pro povlaky niklu a tvrdochromu byly totožné. Povlaky niklu a tvrdochromu nemají pro tuto aplikaci žádný technický význam, kvůli vysokým hodnotám koeficientu tření.

Dále budou posuzovány pouze prvky Ball s povlakem PEEK a současnou variantou.



Obrázek 9-1: Graf – součinitel tření f



Obrázek 9-2: Graf – reakční krouticí moment [Nm]

Předchozí Obrázek 9-1: Graf – součinitel tření  $f$ , Obrázek 9-2: Graf – reakční krouticí moment [Nm] vyobrazuje výsledné hodnoty, kde materiál PEEK dosahuje nižších hodnot. Nižší výsledné hodnoty značí menší odpor ve funkčním kloubovém mechanismu. Přestože PEEK je vhodnější pro aplikaci v kloubovém mechanismu, musí se vzít v potaz vyšší náklady na výrobu, které jsou o 18% vyšší než u současné varianty. Souhrnem se dá koupit prvek s povlakem PEEK s nižším reakčním momentem o 55,4% (Současná varianta bez maziva / PEEK bez maziva), ale o 18% nákladnějším a delším výrobním procesem.

## 10 Závěr

Teoretická část diplomové práce obsahuje základní informace o kluzných kompozicových ložiscích vyráběných firmou GTW BEARINGS s.r.o. Diplomová práce byla vytvořena ve spolupráci právě se zmíněnou firmou GTW BEARINGS a Západočeskou strojní fakultou v Plzni.

První část diplomové práce shromažďuje technické informace o ložiscích včetně analytického posuzování jednotlivých komponent. Detailní popis rozděluje ložiska na ložiska s fixní geometrií a ložiska s naklápěcími segmenty zahrnující kloubový mechanický systém Ball and Socket. Hlavním účelem diplomové práce bylo navrhnout vhodnou otěruvzdornou vrstvu pro kloubový mechanismus Ball and Socket s nízkým koeficientem tření, požadovanou tvrdostí a rozměrovou přesností.

Praktická část diplomové práce analyzuje současný stav výroby kloubového mechanismu Ball and Socket v aktuálních podmínkách GTW BEARINGS. Podle dosavadních informací z předchozích studií tohoto prvku se provedl detailní popis výroby včetně funkčních mapovacích kritérií. Následným zjištěním výhod a nevýhod se dochází k inovativnímu řešení tohoto prvku. Inovativní řešení spočívá v povlakování funkčního komponentu Ball. Dle definovaných kritérií se na komponent Ball aplikuje vrstva niklu, tvrdochromu a PEEKu. Následným krokem bylo definovat a vybrat jednotný způsob výroby pro výše zmíněné tři povlaky včetně detailního popisu aplikace vrstev na komponent. Dalším krokem bylo provedeno rozměrové měření za účelem zjištění a ověření geometrických tolerancí dle požadavků GTW BEARINGS. Závěrečným krokem bylo ověřit funkčnost kloubového mechanismu zkouškou bodu zvratu; při zatížení komponentu byly zjištěny požadované parametry, jako je koeficient tření, rekční moment a reakční síla. Tato zkouška definovala vhodnost jednotlivých vrstev povlaků v kloubovém mechanismu.

Výsledným zhodnocením se dochází k závěru, že materiál PEEK bez maziva dosahuje o 55,4% nižších hodnot než dosavadní vyráběná varianta firmou GTW BEARINGS. Materiál PEEK při ověřování bodu zvratu vykazoval vhodné chování jak při použití maziva, tak bez použití maziva ve srovnání s dosavadní variantou, niklovým a tvrdochromovým povlakem.

Hlavním přínosem diplomové práce bylo definování vhodnosti použití jednotlivých povlaků pro kloubový mechanismus. Obzvláště PEEK materiál vykazoval inovativní zlepšení funkčnosti.

Pro další nové inovativní zlepšení tohoto systému by bylo vhodné otestovat takzvané dvourozměrné materiály, jako je například grafen.

## 11 Seznam použitých zdrojů informací

[1] *Vývoj, konstrukce a výroba kluzných kompozicových ložisek*. Online. Dostupné z: <https://www.gtw.cz/>. [cit. 2024-05-04].

[2] HALML, Jiří, 2016. *Vypracování systému kvantifikace pracnosti výroby kluzných ložisek – tvorba normativů a hodnocení produktivity práce*. Online, DIPLOMOVÁ PRÁCE, vedoucí Jan Řehoř. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI: ZČU. Dostupné z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/25167/1/DP\\_Halml\\_Jiri\\_2016.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/25167/1/DP_Halml_Jiri_2016.pdf). [cit. 2024-05-04].

[3] *Kluzné ložisko*, 2001-13. 1. 2023. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kluzn%C3%A9\\_lo%C5%BEisko](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kluzn%C3%A9_lo%C5%BEisko). [cit. 2024-05-14].

[4] HARUDA, Jan, 2020. *Návrh způsobu výroby funkčních komponent ložiskového systému „Ball and Socket“ v podmínkách GTW*. Online, Bakalářská práce, vedoucí Michal Povolný. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI: ZČU. Dostupné z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/41270/1/BP\\_Haruda\\_Jan\\_2020.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/41270/1/BP_Haruda_Jan_2020.pdf). [cit. 2024-05-04].

[5] *Extend 700.520*, c2024. Online. Bomar. Dostupné z: <https://bomar-saws.com/cz/produkty/extend/extend-700-520.html>. [cit. 2024-05-06].

[6] RADIAL COMPONENTS, 2019. Online. *ABOUT US*. S. 1/8. Dostupné z: <https://www.gtw.cz/wp-content/uploads/2019/11/Catalogue-2019.pdf>. [cit. 2024-05-04].

[7] *[informace o stroji Zeiss prismo]*, [Duben 2024]. Online. ChatGPT. Dostupné z: <https://chatgpt.com/c/646ad7c9-9217-4460-99ae-375ec9838578>. [cit. 2024-05-06].

[8] *BOMAR Extend 700.520 A 1500*, c2024. Online. Fipas.cz. Dostupné z: [https://www.fipas.cz/bomar-extend-700520-a-1500?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjw\\_-GxBhC1ARIsADGgDjuct5DiedqApKbS4gfX\\_OFoJUIEP5NkZMPQ0yh-jluR1in1xxUVIIlaApEWEALw\\_wcB](https://www.fipas.cz/bomar-extend-700520-a-1500?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw_-GxBhC1ARIsADGgDjuct5DiedqApKbS4gfX_OFoJUIEP5NkZMPQ0yh-jluR1in1xxUVIIlaApEWEALw_wcB). [cit. 2024-05-06].

[9] *[Makino a51nx ]*, [Březen 2024]. Online. ChatGPT. Dostupné z: <https://chatgpt.com/c/9fdafa46-4f6a-4f1d-9233-ad9a19a4d3f2>. [cit. 2024-05-06].

[10] *A51nx Professional 6*, Copyright © 2024. Online. MAKINO. Dostupné z: <https://www.makino.eu/cs-cz/machine-technology/machines/horizontal-4-axis/a51nx-pro-6>. [cit. 2024-05-06].

[11] *[5.5.3 CNC EMCO MAXXTURN 25]*, [Březen 2024]. Online. ChatGPT. Dostupné z: <https://chatgpt.com/c/c814f6f2-6ac0-4522-953e-842ba589c1a7>. [cit. 2024-05-06].



- [12] *MAXXTURN 25*, c2024. Online. EMCO. Dostupné z: <https://www.emco-world.com/en/products/turning/maxxturn/maxxturn-25.html>. [cit. 2024-05-06].
- [13] *ZEISS PRISMO Family*. Online. ZEISS. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy/souradnicove-merici-stroje/portalove-souradnicove-merici-stroje/prismo.html>. [cit. 2024-05-06].
- [14] MAREK, Urban; JAN, Dolejš; JIŘÍ, Halml; ONDŘEJ, Šubrt; JAN, Řehoř et al., 2019. *Nová hydrodynamická naklápěcí ložiska s velmi vysokou tuhostí a útlumem*. Dostupné také z: <https://starfos.tacr.cz/cs/projekty/TH03010257>.
- [15] MRÁZ, Lukáš, 2015. *Motorové oleje pro spalovací motory*. Online, Bakalářská práce, vedoucí Ladislav NĚMEC. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI: ZČU. Dostupné z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/20255/1/Lukas\\_Mraz\\_BP.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/20255/1/Lukas_Mraz_BP.pdf). [cit. 2024-05-04].
- [16] *Hydrodynamické a hydrostatické kluzné ložisko*, 2001-. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Plain\\_bearings#/media/File:Lo%C5%BEiska\\_s\\_kapalinn%C3%BDM\\_t%C5%99en%C3%ADm.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Plain_bearings#/media/File:Lo%C5%BEiska_s_kapalinn%C3%BDM_t%C5%99en%C3%ADm.png). [cit. 2024-05-04].
- [17] HRUŠKA, Miroslav, 2011. *HYDRODYNAMICKÁ LOŽISKA ŠESTIVÁLCOVÉHO VZNĚTOVÉHO MOTORU*. Online, DIPLOMOVÁ PRÁCE, vedoucí RADIM DUNDÁLEK. Vysoké učení technické v Brně: VUT. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=41242](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41242). [cit. 2024-05-04].
- [18] Tilting Pad Journal Bearings. Online. S. 1/8. Dostupné z: <https://www.gtw.cz/wp-content/uploads/2017/06/Tilting-Pad-Journal-Bearings-Catalogue.pdf>. [cit. 2024-05-04].
- [19] *Povrchová úprava*, 2019. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2019. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Povrchov%C3%A1\\_%C3%BAprava](https://cs.wikipedia.org/wiki/Povrchov%C3%A1_%C3%BAprava). [cit. 2024-05-04].
- [20] SOKRATES, Copyright 2016. *Nátěrové hmoty určené pro povrchovou úpravu kovových podkladů*. Online. Dostupné z: <http://barvy-sokrates.eu.klienti.iware.cz/jak-spravne-vybrat/rady-a-tipy/naterove-hmoty-urcene-pro-povrchovou-upravu-kovovych-podkladu>. [cit. 2024-05-04].
- [21] *[Jaké jsou povrchové úpravy kovů]*, [Prosinec 2023]. ChatGPT. Online. Dostupné z: <https://chat.openai.com/c/a6499e2b-0730-44f9-8320-55992b2ce28f>. [cit. 2024-05-04].
- [22] *Cementování*, 2023. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2023. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Cementov%C3%A1n%C3%AD>. [cit. 2024-05-04].



[23] *Galvanické pokovování*, 2023. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2023. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Galvanick%C3%A9\\_pokovov%C3%A1n%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Galvanick%C3%A9_pokovov%C3%A1n%C3%AD). [cit. 2024-05-04].

[24] *Polytetrafluorethylen*, 2024. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2024. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polytetrafluorethylen>. [cit. 2024-05-04].

[25] WEISSBACHER, Christoph; KIEFEL, Angelika; BLUMENTHAL, Hardwig; MARHEINEKE, Jonas a PITON, Sebastien, Copyright © 2021. Performance of a Direct Bonded Sub-Millimeter Peek Coating for Hydrodynamic Plain Bearings. *Performance of a Direct Bonded Sub-Millimeter Peek Coating for Hydrodynamic Plain Bearings*. Roč. OCTOBER 2021, č. 143, s. 1/9.

[26] *Pokovování*, 2023. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2023. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pokovov%C3%A1n%C3%AD>. [cit. 2024-05-04].

[27] *[Co víš o kuličkách do valivých ložisek?]*, 2023. Online. ChatGPT. Dostupné z: <https://chat.openai.com/c/277d2d63-b626-4866-b5ca-414822b453b2>. [cit. 2024-05-04].

[28] *Kulička 20mm G40 Ložisková ocel*, Copyright 2024. Online. OCELOVEKOULE.CZ. Ocelovekoule.cz. Dostupné z: <https://www.ocelovekoule.cz/kulicka-20mm-g40-loziskova-ocel/>. [cit. 2024-05-04].

[29] Přehled vlastností oceli 34CrNiMo6. Online. In: . Dostupné z: [https://bbolzano.cz/assets/files/TP/MOP\\_%20Tycova\\_ocel/EN\\_10083/MOP\\_34CrNiMo6.pdf](https://bbolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_34CrNiMo6.pdf). [cit. 2024-05-04].

[30] BÁRTA a CIHLÁŘ, c2009. *Lesklé niklování*. Online. Bárta a Cihlář povrchove-technologie.cz. Dostupné z: <http://www.povrchove-technologie.cz/cz/technologie/leskle-niklovani/>. [cit. 2024-05-04].

[31] SEVEN-K, c2021. *Chemické niklování*. Online. SEVEN-K. Dostupné z: <https://seven-k.cz/chemicke-niklovani/>. [cit. 2024-05-04].

[32] SERW, SPOL. S R.O., -. *SERW, spol. s r.o.* Online. SERW. Dostupné z: <https://www.serw.cz/>. [cit. 2024-05-04].

[33] *[Překlad]*, [Březen 2024]. Online. ChatGPT. Dostupné z: <https://chat.openai.com/c/b086e299-8f70-4681-a8a1-6d24e036d5e6>. [cit. 2024-05-04].

[34] SCHWARZ; KHAJA a POPP, 2020. *Vysoce výkonný materiál PEEK (polyetheretherketon) v aditivní výrobě*. Online. 3druck.com. 14. října 2020. Dostupné

z: <https://3druck.com/3d-druckmaterialien/hochleistungsmaterial-peek-polyetheretherketon-in-der-additiven-fertigung-0196693/>. [cit. 2024-05-04].

[35] PEEK, c2024. Online. Materialpro3d.cz. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/peek/>. [cit. 2024-05-14].

[36] *Povlakování kovů fluorplastovými povlaky*, c2015-2024. Online. <https://www.technicoat.cz/>. Dostupné z: <https://www.technicoat.cz/cs/nase-sluzby/povlakovani/>. [cit. 2024-05-04].

[37] VICOTE® Coatings, c2016. *Coatings*. Roč. -, č. -, s. 1/16.

[38] *[jaké jsou mechanické vlastnosti ]*, [Březen 2024]. Online. ChatGPT. Dostupné z: <https://chat.openai.com/c/591feba2-0ff3-467c-a3b3-0b3dede2a5d7>. [cit. 2024-05-04].

[39] *Tvrdé chromování*, Online. BOMEX. Dostupné z: <https://www.bomex.cz/technologie/tvrde-chromovani>. [cit. 2024-05-04].

[40] TOMAN, JOSEF, 2012. *POVRCHOVÉ ÚPRAVY SOUČÁSTÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ*. Online, BAKALÁŘSKÁ PRÁCE, vedoucí ONDŘEJ MARŠÁLEK. Vysoké učení technické v Brně: VUT. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=52557](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52557). [cit. 2024-05-04].

[41] *CHROMOVÁNÍ*, c2024. Online. Novex Bohemia. Dostupné z: <https://novex.cz/cs/bohemia/>. [cit. 2024-05-04].

[42] KUDLÁČEK, Jan, Únor 2019. *TVRDÉ CHROMOVÁNÍ*. Online. *Povrchář*. S. 1/26. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/201901\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201901_povrchari.pdf). [cit. 2024-05-04].

[43] *DMU 40*, c2024. Online. DMG MORI. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/petiose-frezovani/dmu/dmu-40>. [cit. 2024-05-06].

[44] *[informace o stroji 5.5.5 DMU 40 eVo linear]*, [Duben 2024]. Online. ChatGPT. Dostupné z: <https://chatgpt.com/c/646ad7c9-9217-4460-99ae-375ec9838578>. [cit. 2024-05-06].

[45] *[jaké jsou mechanické vlastnosti niklování ]*, [Duben 2024]. Online. ChatGPT. Dostupné z: <https://chatgpt.com/c/e114763f-a05c-410d-8e4e-8a7f241c91d0>. [cit. 2024-05-06].

[46] *Chemické niklování*. Online. BOMEX. Dostupné z: <https://www.bomex.cz/technologie/chemicke-niklovani>. [cit. 2024-05-07].

## **PŘÍLOHA č. 1**

### **Protokoly drsností**

# Měřicí protokol

HOMMEL-ETAMIC  
TURBO WAVE V7.45  
Merici podmínky

Snimac: **TKU300**  
Mer.rozsah: **400 µm**  
Linearni pos. pristroj: **waveline 120**  
Merici draha (Lt) : **1.50 mm**  
Posuvova rychlost (Vt): **0.15 mm/s**  
Mer.hodnoty: **9375**

Zakaznik: **Haruda**

PEEK před ověřením

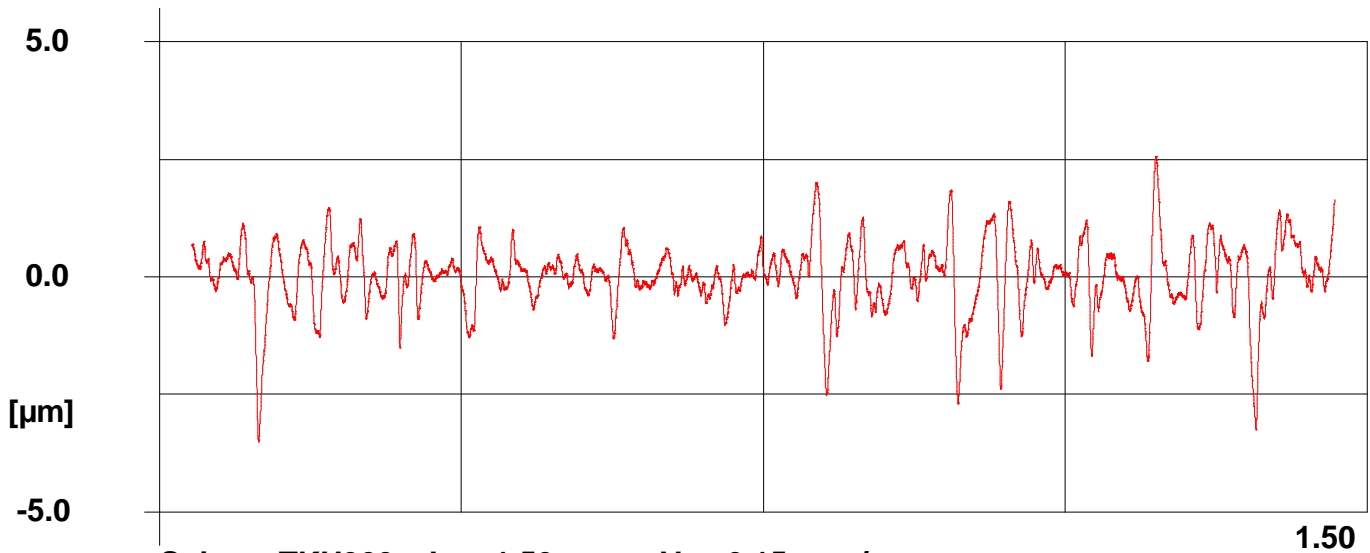
P- W- Profil vyrovnan Filtr ISO 11562 Lc/Ls = VYP Lc = 0.080 mm



Snimac TKU300 Lt = 1.50 mm Vt = 0.15 mm/s

|     |           |     |           |     |           |     |         |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|---------|
| Pt  | 29.43 µm  | Rz  | 4.47 µm   | Wt  | 21.32 µm  | Rpk | 1.26 µm |
| Pz  | 25.70 µm  | Ra  | 0.52 µm   | Wz  | 8.35 µm   | Rk  | 1.18 µm |
| Pa  | 4.95 µm   | Rt  | 6.10 µm   | Wa  | 4.93 µm   | Rvk | 2.69 µm |
| PSm | ---.-- mm | RSm | 0.0372 mm | WSm | ---.-- mm | Mr1 | 11.2 %  |
|     |           | Rv  | 2.67 µm   | Wp  | 4.37 µm   | Mr2 | 81.9 %  |
|     |           | Rp  | 1.80 µm   | Wv  | 3.97 µm   |     |         |

R- Profil vyrovnan Filtr ISO 11562 Lc = 0.080 mm



Snimac TKU300 Lt = 1.50 mm Vt = 0.15 mm/s

13.05.24  
13:06

# Měřicí protokol

HOMMEL-ETAMIC  
TURBO WAVE V7.45  
Merici podmínky

Snimac: TKU300  
Mer.rozsah: 400  $\mu\text{m}$   
Linearni pos. pristroj: waveline 120  
Merici draha (Lt) : 1.50 mm  
Posuvova rychlost (Vt): 0.15 mm/s  
Mer.hodnoty: 9375

Zakaznik: Haruda

PEEK po ověření

P- W- Profil vyrovnan Filtr ISO 11562 Lc/Ls = VYP Lc = 0.080 mm

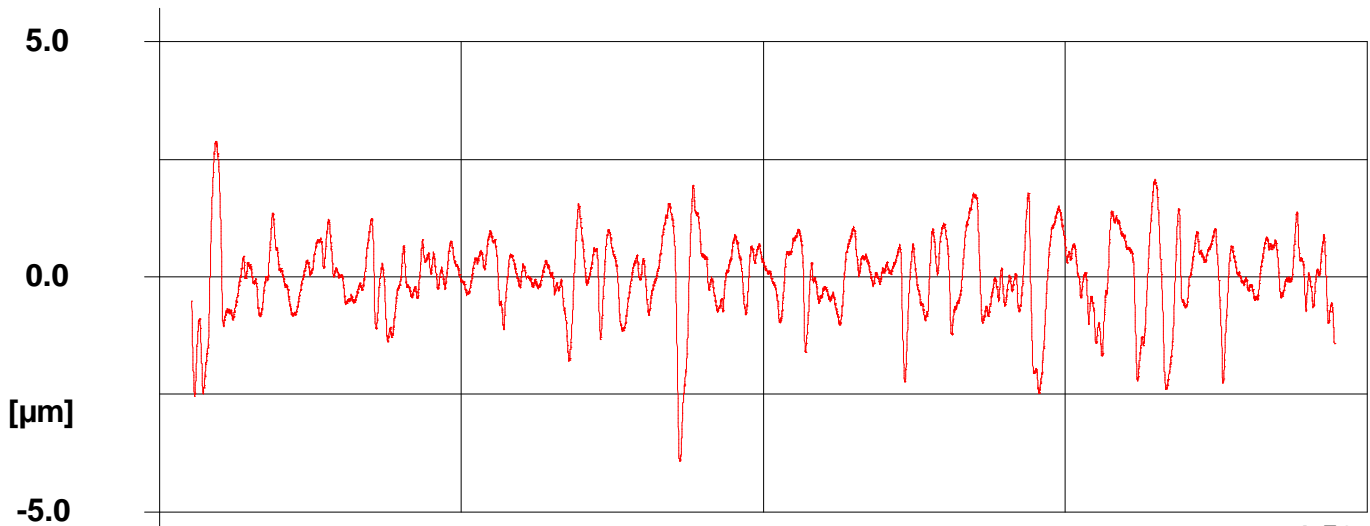


Snimac TKU300 Lt = 1.50 mm Vt = 0.15 mm/s

1.50

|     |                     |     |                    |     |                     |     |                    |
|-----|---------------------|-----|--------------------|-----|---------------------|-----|--------------------|
| Pt  | 24.54 $\mu\text{m}$ | Rz  | 4.69 $\mu\text{m}$ | Wt  | 17.53 $\mu\text{m}$ | Rpk | 2.38 $\mu\text{m}$ |
| Pz  | 20.15 $\mu\text{m}$ | Ra  | 0.63 $\mu\text{m}$ | Wz  | 7.42 $\mu\text{m}$  | Rk  | 1.49 $\mu\text{m}$ |
| Pa  | 4.45 $\mu\text{m}$  | Rt  | 6.82 $\mu\text{m}$ | Wa  | 4.39 $\mu\text{m}$  | Rvk | 2.02 $\mu\text{m}$ |
| PSm | ---.--- mm          | RSm | 0.0394 mm          | WSm | ---.--- mm          | Mr1 | 11.6 %             |
|     |                     | Rv  | 2.64 $\mu\text{m}$ | Wp  | 3.75 $\mu\text{m}$  | Mr2 | 83.8 %             |
|     |                     | Rp  | 2.05 $\mu\text{m}$ | Wv  | 3.67 $\mu\text{m}$  |     |                    |

R- Profil vyrovnan Filtr ISO 11562 Lc = 0.080 mm



Snimac TKU300 Lt = 1.50 mm Vt = 0.15 mm/s

1.50

13.05.24  
13:07

# Měřicí protokol

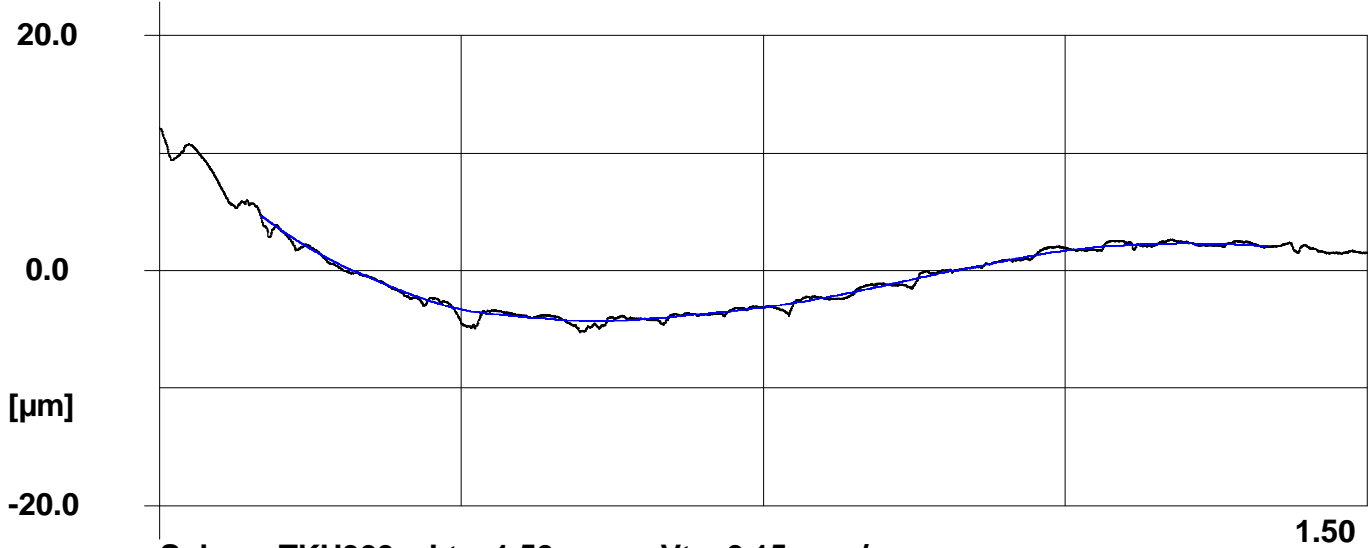
HOMMEL-ETAMIC  
TURBO WAVE V7.45  
Měření podmínky

Snímec: TKU300  
Měř.rozsah: 400 µm  
Lineární pos. přístroj: waveline 120  
Měřící dráha (Lt): 1.50 mm  
Posuvová rychlost (Vt): 0.15 mm/s  
Měř.hodnoty: 9375

Zakazník: Haruda

Nikl před ověřením

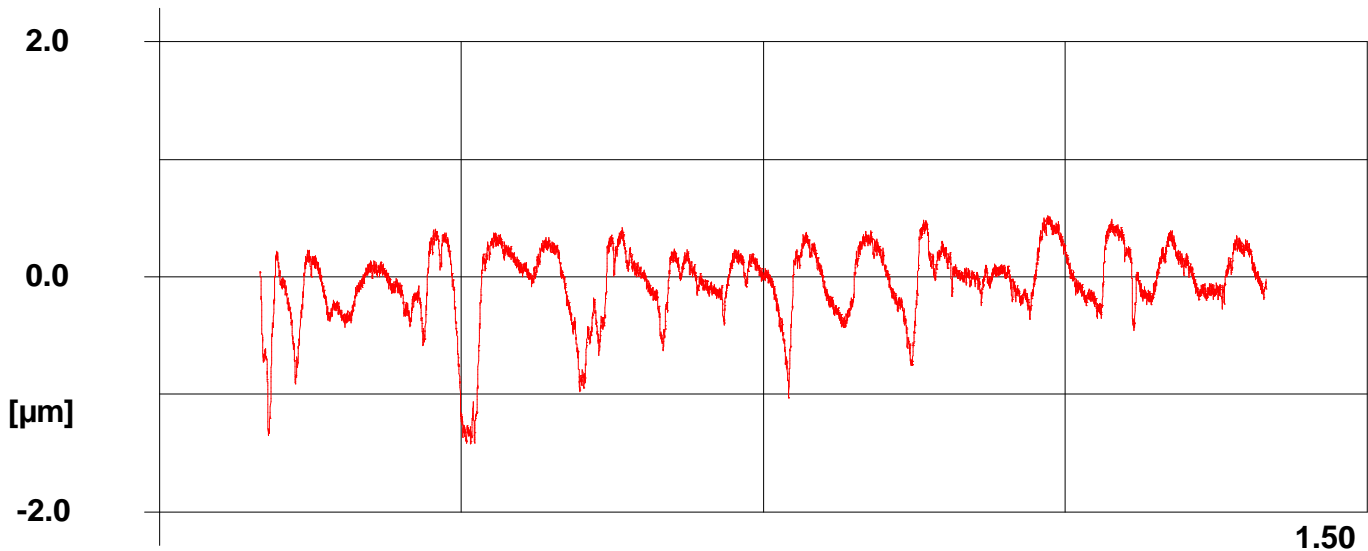
P- W- Profil vyrovnan Filtr ISO 11562 Lc/Ls = VYP Lc = 0.250 mm



Snímec TKU300 Lt = 1.50 mm Vt = 0.15 mm/s

|     |           |     |           |     |           |     |         |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|---------|
| Pt  | 17.45 µm  | Rz  | 1.45 µm   | Wt  | 9.08 µm   | Rpk | 0.65 µm |
| Pz  | 10.07 µm  | Ra  | 0.23 µm   | Wz  | 3.08 µm   | Rk  | 0.66 µm |
| Pa  | 2.47 µm   | Rt  | 1.94 µm   | Wa  | 2.43 µm   | Rvk | 0.75 µm |
| PSm | ---.-- mm | RSm | 0.0622 mm | WSm | ---.-- mm | Mr1 | 7.6 %   |
|     |           | Rv  | 1.00 µm   | Wp  | 0.76 µm   | Mr2 | 86.1 %  |
|     |           | Rp  | 0.45 µm   | Wv  | 2.33 µm   |     |         |

R- Profil vyrovnan Filtr ISO 11562 Lc = 0.250 mm



Snímec TKU300 Lt = 1.50 mm Vt = 0.15 mm/s

13.05.24  
13:21

# Měřicí protokol

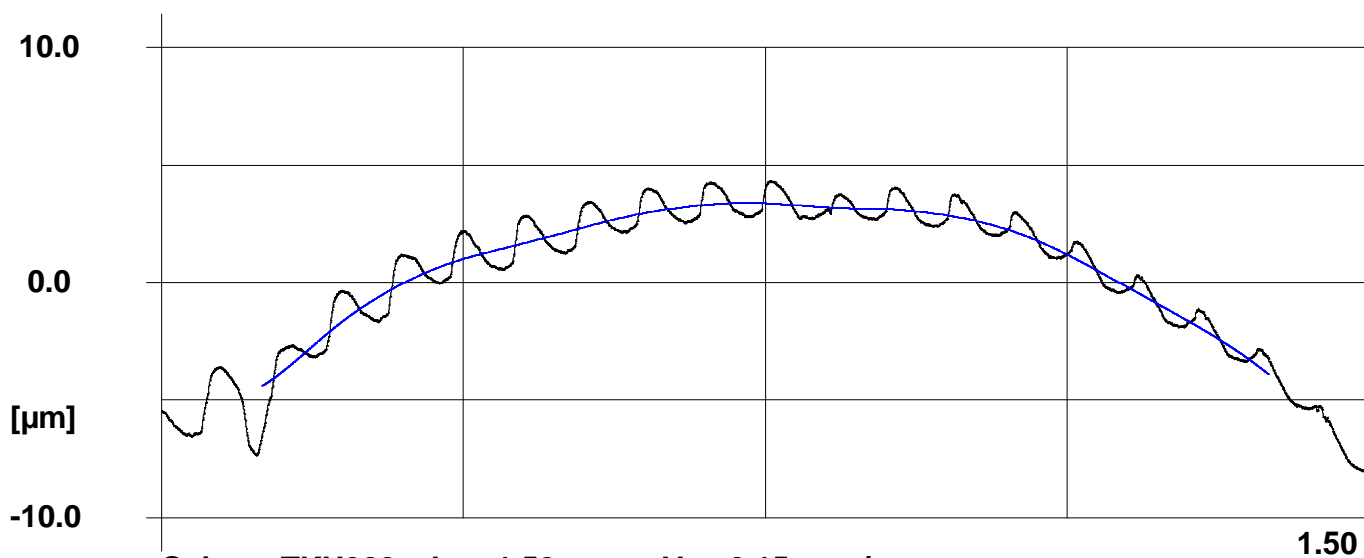
HOMMEL-ETAMIC  
TURBO WAVE V7.45  
Merici podmínky

Snimac: **TKU300**  
Mer.rozsah: **400 µm**  
Linearni pos. pristroj: **waveline 120**  
Merici draha (Lt) : **1.50 mm**  
Posuvova rychlost (Vt): **0.15 mm/s**  
Mer.hodnoty: **9375**

Zakaznik: **Haruda**

Nikl po ověření

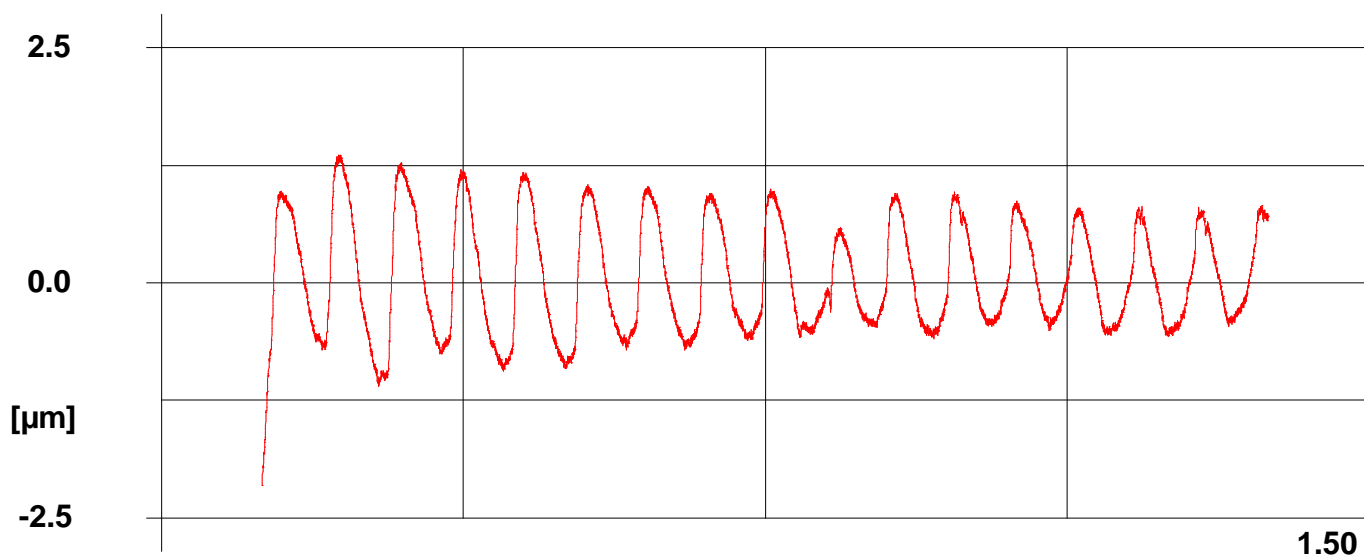
P- W- Profil vyrovnan Filtr ISO 11562 Lc/Ls = VYP Lc = 0.250 mm



Snimac TKU300 Lt = 1.50 mm Vt = 0.15 mm/s

|     |           |     |           |     |           |     |         |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|---------|
| Pt  | 12.43 µm  | Rz  | 2.06 µm   | Wt  | 7.80 µm   | Rpk | 0.60 µm |
| Pz  | 10.92 µm  | Ra  | 0.52 µm   | Wz  | 2.98 µm   | Rk  | 1.38 µm |
| Pa  | 2.27 µm   | Rt  | 3.52 µm   | Wa  | 2.22 µm   | Rvk | 1.43 µm |
| PSm | ---.-- mm | RSm | 0.0758 mm | WSm | ---.-- mm | Mr1 | 22.8 %  |
|     |           | Rv  | 1.00 µm   | Wp  | 2.38 µm   | Mr2 | 93.9 %  |
|     |           | Rp  | 1.07 µm   | Wv  | 0.60 µm   |     |         |

R- Profil vyrovnan Filtr ISO 11562 Lc = 0.250 mm



Snimac TKU300 Lt = 1.50 mm Vt = 0.15 mm/s

13.05.24  
13:17

# Měřicí protokol

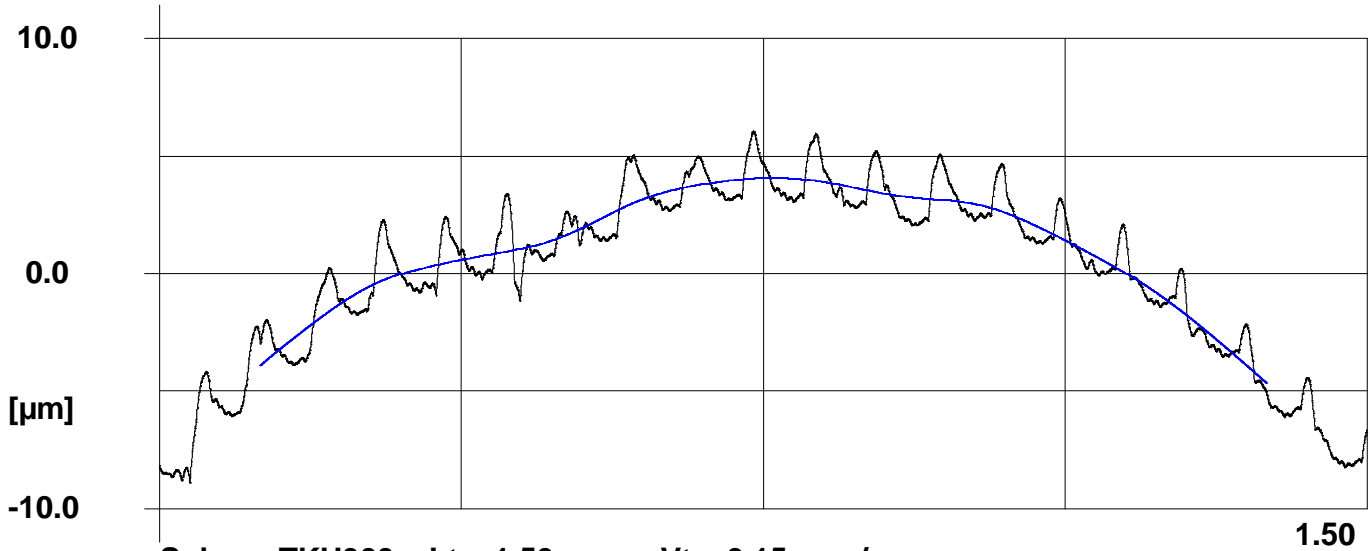
HOMMEL-ETAMIC  
TURBO WAVE V7.45  
Měření podmínky

Snímec: **TKU300**  
Měř.rozsah: **400 µm**  
Lineární pos. přístroj: **waveline 120**  
Měřící dráha (Lt) : **1.50 mm**  
Posuvová rychlost (Vt): **0.15 mm/s**  
Měř.hodnoty: **9375**

Zakazník: **Haruda**

Tvrdochrom před ověřením

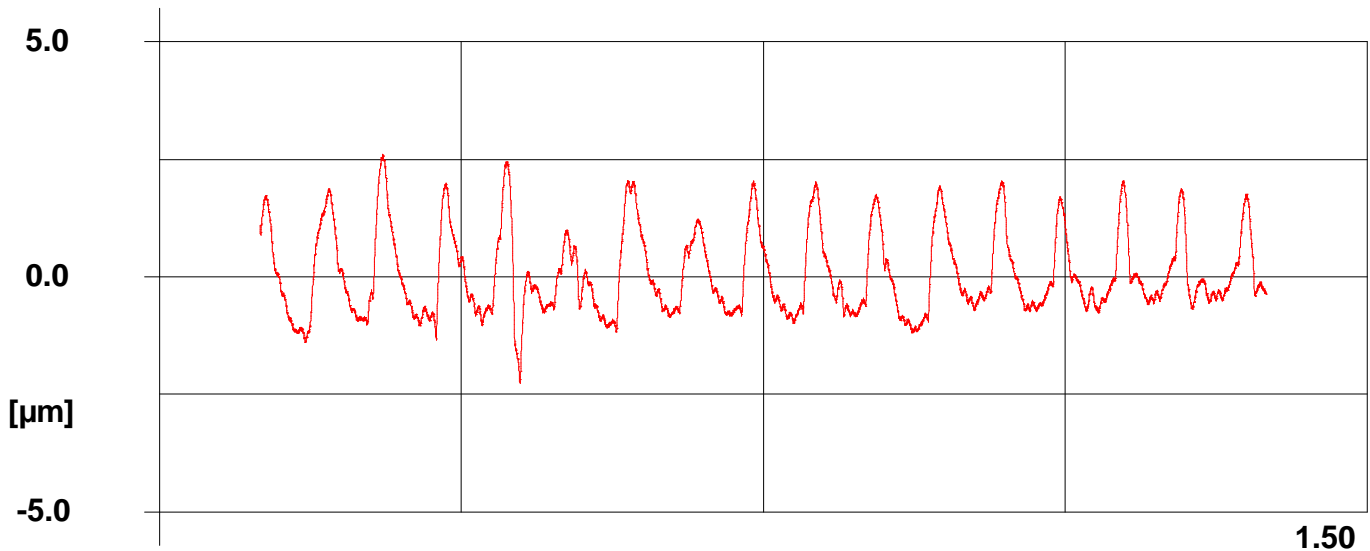
P- W- Profil vyrovnan Filtr ISO 11562 Lc/Ls = VYP Lc = 0.250 mm



Snímec TKU300 Lt = 1.50 mm Vt = 0.15 mm/s

|     |           |     |           |     |           |     |         |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|---------|
| Pt  | 15.03 µm  | Rz  | 3.57 µm   | Wt  | 8.75 µm   | Rpk | 1.79 µm |
| Pz  | 11.16 µm  | Ra  | 0.74 µm   | Wz  | 3.25 µm   | Rk  | 1.39 µm |
| Pa  | 2.40 µm   | Rt  | 4.88 µm   | Wa  | 2.31 µm   | Rvk | 0.49 µm |
| PSm | 0.0935 mm | RSm | 0.0763 mm | WSm | ---.-- mm | Mr1 | 29.7 %  |
|     |           | Rv  | 1.33 µm   | Wp  | 2.63 µm   | Mr2 | 96.6 %  |
|     |           | Rp  | 2.24 µm   | Wv  | 0.62 µm   |     |         |

R- Profil vyrovnan Filtr ISO 11562 Lc = 0.250 mm



Snímec TKU300 Lt = 1.50 mm Vt = 0.15 mm/s

13.05.24  
13:14



# Měřicí protokol

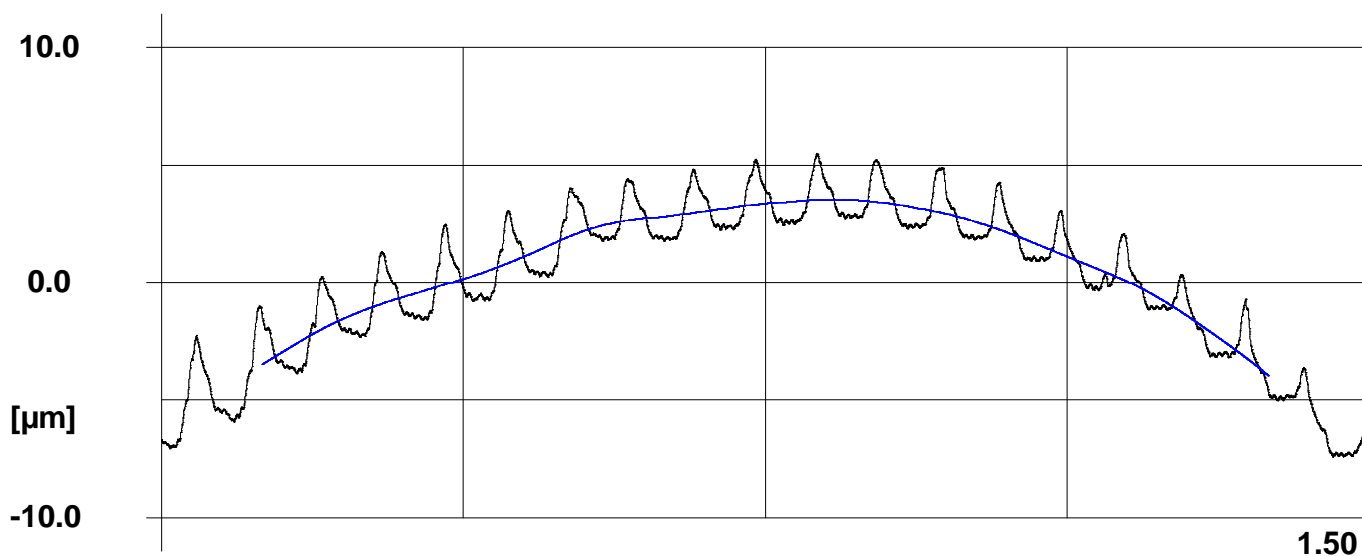
HOMMEL-ETAMIC  
TURBO WAVE V7.45  
Merici podmínky

Snimac: **TKU300**  
Mer.rozsah: **400 µm**  
Linearni pos. pristroj: **waveline 120**  
Merici draha (Lt) : **1.50 mm**  
Posuvova rychlost (Vt): **0.15 mm/s**  
Mer.hodnoty: **9375**

Zakaznik: **Haruda**

Tvrdochrom po ověření

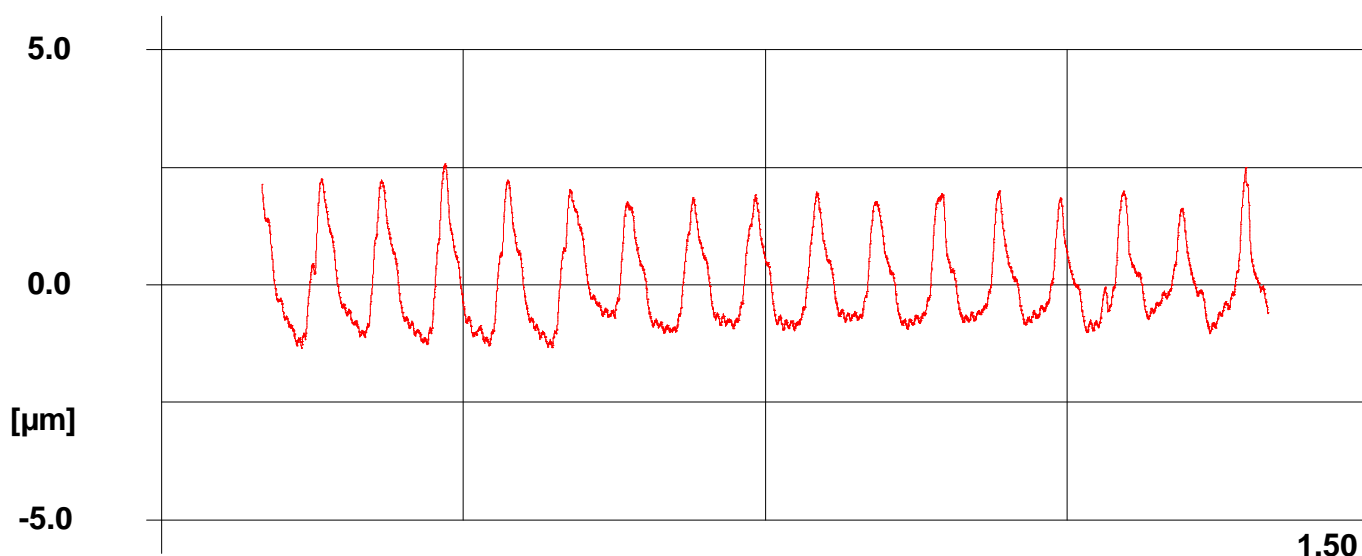
P- W- Profil vyrovnan Filtr ISO 11562 Lc/Ls = VYP Lc = 0.250 mm



Snimac TKU300 Lt = 1.50 mm Vt = 0.15 mm/s

|     |           |     |           |     |           |     |         |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|---------|
| Pt  | 12.94 µm  | Rz  | 3.41 µm   | Wt  | 7.52 µm   | Rpk | 1.88 µm |
| Pz  | 10.15 µm  | Ra  | 0.80 µm   | Wz  | 2.90 µm   | Rk  | 1.41 µm |
| Pa  | 2.20 µm   | Rt  | 3.94 µm   | Wa  | 2.09 µm   | Rvk | 0.15 µm |
| PSm | 0.0738 mm | RSm | 0.0767 mm | WSm | ---.-- mm | Mr1 | 33.6 %  |
|     |           | Rv  | 1.15 µm   | Wp  | 2.22 µm   | Mr2 | 96.9 %  |
|     |           | Rp  | 2.27 µm   | Wv  | 0.67 µm   |     |         |

R- Profil vyrovnan Filtr ISO 11562 Lc = 0.250 mm



Snimac TKU300 Lt = 1.50 mm Vt = 0.15 mm/s

13.05.24  
13:11

## **PŘÍLOHA č. 2**

### **Rozměrové protokoly pro prvek Socket**



# Rozměrový protokol ZEISS Calypso Dimension protokol ZEISS Calypso



Zakázka-Pozice /Order-Position

Zákazník /Client

Datum /Date

17. května 2024

Číslo průvodky /Dispatch Num.

Číslo výkresu / Drawing Num.

Material Nr.:

Kunde Zeichnung

Díl číslo / Part Num.

Stroj /Machine

Stránka /Page

z /from

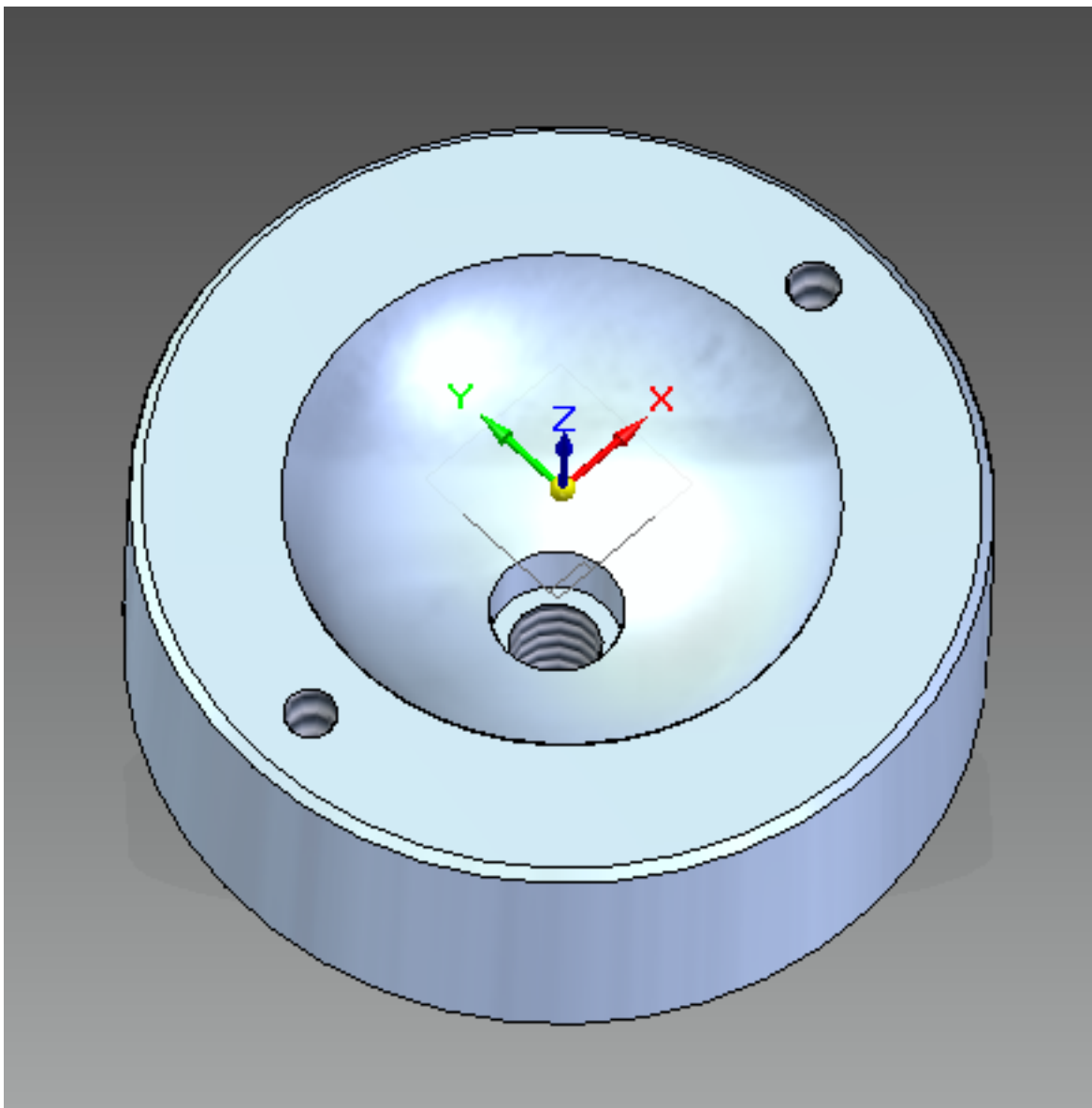
Tvrdochrom

C32Bit

1

1

| Název/Name   | ID   | Měr. hod./<br>Aktual | Jm.hod./<br>Nominal | Horní tol./<br>pos Tol | Dolní tol./<br>neg Tol | Odchyka<br>Diff | <-- --> |
|--------------|------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|-----------------|---------|
| Průměr_Koule | D    | 50.068               | 50.000              |                        |                        |                 |         |
| Tvar         | Tvar | 0.015                | 0.000               |                        |                        |                 |         |





# Rozměrový protokol ZEISS Calypso

## Dimension protokol ZEISS Calypso



Zakázka-Pozice /Order-Position

Zákazník /Client

Datum /Date

17. května 2024

Číslo průvodky /Dispatch Num.

Číslo výkresu / Drawing Num.

Material Nr.:

Kunde Zeichnung

Díl číslo / Part Num.

Stroj /Machine

Stránka /Page

z /from

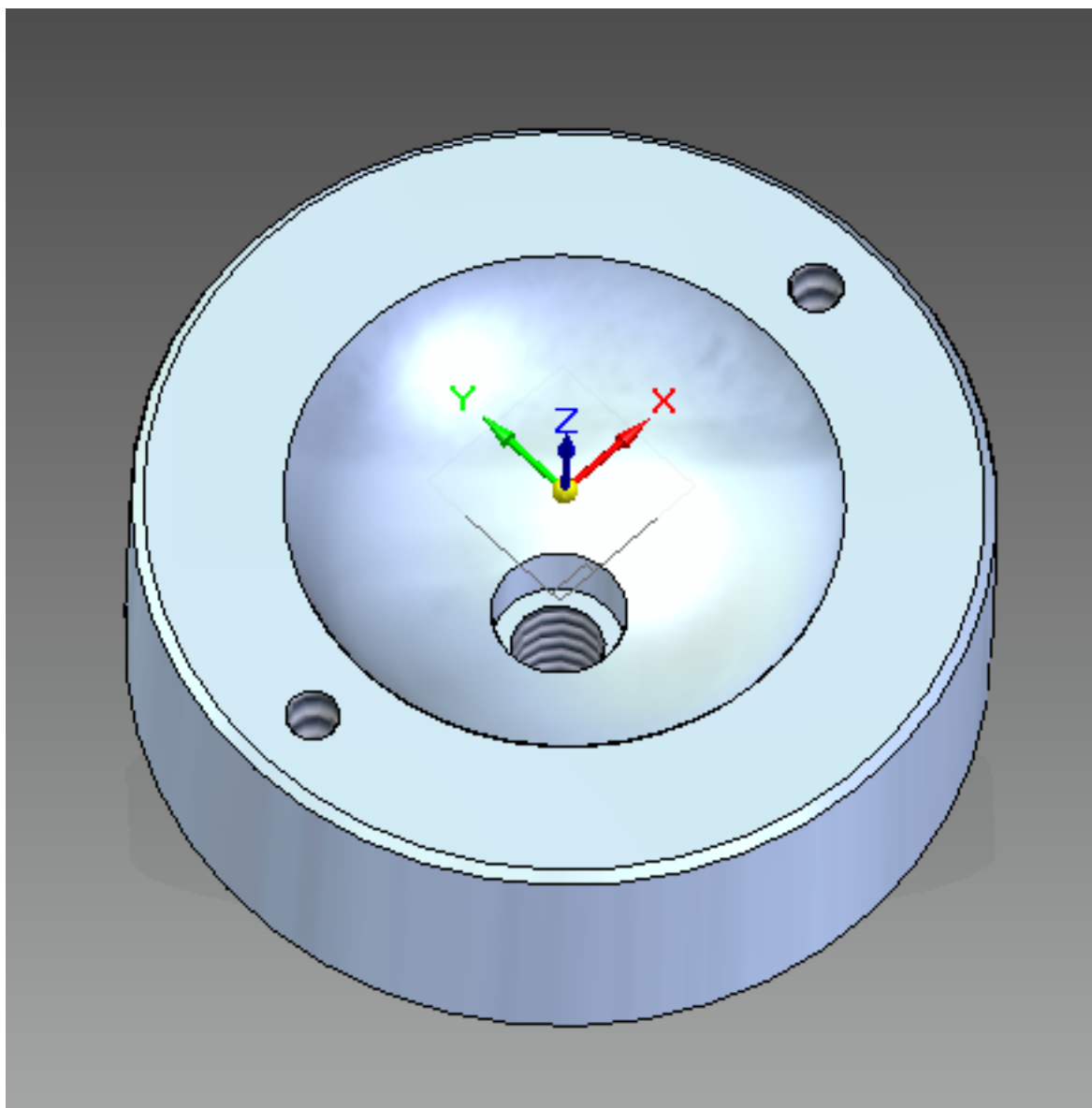
Nikl

C32Bit

1

1

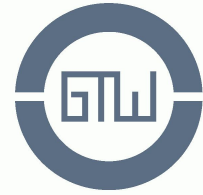
| Název/Name   | ID   | Měr. hod./<br>Aktual | Jm.hod./<br>Nominal | Horní tol./<br>pos Tol | Dolní tol./<br>neg Tol | Odchyška<br>Diff | <-- --> |
|--------------|------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------|---------|
| Průměr_Koule | D    | 50.063               | 50.000              |                        |                        |                  |         |
| Tvar         | Tvar | 0.024                | 0.000               |                        |                        |                  |         |





# Rozměrový protokol ZEISS Calypso

## Dimension protokol ZEISS Calypso



Zakázka-Pozice /Order-Position

Zákazník /Client

Datum /Date

17. května 2024

Číslo průvodky /Dispatch Num.

Číslo výkresu / Drawing Num.

Material Nr.:

Kunde Zeichnung

Díl číslo / Part Num.

PEEK

Stroj /Machine

C32Bit

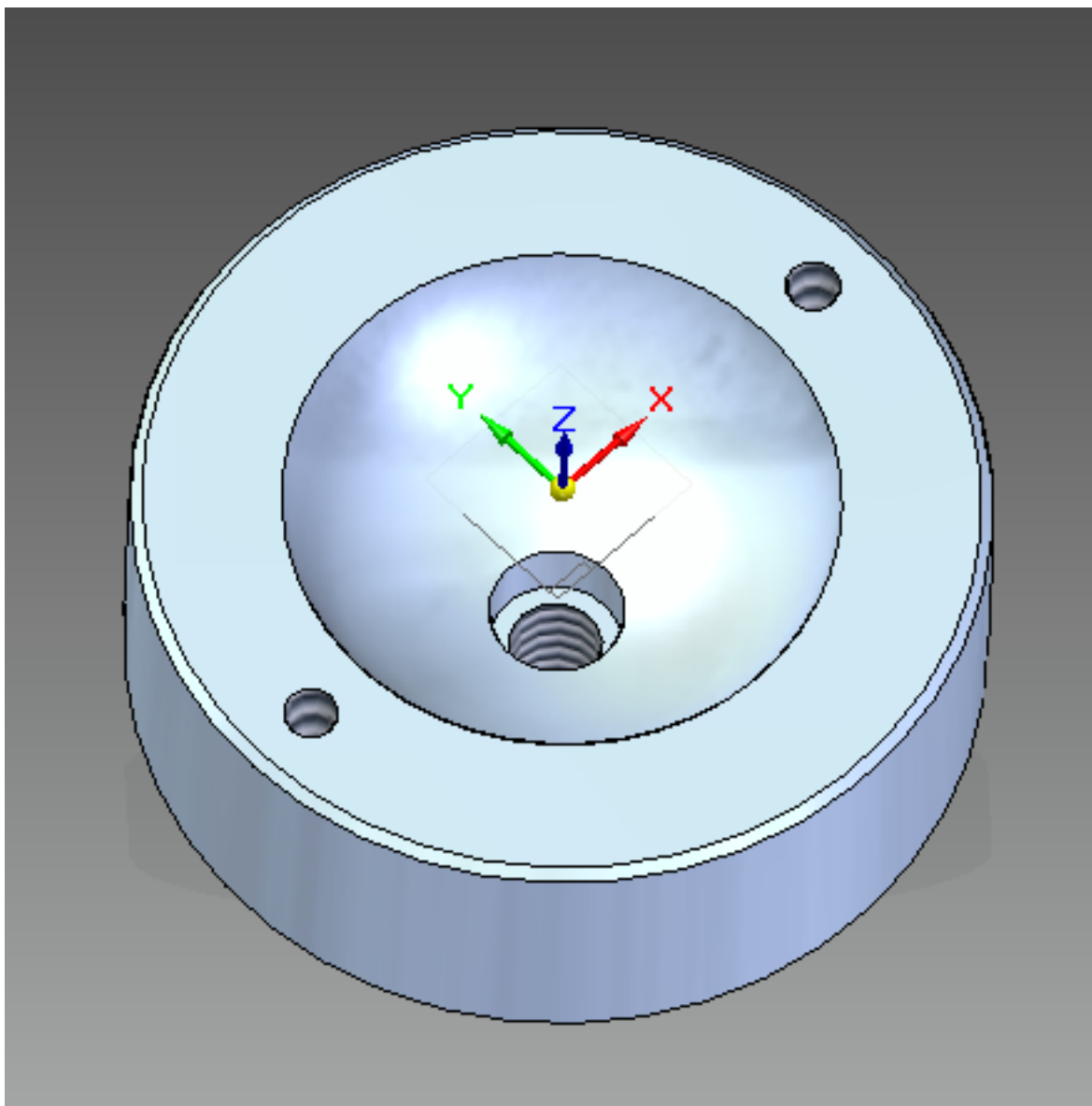
Stránka /Page

1

z /from

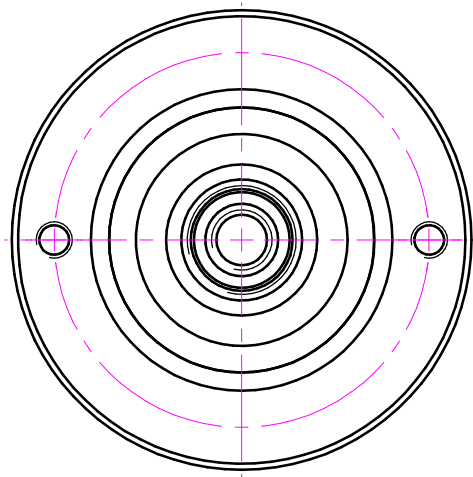
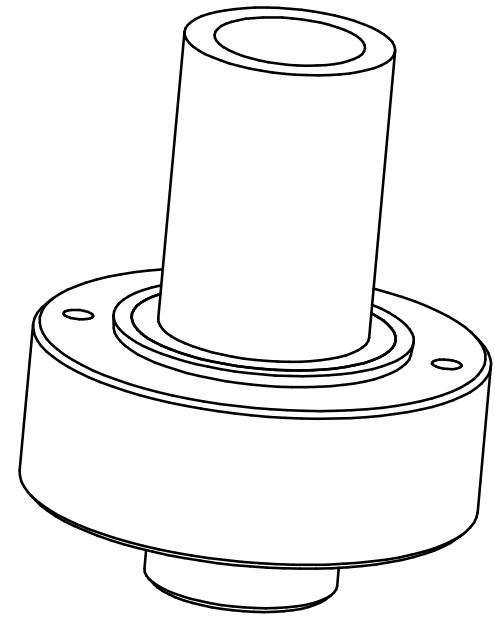
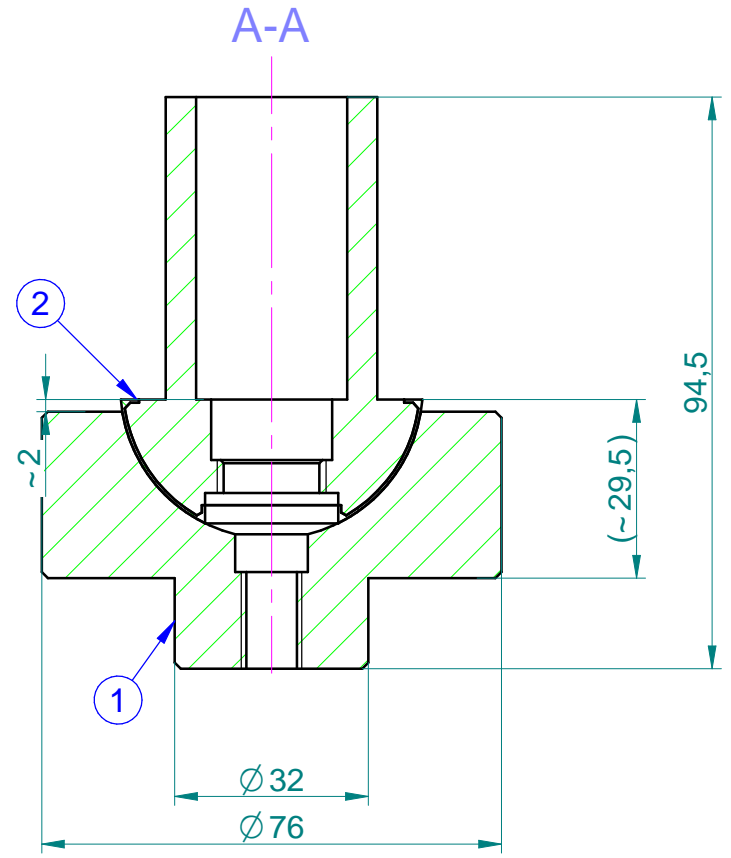
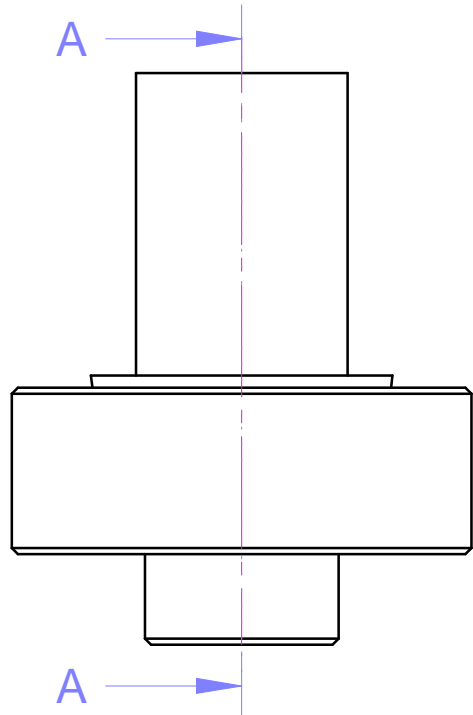
1

| Název/Name   | ID   | Měr. hod./<br>Aktual | Jm.hod./<br>Nominal | Horní tol./<br>pos Tol | Dolní tol./<br>neg Tol | Odchyka<br>Diff | <-- --> |
|--------------|------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|-----------------|---------|
| Průměr_Koule | D    | 50.066               | 50.000              |                        |                        |                 |         |
| Tvar         | Tvar | 0.014                | 0.000               |                        |                        |                 |         |



## **Výkresové dokumentace**



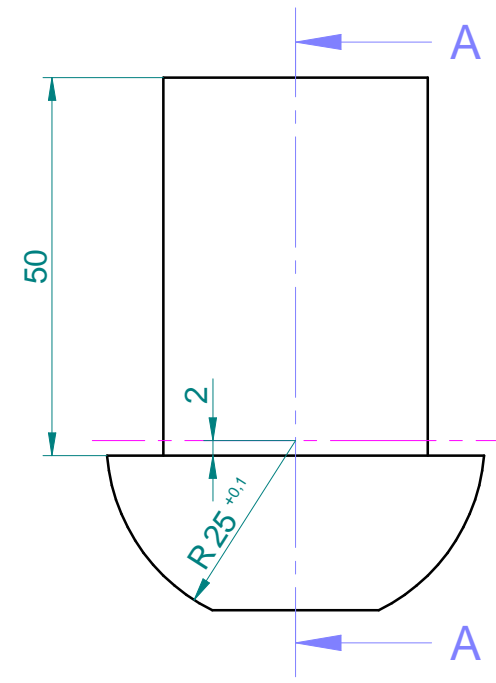
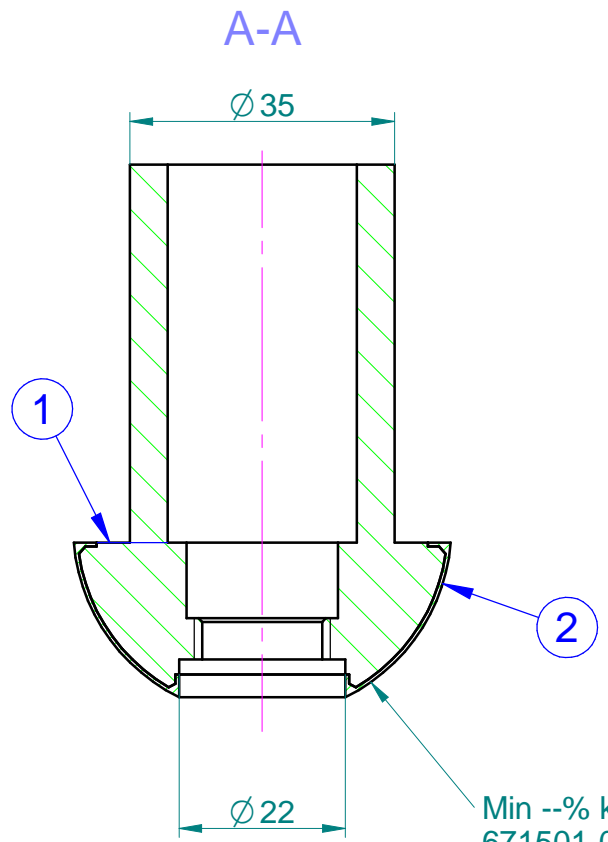


| 2    | BaS+PEEK        |          | 0,2 kg | 671501-01^00  | 1        |
|------|-----------------|----------|--------|---------------|----------|
| 1    | Koule - Vnitřní | 42CrMo4  | 0,9 kg | 671501-02^00  | 1        |
| Poz. | Název           | Materiál | Váha   | Číslo výkresu | Množství |

|   |  |                    |  |                 |  |                       |  |                |  |            |  |
|---|--|--------------------|--|-----------------|--|-----------------------|--|----------------|--|------------|--|
| DOPLŇ.VÝKR. ; ; ;   |  | MATERIÁL           |  | HMOTNOST 1,0 kg |  | ZÁKAZNÍK              |  | MĚŘÍTKO 1:1,25 |  | ISO 13715  |  |
| <b>GTW BEARINGS s.r.o.</b><br>Příšov 24, CZ - 330 11 Třemošna u Plzně |  | TOLERANCE          |  | ISO 8015        |  | PŘESNOST              |  | ISO 2768       |  | PROMÍTÁNÍ  |  |
|   |  | JMÉNO              |  | DATUM           |  | KRESLIL               |  | Haruda         |  | 07.12.2023 |  |
| FORMÁT A4   |  | LIST/POČ.LISTŮ 1/1 |  | KONTR.          |  | SAFETY COMMENT DIN 34 |  |                |  |            |  |

|               |  |                                |  |
|---------------|--|--------------------------------|--|
| NÁZEV         |  | <b>Sestava-Ball-And-Socket</b> |  |
| ČÍSLO VÝKRESU |  | <b>671501-00</b>               |  |
| INDEX         |  | <b>00</b>                      |  |

3,2 / ( 0,8 / 12,5 )



Min --% kontakt s plochou vnitřní koule u dílu 671501-02^00 - Koule (Vnitřní - Socket)

| 2    | PEEK           | PEEK       | 0,0 kg   | ^             | 1        |
|------|----------------|------------|----------|---------------|----------|
| 1    | Koule - Vnější | S355 / C45 | 0,3 kg   | 671501-03^    | 1        |
| Poz. | Název          | Materiál   | Hmotnost | Číslo výkresu | Množství |

|  |                    |
|--|--------------------|
| DOPLŇ.VÝKR. ; ; ;  |                    |
| MATERIÁL   | HMOTNOST 0,2 kg    |
| ZÁKAZNÍK   | MĚŘÍTKO 1:1        |
| <b>GTW BEARINGS s.r.o.</b><br>Příšov 24, CZ - 33011 Třemošná u Plzně |                    |
| TOLERANCE ISO 8015<br>PŘESNOST ISO 2768-mK<br>PROMÍTÁNÍ              |                    |
| JMÉNO  | DATUM              |
| KRESLIL jharuda  | 07.12.2023         |
| FORMÁT A2  | LIST/POČ.LISTŮ 1/1 |
| SAFETY COMMENT DIN 34  |                    |
| KONTR.   |                    |

|                  |           |
|------------------|-----------|
| NÁZEV            |           |
| <b>BaS+PEEK</b>  |           |
| ČÍSLO VÝKRESU    | INDEX     |
| <b>671501-01</b> | <b>00</b> |

3,2 / 0,2 / 0,8 /  
 ( / / )

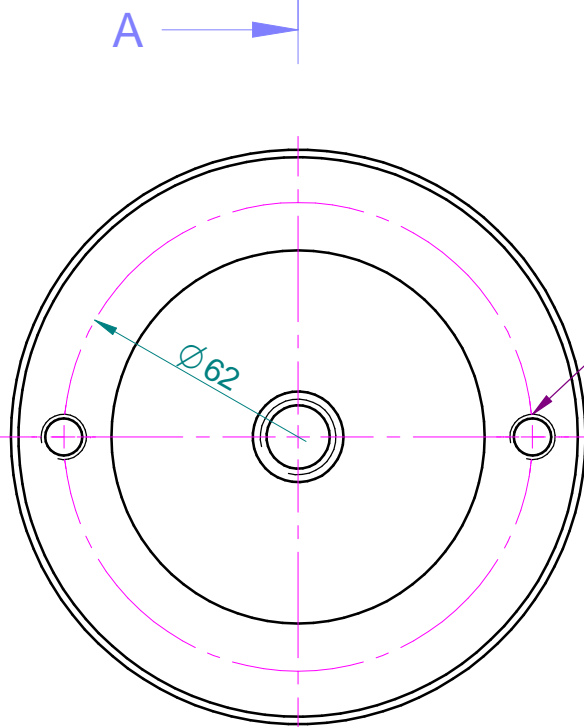
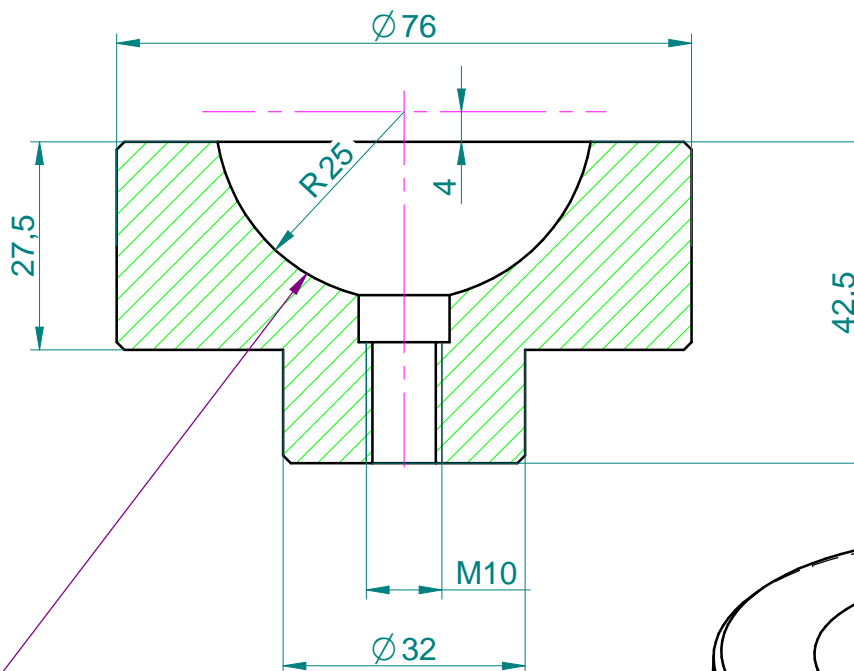
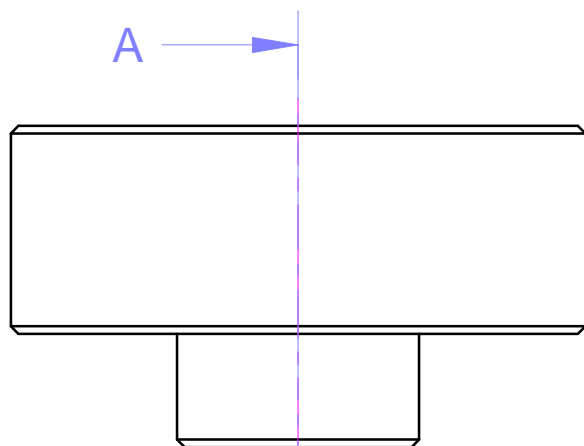
Čís. / Nr.

Seznam revízi / List of Revisions

Datum / Date

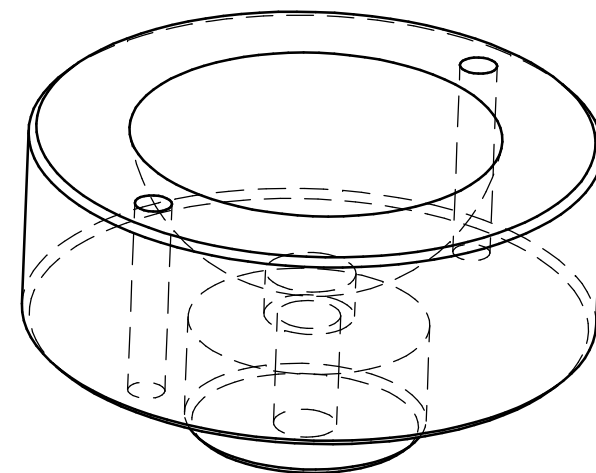
Autor / Author

A-A



--% kontakt s plochou vnitřní koule u dílu 671501-01^00 - Koule (Vnější - Ball) +PEEK

M6/SKRZ



|   |  |                    |  |                   |  |                    |  |
|---|--|--------------------|--|-------------------|--|--------------------|--|
| DOPLŇ.VÝKR. ; ; ;   |  | MATERIÁL 42CrMo4   |  | HMOTNOST 0,9 kg   |  | TOLERANCE ISO 8015 |  |
| ZÁKAZNÍK  |  | MĚŘÍTKO 1:1        |  | PŘESNOST ISO 2768 |  | PROMÍTÁNÍ          |  |
|  <b>GTW BEARINGS s.r.o.</b><br>Příšov 24, CZ - 330 11 Třemošna u Plzně |  | JMÉNO              |  | DATUM             |  | ČÍSLO VÝKRESU      |  |
|   |  | KRESLIL Haruda     |  | 07.12.2023        |  | INDEX              |  |
| FORMÁT A4   |  | LIST/POČ.LISTŮ 1/1 |  | KONTR.            |  | 671501-02          |  |

NÁZEV

Koule - Vnitřní

Socket

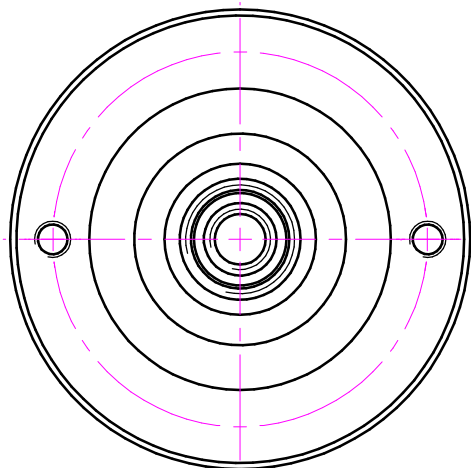
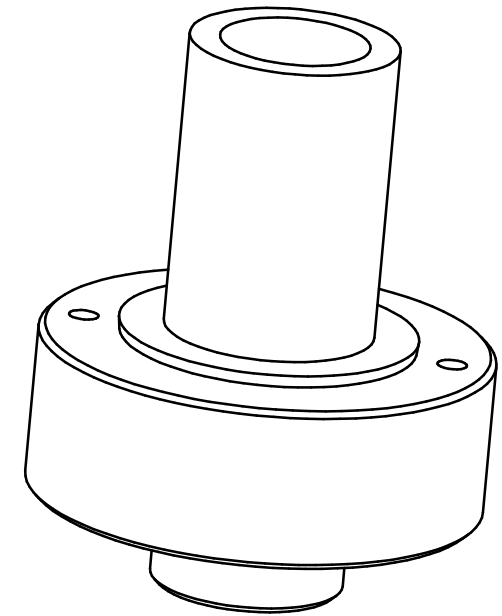
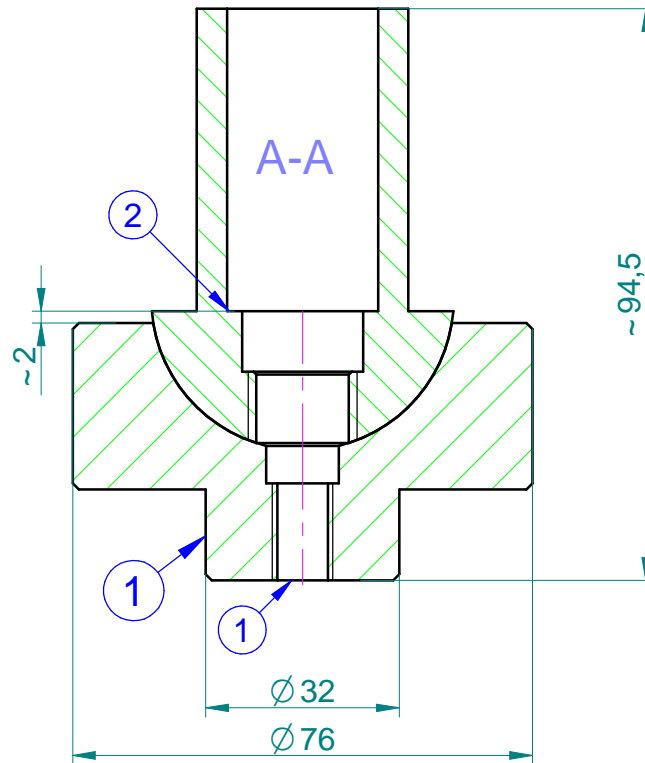
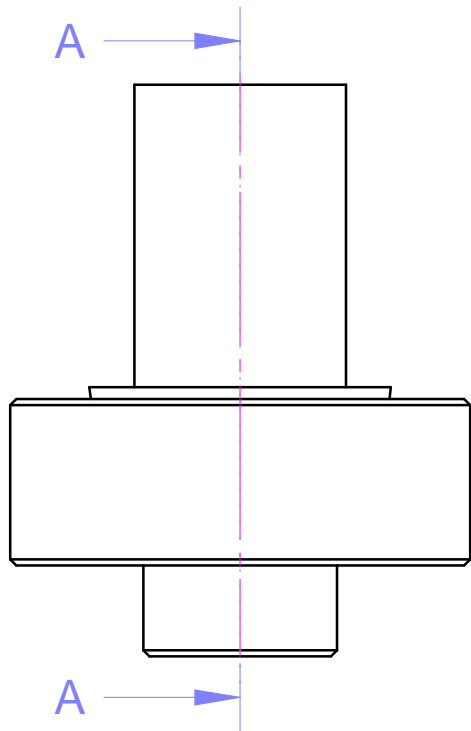
ČÍSLO VÝKRESU

671501-02

INDEX

00





| 2    | Koule - Vnější  | S355 / C45 | 0,4 kg | 671501-101^00 | 1        |
|------|-----------------|------------|--------|---------------|----------|
| 1    | Koule - Vnitřní | 42CrMo4    | 0,9 kg | 671501-102^00 | 1        |
| Poz. | Název           | Materiál   | Váha   | Číslo výkresu | Množství |

|   |                    |                    |            |
|---|--------------------|--------------------|------------|
| DOPLŇ.VÝKR. ; ; ;   |                    |                    |            |
| MATERIÁL  | HMOTNOST 1,1 kg    | ISO 13715          |            |
| ZÁKAZNÍK  | MĚŘÍTKO 1:1,25     |                    |            |
| <b>GTW BEARINGS s.r.o.</b><br>Přišov 24, CZ - 330 11 Třemošna u Plzně |                    | TOLERANCE ISO 8015 | ISO 2768   |
|   |                    | PŘESNOST           |            |
| SAFETY COMMENT DIN 34   |                    | JMÉNO              | DATUM      |
| FORMÁT A4   | LIST/POČ.LISTŮ 1/1 | KRESLIL jharuda    | 07.12.2023 |
|   |                    | KONTR.             |            |

|   |  |           |  |
|---|--|-----------|--|
| NÁZEV   |  | INDEX     |  |
| <b>Sestava-Ball-And-Socket</b><br><b>Chrom a Nikl</b> |  |           |  |
| ČÍSLO VÝKRESU   |  | INDEX     |  |
| <b>671501-100</b>                                     |  | <b>00</b> |  |

A-A

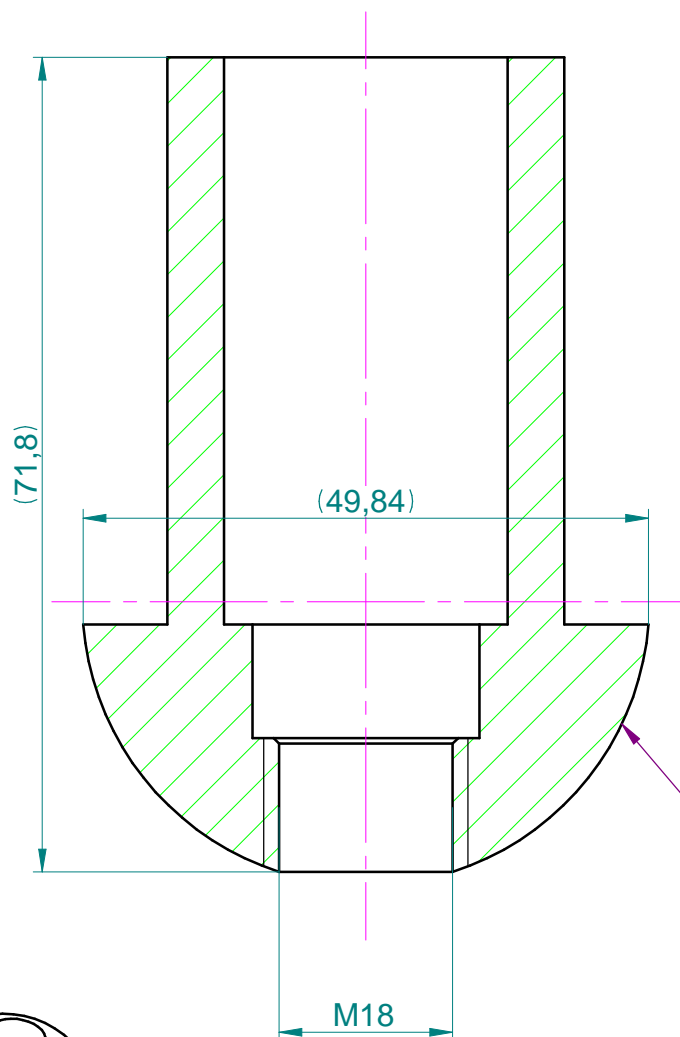
3,2 / 0,4 / 0,2 /  
(▽) (▽) (▽)

Čís. / Nr.

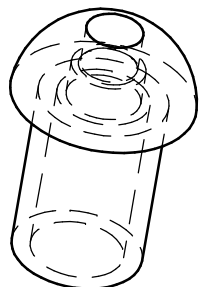
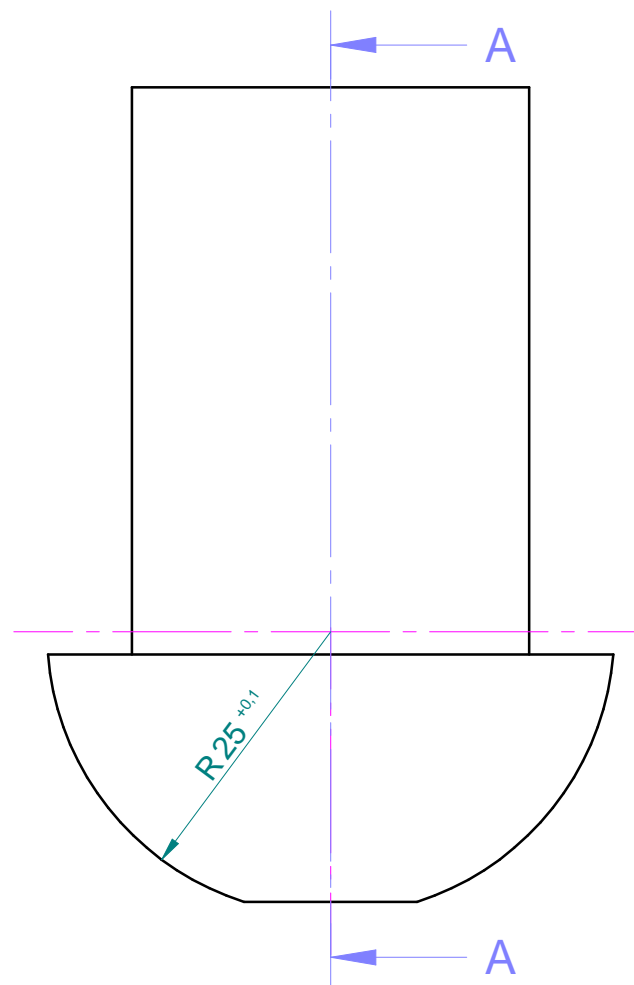
Seznam revizí / List of Revisions

Datum / Date

Autor / Author



Niklovat 15-20µm  
Chromovat 15-20µm



|   |                    |                       |       |
|---|--------------------|-----------------------|-------|
| DOPLŇ.VÝKR. ; ; ;   |                    | TOLERANCE ISO 8015    |       |
| MATERIÁL S355 / C45   | HMOTNOST 0,4 kg    | PŘESNOST ISO 2768     |       |
| ZÁKAZNÍK  | MĚŘÍTKO 1,5:1      | PROMÍTÁNÍ             |       |
|  <b>GTW BEARINGS s.r.o.</b><br>Přišov 24, CZ - 330 11 Třemošna u Plzně |                    | JMÉNO                 | DATUM |
|   |                    | SAFETY COMMENT DIN 34 |       |
| FORMÁT A4   | LIST/POČ.LISTŮ 1/1 | KONTR.                |       |

NÁZEV

Koule - Vnější

Ball

ČÍSLO VÝKRESU

671501-101

INDEX

00



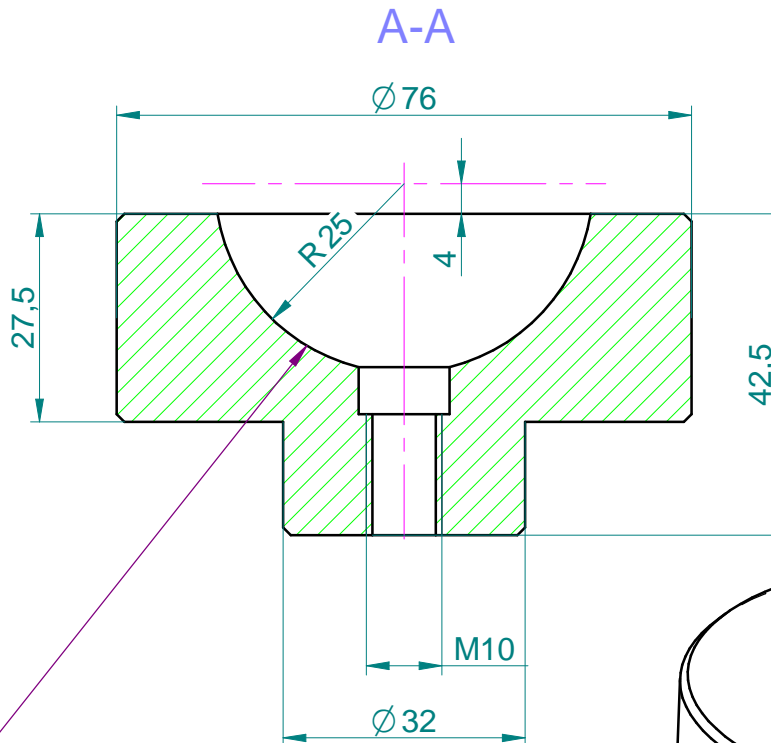
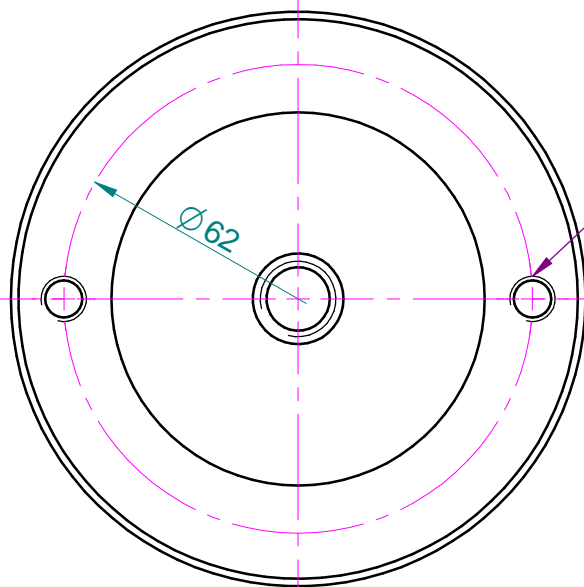
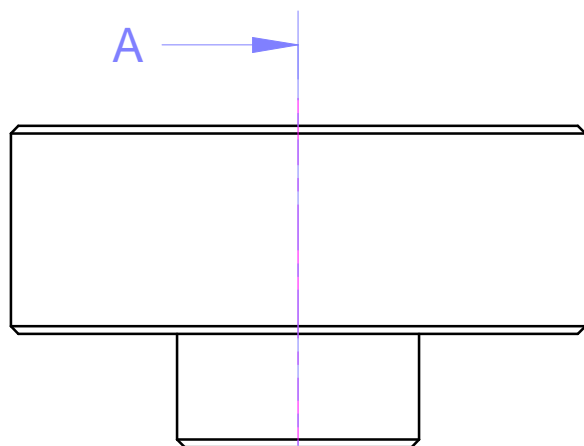
3,2 / 0,2 / 0,8 /  
 ( / / )

Čís. / Nr.

Seznam revizí / List of Revisions

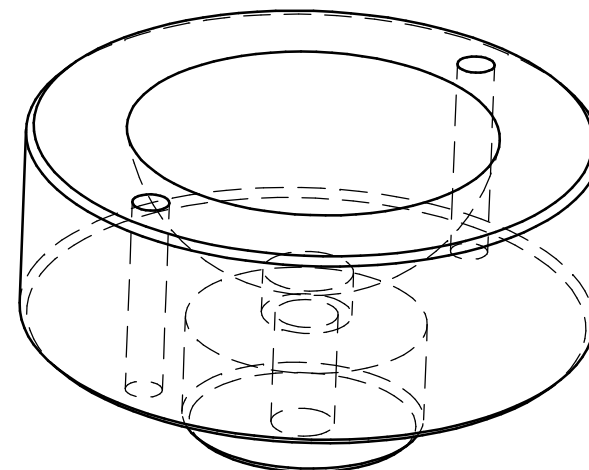
Datum / Date

Autor / Author



--% kontakt s plochou vnitřní koule u dílu 671501-101^00 - Koule (Vnější - Ball)

M6/SKRZ



|   |  |                    |  |                   |  |                    |  |
|---|--|--------------------|--|-------------------|--|--------------------|--|
| DOPLŇ.VÝKR. ; ; ;   |  | MATERIÁL 42CrMo4   |  | HMOTNOST 0,9 kg   |  | TOLERANCE ISO 8015 |  |
| ZÁKAZNÍK  |  | MĚŘÍTKO 1:1        |  | PŘESNOST ISO 2768 |  | PROMÍTÁNÍ          |  |
|  <b>GTW BEARINGS s.r.o.</b><br>Příšov 24, CZ - 330 11 Třemošna u Plzně |  | JMÉNO              |  | DATUM             |  | ČÍSLO VÝKRESU      |  |
|   |  | KRESLIL jharuda    |  | 07.12.2023        |  | INDEX              |  |
| FORMÁT A4   |  | LIST/POČ.LISTŮ 1/1 |  | KONTR.            |  | 671501-102         |  |

NÁZEV

**Koule - Vnitřní**

**Socket**

ČÍSLO VÝKRESU

**671501-102**

INDEX

**00**