



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## ANALÝZA PŘÍČIN ZMETKOVITOSTI PŘI VÝROBĚ LOŽISKOVÝCH KROUŽKŮ VALIVÝCH LOŽISEK

ROOT CAUSE ANALYSIS OF SCRAP DURING PRODUCTION OF BEARING RINGS IN A ROLLER BEARING COMPANY

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavel Studýnka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Jiří Marek, Dr.

BRNO 2017



# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	<b>Bc. Pavel Studýnka</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	<b>prof. Ing. Jiří Marek, Dr.</b>
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Analýza příčin zmetkovitosti při výrobě ložiskových kroužků valivých ložisek**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Při výrobě ložiskových kroužků je třeba analyzovat rozměry od vstupního materiálu, přes výrobní operace jako soustružení, tepelné zpracování, broušení, aj. po dokončovací operace jako honování. Pro úspěšnou výrobu a montáž je nutné vyhodnocování dat a návrhu opatření vedoucí ke snížení počtu vyrobených neshodných výrobků.

### **Cíle diplomové práce:**

1. Souhrnná technická zpráva.
2. Analýza současných výrobních procesů.
3. Sběr a vyhodnocení dat při výrobě ložiskových kroužků.
4. Návrh na úpravu stávajících procesů vedoucí ke snížení počtu vyrobených neshodných výrobků.
5. Technicko ekonomické zhodnocení těchto úprav.
6. Soubor opatření pro snížení počtu neshodných výrobků při přechodu na jiný typ výroby ložisek.

### **Seznam doporučené literatury:**

SHIGLEY, J., MISCHKE, Ch., BUDYNAS., R. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vik. Brno: VUTUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

KREIDL, M. Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu. 1. vyd. Praha: BEN, 2006, 406 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0158-6.

MAZAL, P., PAZDERA, L., SMUTNÝ, J. Identifikace kontaktního poškození materiálů a ložisek metodou akustické emise. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009, 116 s. ISBN 978-8-214-3826-2.

TŮMA, J. Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT. Praha: Sdělovací technika, 1997, 174 s. ISBN 80-901-9361-7

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Práce se bude týkat měření kroužků od vstupního materiálu, přes výrobní operace jako soustružení, tepelné zpracování, broušení, aj. po dokončovací operace jako honování. Práce bude obsahovat mapování výrobních procesů ve firmě na válečková a jehličková ložiska, měření kroužků ložisek, vyhodnocování dat, návrhu opatření vedoucí ke snížení počtu vyrobených neshodných výrobků a technicko ekonomické zhodnocení provedených úprav.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis concerns about measuring of rings of bearings from the input material, throughout machining processes, such as turning, heat treatment, grinding, till finishing operations as honing. Purpose of this thesis is to map all the processes in a roller/needle bearing company, measuring of rings of bearings, evaluating data, propose actions leading to decrease the number of scrap product and technical-economical evaluation of changed processes.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Ložisko, jehličkové, válečkové, výrobní procesy, technický stav, geometrická přesnost, zmetkovitost, FMEA

## **KEYWORDS**

Bearing, needle, roller, processes, technical condition, geometric accuracy, scrap, FMEA



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

STUDÝNKA, P. *Analýza příčin zmetkovitosti při výrobě ložiskových kroužků valivých ložisek.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 88 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Jiří Marek, Dr..





## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat zaměstnancům firmy Koyo Bearings Česká Republika, s.r.o. za umožnění vypracování této práce a za odborné rady. Také bych chtěl poděkovat rodině a moji partnerce pí. Otepkové za podporu při studiu. V neposlední řadě děkuji prof. Ing. Jiřímu Markovi, Dr. za věcné připomínky k mé práci.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Jiřího Marka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 28. 4. 2017

.....

Studýnka Pavel



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>MOTIVACE.....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....</b>	<b>19</b>
3.1	Výroba ložisek .....	19
3.2	Příjem polotovaru .....	20
3.3	Soustružení.....	20
3.4	Tepelné zpracování .....	22
3.5	Broušení .....	24
3.5.1	Broušení čel .....	24
3.5.2	Broušení vnějšího průměru.....	25
3.5.3	Broušení vnitřního průměru.....	26
3.6	Honování.....	27
3.7	Značení ložisek .....	29
3.8	Montáž .....	30
3.9	Balení a konzervace .....	31
3.10	Měření v průběhu procesu výroby .....	31
<b>4</b>	<b>VADY NA LOŽISKOVÝCH KROUŽCÍCH.....</b>	<b>35</b>
4.1	Rozměrová přesnost.....	35
4.2	Geometrické tolerance .....	35
4.2.1	Kruhovitost .....	35
4.2.2	Rovinnost.....	37
4.2.3	Přímost.....	38
4.3	Chybějící materiál po broušení .....	39
4.4	Vryp na čele po broušení .....	39
4.5	Koroze.....	40
4.6	Tvarová deformace kroužků .....	40
<b>5</b>	<b>MĚŘENÝ TYP LOŽISKA .....</b>	<b>41</b>
5.1	Výrobní diagram (FLOWCHART) .....	42
5.2	Statistika neshodných výrobků .....	44
5.3	Zmetkovitost .....	46
<b>6</b>	<b>CÍL PRÁCE .....</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>NÁVRHY NA ZLEPEPŠENÍ.....</b>	<b>49</b>
7.1	FMEA analýza .....	49
7.2	Příjem materiálu.....	50
7.2.1	Vnitřní pnutí materiálu .....	50
7.2.2	Manipulace s materiálem.....	53
7.1	Soustružení.....	55
7.1.1	Výměna sklíčidel .....	55
7.1.2	Podavače trubek.....	57
7.2	Tepelné zpracování .....	58
7.3	Broušení .....	61
7.3.1	Broušení čel .....	61
7.3.2	Broušení vnějšího průměru.....	62
7.3.3	Linky pro broušení vnitřního průměru .....	62

7.4	Balení a expedice.....	63
7.4.1	Koroze .....	63
<b>8</b>	<b>TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROVEDENÝCH ÚPRAV .....</b>	<b>65</b>
8.1	Technické zhodnocení .....	65
8.1.1	Příjem materiálu .....	67
8.1.2	Soustružení .....	67
8.1.3	Tepelné zpracování .....	67
8.1.4	Broušení .....	68
8.1.5	Balení a expedice .....	68
8.2	Ekonomické zhodnocení .....	69
<b>9</b>	<b>OPATŘENÍ PŘI ZMĚNĚ TYPU VÝROBKU .....</b>	<b>71</b>
<b>10</b>	<b>ZHODNOCENÍ A DISKUZE .....</b>	<b>73</b>
<b>11</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>75</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>77</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>79</b>
13.1	Seznam zkratk.....	79
13.2	Seznam symbolů.....	79
13.3	Seznam tabulek.....	80
13.4	Seznam obrázků.....	80
<b>14</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>83</b>

# 1 ÚVOD

Ložiska patří k základním prvkům v téměř každém strojním zařízení a slouží k uchycení a vedení rotujících částí ve strojích. Nejčastějším odběratelem ložisek patří především automobilový průmysl, kde se ložiska uplatňují především v uchycení hřídelí v motoru a v převodovce.

Stále častěji kladou zákazníci čím dál větší nároky především jak na životnost, přesnost, únosnost, ale také i na cenu. Podnik, vyrábějící takové komponenty, musí především naplňovat nároky zákazníků na kvalitu dodávaného výrobku. Současně však také cílí k ziskům, aby byl na trhu konkurenceschopný a mohl dále investovat do výroby.

Jako v každé výrobě, dochází i v ložiskovém průmyslu k výrobě tzv. neshodných výrobků. Jedná se o kusy, které nesplňují požadavky, ať zákazníka nebo interní předpisy podniku. Přestože některé z takto označených kusů, mohou být opraveny, každý takový zásah vede k ekonomickým ztrátám. Z tohoto důvodu je v každém výrobním závodě snaha snížit vznik neshodných výrobků na minimum.

Tato práce v první části představuje výrobní proces výroby ložiskového kroužku, od vstupu materiálu po výstup hotového ložiskového kroužku. Dále se věnuje přehledu obvyklých vad, které se objevují při výrobě. Třetí část práce se týká měřeného typu kroužku, u kterého byla snaha snížení zmetkovitosti. Závěrečná část práce obsahuje doporučená opatření vedoucí ke snížení vyráběných neshodných výrobků spolu s ekonomickým zhodnocením těchto úprav.





## 2 MOTIVACE

Byl jsem v roce 2012 zaměstnán na brigádě ve firmě na výrobu ložisek v Olomouci. Po dopsání své bakalářské práce v témže závodě mi byla nabídnuta spolupráce pokračovat na práci diplomové.

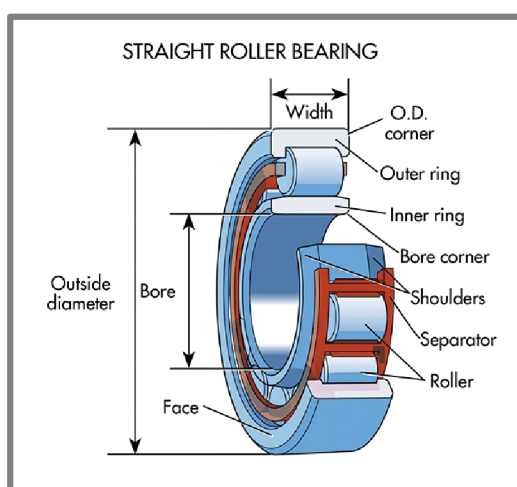
V nedávné době firma obdržela zakázku na výrobu nového typu ložiska. Při této příležitosti mi bylo nabídnuto, abych se podílel na tomto projektu v rámci své diplomové práce. Jelikož se jednalo o nový výrobek, zpočátku se vyskytovaly problémy v podobě velkého počtu vyrobených neshodných kusů. Aby se našla úzká místa výroby a snížila zmetkovitost, bylo mým úkolem tato místa identifikovat a navrhnout opatření, aby k výrobě neshodných kusů nedocházelo.



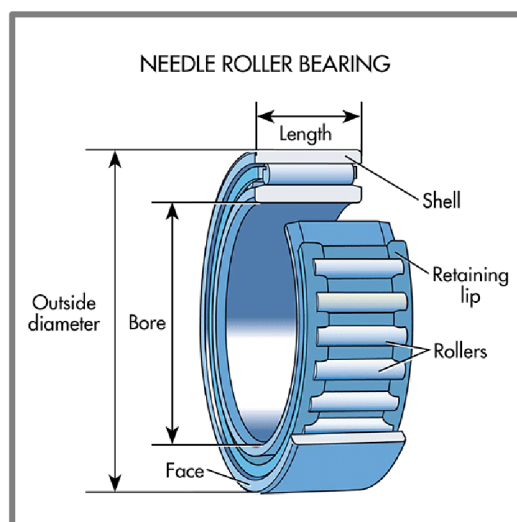
## 3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 3.1 Výroba ložisek

Ložisko je konstrukční součást sloužící k zajištění rotačního pohybu daného prvku a skládá se z kroužků a valivých elementů. V KOYO Olomouc se vyrábí ložiska válečková (Obr. 1) a jehličková (Obr. 2), U prvního typu je valivým elementem váleček, u druhého pak jehlička. Jednou z nejdůležitějších operací při tvorbě takového ložiska je výroba kroužků. Nejčastěji se ložiskové kroužky vyrábějí z polotovaru – ocelové trubky. Ta se pak na CNC soustruzích obrobí do požadovaného tvaru (vnitřní a vnější průměr, šířka, drážky, atd.). Následuje tepelné zpracování kroužků v kalírně. Po tepelné úpravě dochází k broušení a superfiniš. Jednotlivě vyrobené komponenty jsou pak smontovány jako ložisko.



Obr. 1) Válečkové ložisko [16]



Obr. 2) Jehličkové ložisko [16]

### 3.2 Příjem polotovaru

Pro výrobu ložisek je nezbytným polotovarem trubka. V KOYO Olomouc se používají trubky různých rozměrů od jednotek mm do desítek mm. Jedná se o ložiskovou ocel 100Cr6, 100CrMn6 a 100CrMo7,3. Trubky jsou dováženy z železáren a jsou dále uchovány ve skladu (Obr. 3), kde čekají na obráběcí operace, počínaje soustružením.



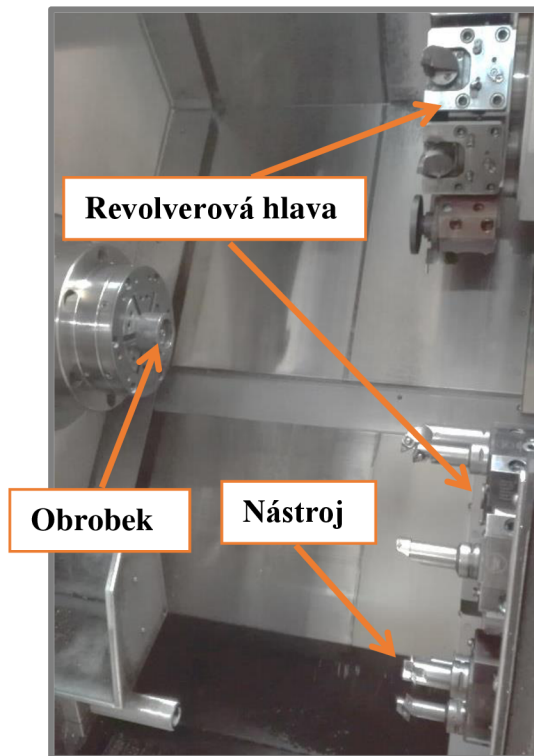
Obr. 3) Sklad polotovarů

### 3.3 Soustružení

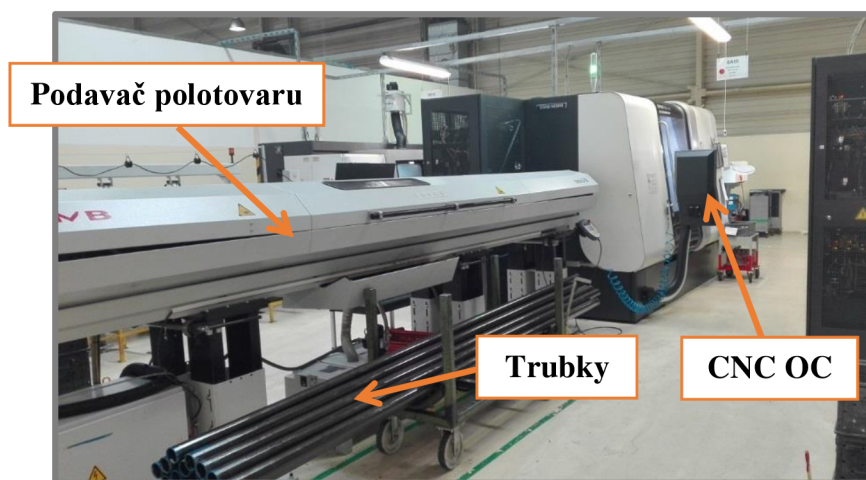
Mezi první obráběcí operace při výrobě ložisek patří soustružení. Při této operaci je obrobek upnut do pracovního vřetene, kde hlavní pohyb při soustružení koná obrobek (rotace) a vedlejší nástroj (translace)(Obr. 4). Díky pohybu nástroje a vysoké obvodové (řezné) rychlosti obrobku je dosaženo požadovaného tvaru. Mezi soustružnické operace patří: [1]

- Hrubování: velký odběr materiálu, krátký strojní čas, vyšší drsnost obrobkové plochy
- Dokončování: malý odběr materiálu, větší strojní čas, menší drsnost obrobkové plochy
- Soustružení zápchů a drážek
- Speciální operace, jako je např. vytlačování šestihranu do čela ložiskového čepu
- Upichování: oddělení obrobku od polotovaru

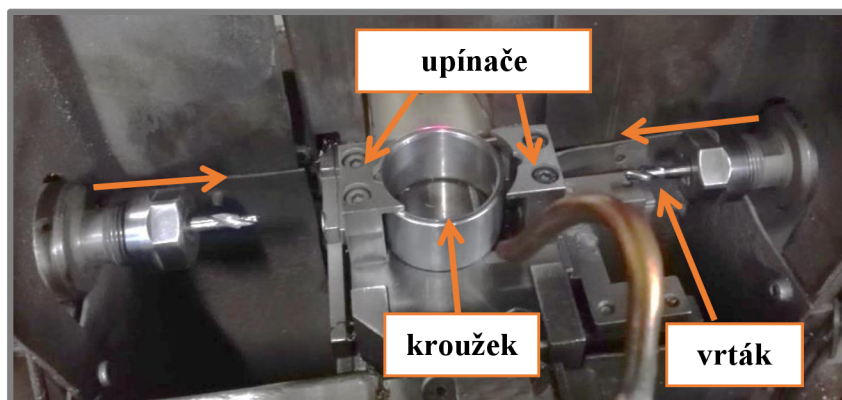
V případě soustružení ložisek obrábíme vnitřní a vnější průměr, upichujeme na požadovanou šířku, případně soustružíme zápchu nebo drážku. Výhodou při soustružnických operacích jsou podávací automaty (Obr. 5), které s velkou přesností podávají polotovar až do místa obrábění. U kusů, kde je požadavek na mazací otvor následuje po soustružení, operace vrtání (Obr. 6). Obrobek je přidržován upínači a nástroj (vrták) vyvrtá otvor včetně sražení díky stupňovitému tvaru vrtáku. Otřepy na opačné straně vyvrtaného otvoru jsou odstraněny soudečkovou frézou. Soustružení a vrtání, popřípadě frézování, tj. operace předcházející tepelnému zpracování jsou také označovány jako operace měkké.



Obr. 4) Soustružení



Obr. 5) CNC jedno vřetenový soustruh



Obr. 6) Vrtání otvorů do kroužků

### 3.4 Tepelné zpracování

Při výrobě ložisek je nezbytnou operací tepelné zpracování. Cílem této operace je zvýšení pevnosti a tvrdosti materiálu. Tepelné zpracování se zpravidla skládá z kalení a následně pak z popouštění. Kalením, tedy ohřevem na vysokou teplotu a následným prudkým ochlazením získá kroužek podstatně vyšší tvrdost, současně se však stane křehčím. Při popouštění je kroužek opět zahříván, tentokrát na nižší - popouštěcí teplotu s výdrží a následným ochlazením na teplotu okolí. Tím dojde k rozpuštění zbytkového austenitu a kroužek tím získá vyšší houževnatost. [9]

Kroužky jsou vsázeny do košů (Obr. 7) a následně projdou pecí. Zde se zahřejí na teplotu od 830 do 870 °C (dle velikosti) s výdrží v peci okolo 20 minut. Aby při pobytu v peci nedocházelo k oduhlíčování materiálu kroužku, je v peci ochranná atmosféra, kdy procento uhlíku v okolí nesmí být menší než jeho obsah v oceli kroužku. Pokud by tomu tak nebylo, docházelo by k úbytku uhlíku z oceli a jeho přechod do atmosféry (oduhlíčení). Nižší obsah uhlíku způsobí, že materiál po zakalení by nedosáhl požadovanou tvrdost. Dostatečný obsah uhlíku v atmosféře (0,9 %C) zabrání těmto pochodům, a uhlík zůstane v potřebné koncentraci pro zakalení.

Ochranná atmosféra se skládá z několika látek:

- metanol ( $CH_3OH$ )
- dusík ( $N_2$ )
- zemní plyn
- vzduch

Po zahřátí a výdrží na teplotě následuje prudké ochlazení v tomto případě do solné lázně o teplotě 180 až 200°C. Solná lázeň se skládá z dusičnanu draselného a dusitanu sodného v poměru 1:1. Tyto soli jsou za normálních podmínek v tuhém stavu a při zahřátí na uvedené kalící teploty dojde k jejich rozpuštění. Aby se nevytvářel tzv. parní polštář, nádrže s lázní jsou promíchávány. Pojem parní polštář označuje bublinu plynu, která se vytváří při odpařování kapaliny okolo kalené součásti. Pokud by se nezamezilo jeho vzniku, součást by se dostatečně neochlazovala a nebyla by dostatečně zakalená. Kalení do soli je výhodné i např. u tenkostěnných kroužků, jelikož je teplota solné lázně vyšší, než kdybychom kalili do vody, teplotní šok na stěny kroužku pak není tak výrazný.

Po ochlazení na teplotu okolí (21°C) je vsázka s kroužky umístěna opět do pece. Nyní však s nižší teplotou mezi 180 až 230°C. Tento proces se nazývá popouštění a je nezbytný pro přeměnu části zbytkového austenitu na terciální martenzit. Popouštěním sice snížíme tvrdost získanou při kalení, avšak zvýšíme houževnatost materiálu. Tvrdost po popouštění dosahuje hodnot  $62 \pm 2$  HRC.

V případě potřeby mohou součásti podstoupit jiná tepelná zpracování, jako např. nitridace, kdy je povrch součásti sycen dusíkem. Při následném kalení vyšší obsah dusíku způsobí zvýšení tvrdosti a vysokou odolnost proti otěru. I když proces nitridování trvá v plynném prostředí desítky hodin, nitridovaná vrstva je poměrně tenká (max. 0,5 mm). [7]

Ve firmě KOYO používají průběžnou kalicí a popouštěcí pec a komorovou pec pro popouštění. Dávky pro sériovou výrobu jsou kaleny v průběžné peci, se vstupem vstup do pece na jedné straně a výstupem na straně opačné. Vsázka je ukládaná do košů, ty jsou pak řazeny za sebou a postupně procházejí pecí. Proces kalení a popouštění je řízen automaticky dle typu zpracovávaného kroužku, kdy se upravují teploty a doba kalení a popouštění.

Pro kroužky o malém objemu se pro popouštění používá komorová kalicí pec. Zde je vsázka ručně vložena do pece jedním vstupem/výstupem pomocí kolového vozíku. Chlazení takto kalených kusů probíhá na vzduchu.



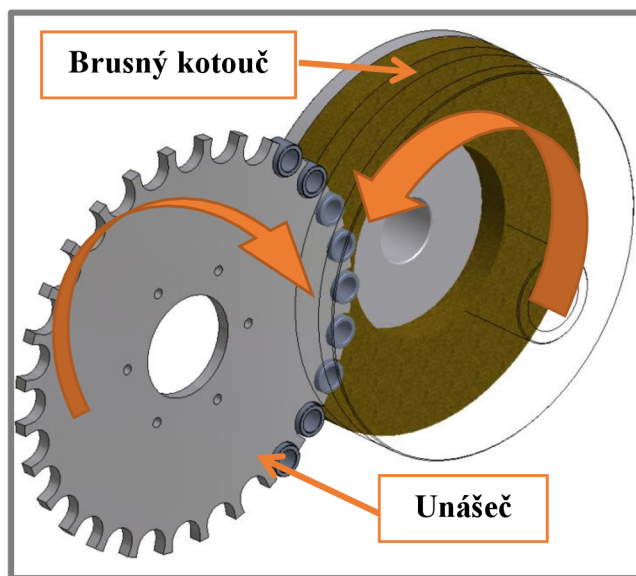
Obr. 7) Vsázka do průběžné pece

### 3.5 Broušení

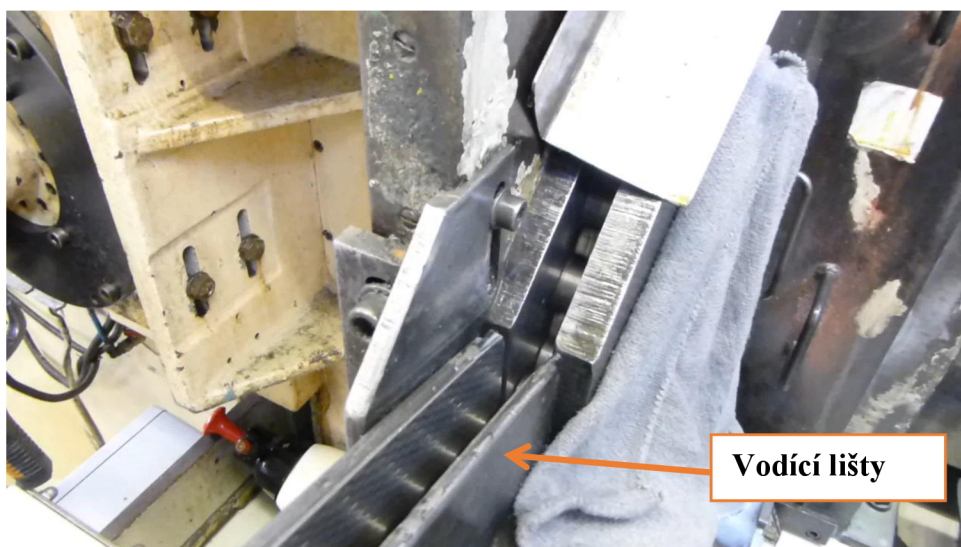
Broušení kroužků ložisek se skládá z operací broušení čel, broušení vnějšího průměru (bezhraté), broušení vnitřního otvoru a honování. Hlavními prvky při broušení je nástroj (brusný kotouč) a obrobek (kroužek ložiska). Při broušení dochází k úběru materiálu v hodnotách desítek  $\mu\text{m}$ . Při broušení vlivem velkého tření mezi nástrojem a obrobkem dochází ke značnému vývinu tepla, z tohoto důvodu pak musí být kotouč a kroužek chlazený. Chladicí kapalina také odvádí obroušený materiál. [4]

#### 3.5.1 Broušení čel

Prvním tzv. tvrdým obráběním je broušení čel. Při této operaci kroužek prochází vodícími lištami (Obr. 9), poté zapadne do drážky unášeče, který projde mezi dvěma brusnými kotouči, čímž dojde k odebrání materiálu na čelech kroužků. Proces broušení je opět souběžný, unášeč se točí v souladu s pohybem brusných kotoučů (Obr. 8). [1]



Obr. 8) Broušení čel

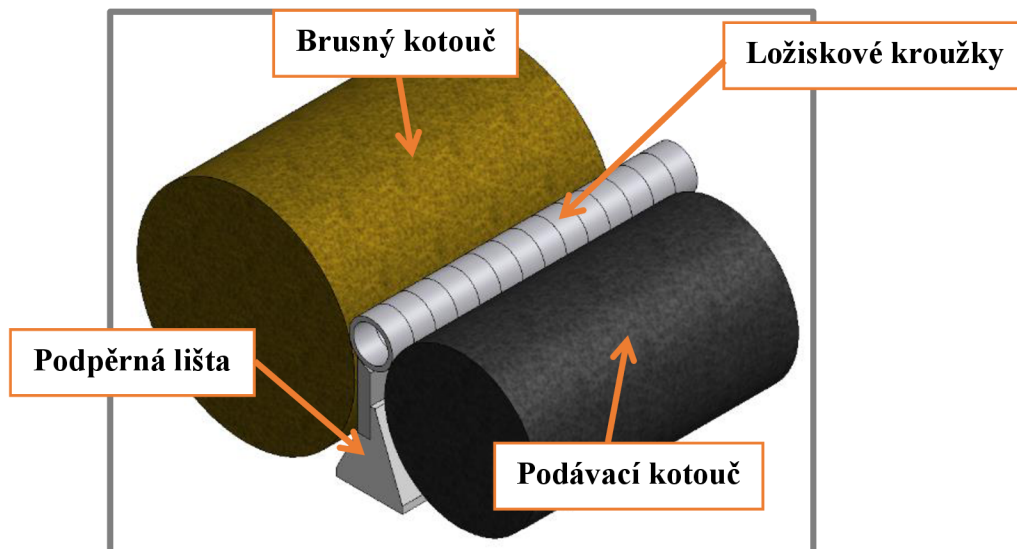


Obr. 9) Vodící lišty k brusce čel



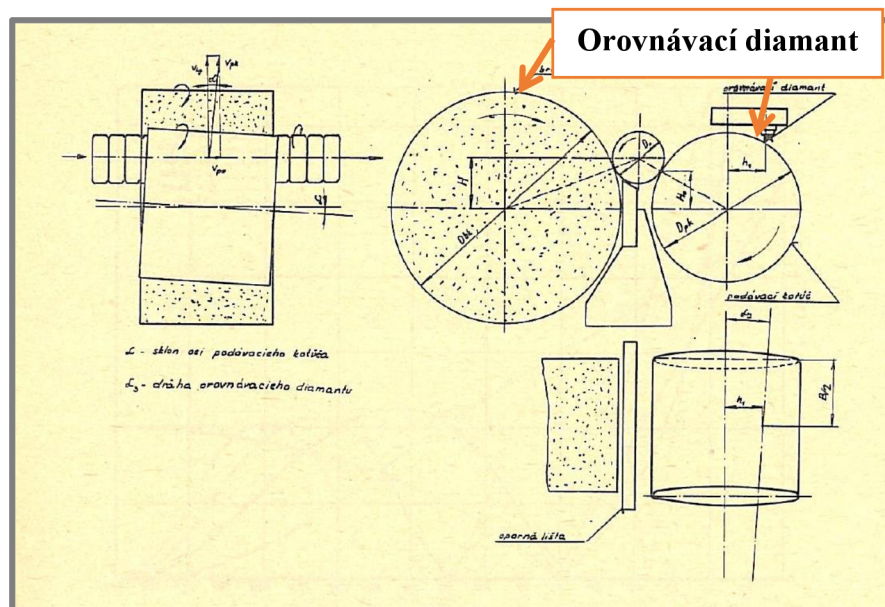
### 3.5.2 Broušení vnějšího průměru

Následující operací je broušení vnějšího průměru (Obr. 10). Kroužek je unášen díky rotaci podávacího kotouče a brousícího kotouče, čímž je také vnější oběžná dráha broušena. Kroužky jsou seřazeny za sebou a díky vzájemnému natočení kotoučů je pohyb obrobků bez nutnosti podavače, či transportního zařízení, zajišťující pohyb obrobku. Tato operace se také nazývá bezhroté broušení vnějšího průměru. [3]



Obr. 10) Broušení vnějšího průměru

Po broušení stanoveného počtu kroužků musí dojít k rovnaní brusného a podávacího kotouče, které se provádí pomocí orovňovacího diamantu (Obr. 11).



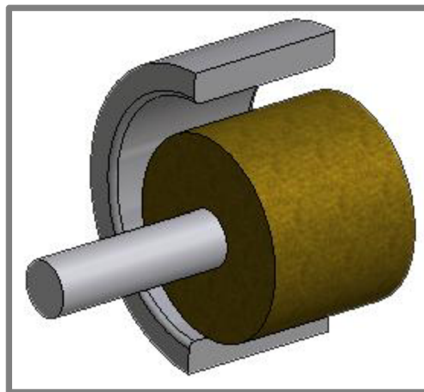
Obr. 11) Vzájemné ustavení při bezhrotém broušení [4]

### 3.5.3 Broušení vnitřního průměru

Následuje broušení vnitřního otvoru (Obr. 12), kdy je kroužek uchycen předem obroušeným čelem na magnetický unášec (Obr. 13), který obrobek uchytí pomocí magnetické síly a vlastní rotací roztočí. Současně je obrobek podepírán dvěma kluznými opěrkami na svém vnějším průměru. Opěrky jsou nastaveny tak, aby byl obrobek vůči magnetickému unášeci nepatrně vyosen. Tento způsob umožňuje dosažení lepší geometrické přesnosti, než by tomu bylo při uchycení kroužku pomocí sklíčidla. Nevýhodou použití magnetického unášece je nemožnost protiběžného broušení, tj. aby otáčky kroužku a brusného kotouče měly opačný smysl rotace. Je to dáno tím, že díky vyosení obrobku vůči unášeci je obrobek vtlačěn do opěrek pouze v jednom smyslu otáčení. Způsob použití upínání na magnetickém unášeci s opěrkami vyžaduje rovněž vysokou kvalitu ploch, broušených na předchozích operacích, zejména velmi dobrou geometrickou přesnost.

Po roztočení kroužku najede brusný kotouč k ploše vnitřního průměru a dojde k broušení. V případě ložiskových kroužků jsou brusný kotouček a kroužek souběžné, tzn. otáčení má stejný smysl. Při broušení otvoru má polotovar otáčky menší otáčky než kotouček.

Z důvodu použití magnetického unášece nelze použít protiběžné broušení, jelikož by brusný kotouč „vytrhl“ kroužek z magnetického unášece. Obroušený materiál se odvádí spolu s chladicí kapalinou, která se přivádí přímo uvnitř magnetického unášece a dostává se tak na potřebné místo chlazení.



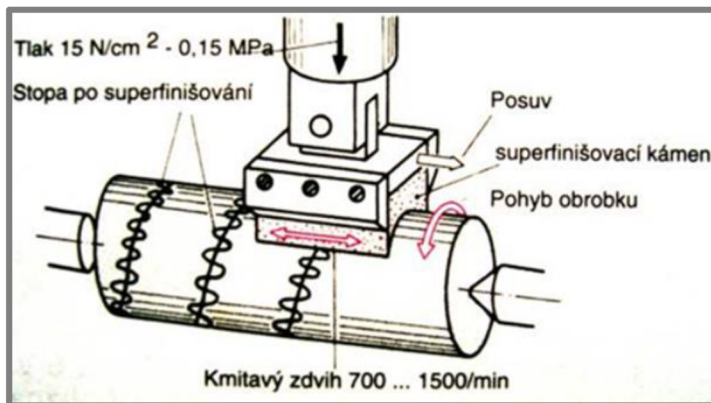
Obr. 12) Broušení vnitřního průměru



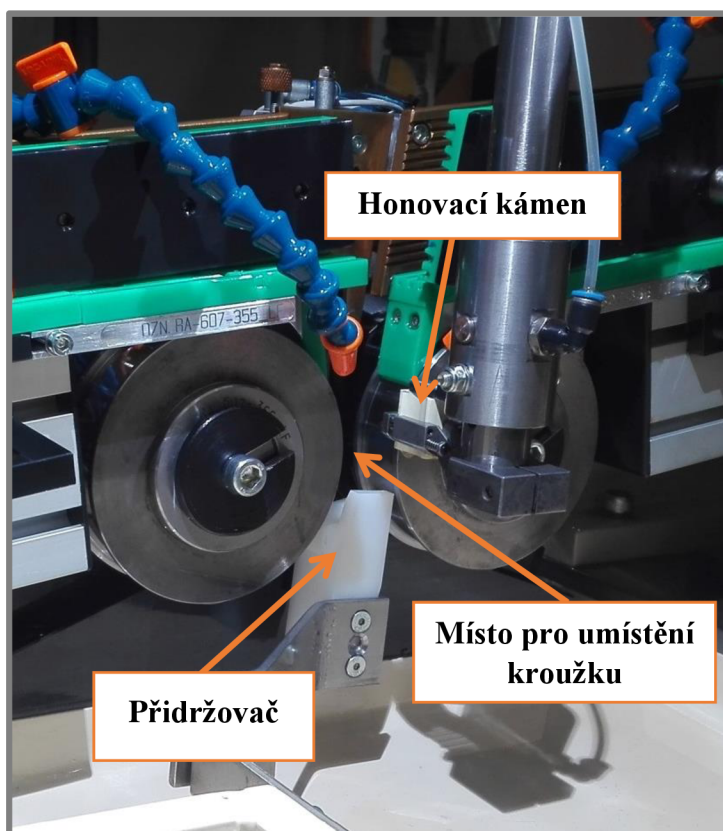
Obr. 13) Broušení vnitřního otvoru

### 3.6 Honování

Pro vyšší přesnost oběžné dráhy ložiska může být kroužek honován (Obr. 14). Jedná se o operaci superfinišování, přičemž je kroužek otáčen přítlačnými kotouči, následuje přiblížení brusného elementu, který kmitavými pohyby brousí požadovanou oběžnou dráhu (Obr. 15). Operace honování ubírá podstatně méně materiálu, než je tomu při broušení. Odebraný materiál je v řádu jednotek  $\mu\text{m}$ , zatímco u broušení je to v desítkách  $\mu\text{m}$ .

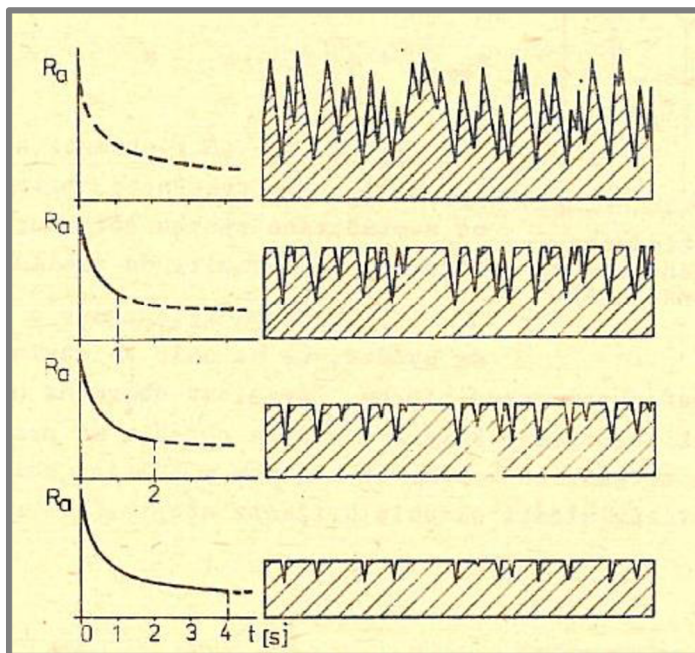


Obr. 14) Honování rotační součásti [4]



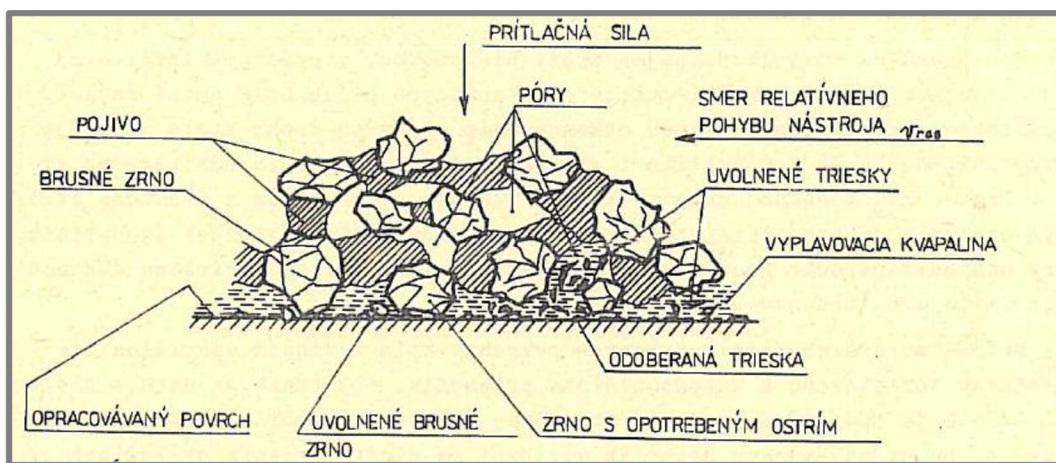
Obr. 15) Honování oběžné dráhy

Princip honování spočívá v broušení výstupků na povrchu dráhy (Obr. 16). Při honování se snižuje drsnost, čímž se zlepšuje kvalita broušeného povrchu. Oproti broušení nedosáhneme honováním tvarové změny. Úběr materiálu závisí na jemnosti honovacího kamene, velikosti přítláčné síly a frekvenci kmitů nástroje. [4]



Obr. 16) Úběr materiálu při honování v závislosti na čase [4]

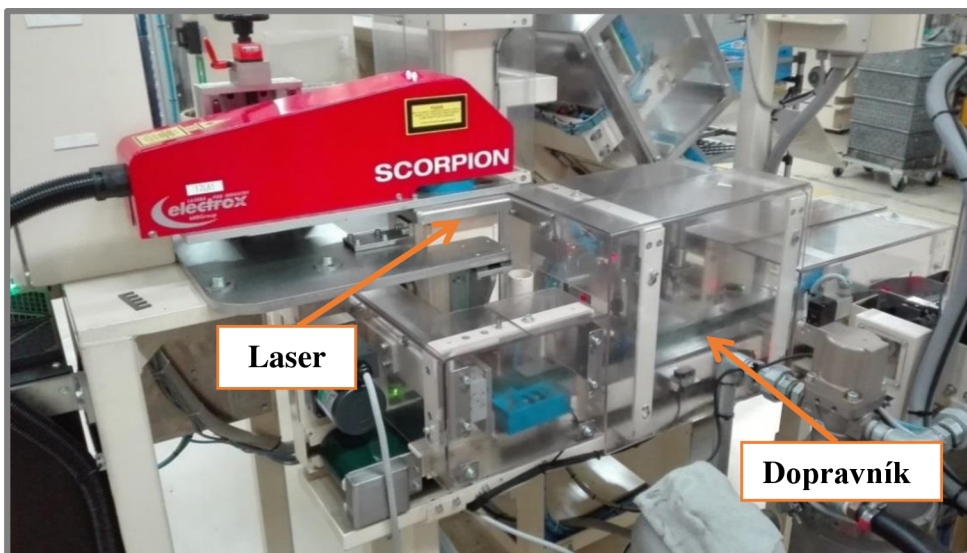
Honovací kámen bývá zpravidla jemnozrnný a skládá se z pojiva brusných zrn. Tato zrna se v průběhu honování vlivem opotřebení uvolňují a jsou odváděna spolu s obrobenými třískami z obrobku. [4]



Obr. 17) Složení honovacího kamene [4]

### 3.7 Značení ložisek

Nezbytnou operací je označení kusů (Obr. 18). Na ložiska se značí typ, rok výroby, výrobní závod, popř. země původu (Obr. 19). Označení se vytvoří díky laserovému paprsku, který „vypálí“ informace na čela kroužků. Jiným způsobem je leptání elektrolyzou, které však není oproti laserovému automatizované, a proto se od něj ve značení ložisek ustupuje.



Obr. 18) Laser pro značení ložisek



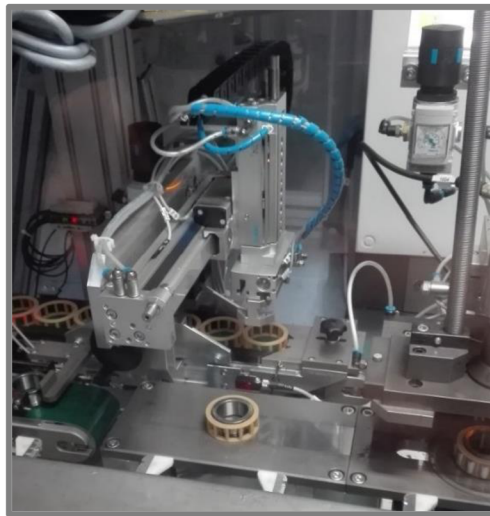
Obr. 19) Označený kroužek

### 3.8 Montáž

Po brousících operacích následuje samotná montáž ložiska. Do vnitřního kroužku se umístí klec (Obr. 21)a), do níž se vloží válečky, či jehličky (Obr. 21)b). Dále je vnitřní kroužek s válečky vložen do vnějšího kroužku. Tímto dojde ke kompletaci ložiska. Kompletace ložiska může být automatizovaná (Obr. 20) díky robotickému ramenu, nebo může být ložisko smontováno operátorem.

#### Typy klecí ložisek:

- Plechová klec
- MHL – transportní kroužek
- Samodržná
- Plastová (Obr. 21)a)



Obr. 20) Automatizovaná montáž ložiska



Obr. 21) a) klec ložiska b) valivé elementy ložiska - válečky[8]

Jako kontrola kompletnosti ložisek, tedy zda ložisku nechybí některý valivý element, se ložiska kontrolují na váze. Váhy jsou nastaveny na hmotnost etalonu a poznají i jeden chybějící valivý element. Pokud by nekompletní ložisko bylo použito v aplikaci, nefungovalo by správně a v krajním případě by mohlo vést k poškození aplikace. Aby se tomuto předešlo, jsou všechna ložiska vážena před expedicí.

### 3.9 Balení a konzervace

Poslední operace je konzervace a expedice ložisek (Obr. 22). Smontovaná ložiska jsou vyprána, aby se zamezilo přítomnosti nečistot, které by mohly způsobit špatné fungování ložiska v aplikaci. Následuje mazání vazelínou u vybraných kusů. Je také nezbytné ložiska konzervovat, aby nedošlo ke korozi a ložiska došla k zákazníkovi v perfektním stavu. Operace konzervování může být u některých typů před značením. Posloupnost těchto operací může být variabilní, končí však vždy expedicí.



Obr. 22) Balení ložisek

Někteří zákazníci preferují vlastní montáž ložiska, vzhledem k možnostem aplikace, proto jim jsou dodávány hotové komponenty, tedy vnitřní a vnější kroužek, případně klec s valivými elementy.

### 3.10 Měření v průběhu procesu výroby

Pro odhalování přítomnosti neshodných výrobků se v průběhu výroby využívá hned několik metod. V první řadě lze využít 100% vizuální kontroly, kdy je každý kus zkontrolován operátorem. Jedná se o metodu, která odhaluje pouze vady jako chybějící materiál (Obr. 23), úkosy, špatné značení.



Obr. 23) Chybějící materiál na vnitřním průměru

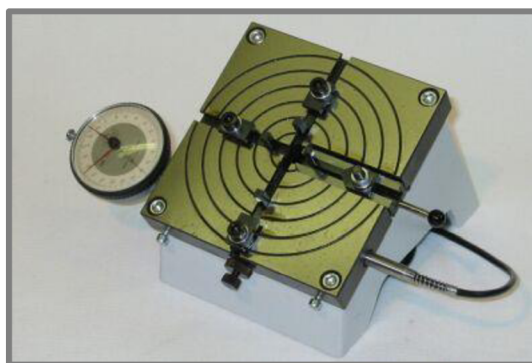
Další měření je automatické měření šířky ložiska před broušením otvoru (Obr. 24), tj. vnitřního průměru. Jedná se o automatickou kontrolu, která je prováděna před vstupem do brusky.



Obr. 24) Měřicí zařízení šířky v lince ID

Pravidelnou mezioperační kontrolou lze odhalit více vad. Při této kontrole se posuzují téměř všechny parametry, mezi nimiž rozměry (vnitřní a vnější průměr, šířka, výška, drsnost, kruhovitost, přímost, ...). Jelikož se jedná o sériovou výrobu a toto měření je časově náročné, bereme z každé dávky pár kusů. Statisticky uvažujeme, že stroj vyrábí danou dávku stejně, tzn. jestliže se vada neprojeví na náhodně vybraných kusech, celou sérii považujeme za správně vyrobenou. Pokud se vada projeví na jednom kusu, měly by být zkontrolovány, případně vyřazeny všechny kusy z dané dávky. Po kontrole se rozhodne, zda mohou být kusy opraveny, či musí být vyřazeny.

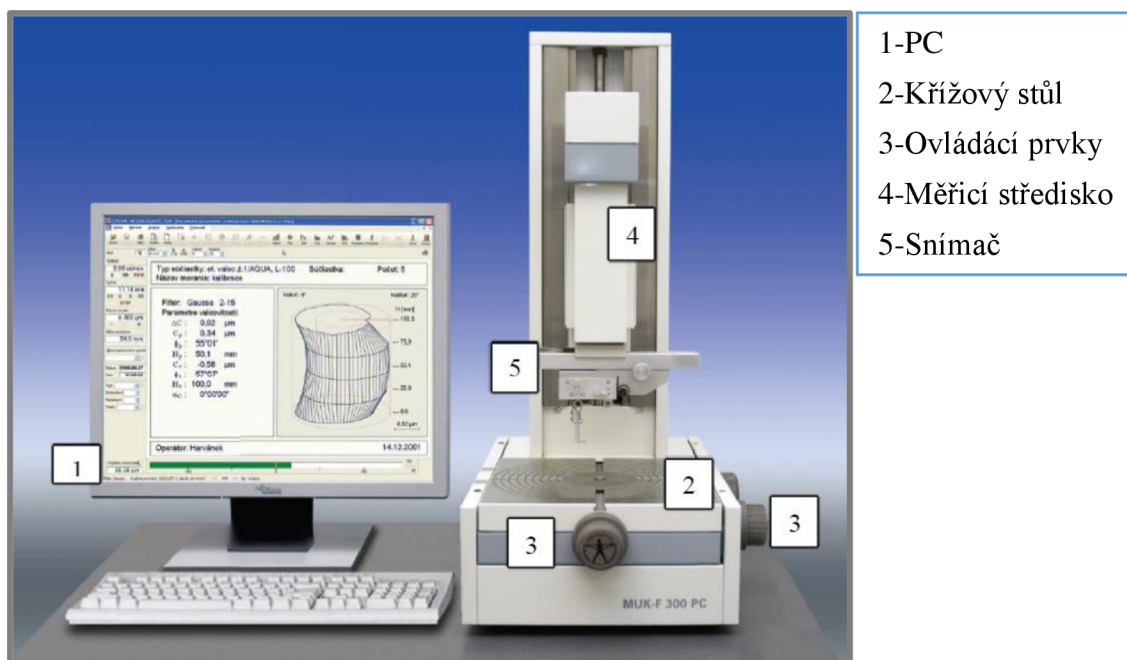
Pro kontrolu rozměrů se používá univerzální dílenské měřidlo. Jedná se o mobilní měřicí univerzální zařízení, které je schopno měřit odchylky vnitřního a vnějšího průměru. Podmínkou je nutná kalibrace na měřený průměr. U každého obráběcího stroje (soustruh, bruska, atd.) je umístěno jedno toto měřidlo.



Obr. 25) Dílenské měřidlo UD100 [15]



Měřicí zařízení MUK-F 300PC (Obr. 26) se využívá pro změření kruhových součástí a to parametrů kruhovitosti a rovinnosti. Měření na tomto přístroji je poměrně zdlouhavé, protože náměr jednoho parametru, např. kruhovitosť vnitřního průměru, jednoho kusu trvá okolo dvou minut. Dále je tento přístroj oproti univerzálnímu dílenskému měřidlu drahý, cena MUK-300F se pohybuje okolo dvou milionů korun, ve výrobním závodě je umístěno pět kusů a je použito pro kontrolu vybraných kusů, či po seřízení stroje, zda vyrábí dle potřebných požadavků. Těchto pět měřidel je umístěno na klíčových uzlech jako výrobního závodu a to na soustružně, brusírně, mezioperační stanici, vstupní kontrole a kvalitě.



- 1-PC
- 2-Křížový stůl
- 3-Ovládací prvky
- 4-Měřicí středisko
- 5-Snímač

Obr. 26) Měřicí přístroj MUK-300F PC [14]

Zařízení pro měření přímosti se provádí stejně jako měření kruhovitosti na vybraných místech závodu a zjišťuje se především tvar oběžné dráhy (viz 4.2.3).

Při balení kroužků, či ložisek probíhá 100% vizuální kontrola označovaná jako konečná kontrola komponent (**KKK**). Tuto kontrolu provádí operátor, který hledá vizuální vady (koroze, chybějící materiál po broušení, vrypy na čelech, aj.) na kroužcích, či ložisku.

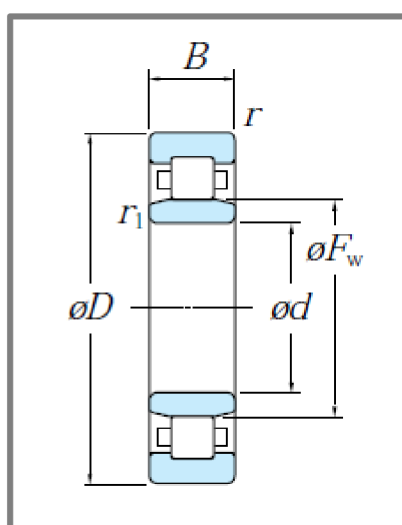


## 4 VADY NA LOŽISKOVÝCH KROUŽCÍCH

### 4.1 Rozměrová přesnost

Mezi základní důvody vyřazení kroužků jako neshodný výrobek patří nedodržení požadovaného rozměru. Měřená veličina, např. vnitřní průměr je mimo toleranci a musí být označen jako neshodný. Takto označené kusy nemusí nutně znamenat jejich vyhození, některé kusy mohou být přebroušeny, či přesoustruženy znovu vzhledem k požadovanému rozměru.

Mezi základní posuzované parametry patří především připojovací rozměry, tj. vnitřní a vnější průměr a šířka (Obr. 27). Na funkčních plochách kroužku, tj. oběžná dráha, po které se pohybují valivé elementy má vyšší nároky na přesnost provedení, což se týká jak rozměrů, tak geometrické přesnosti.



Obr. 27) Ložisko KOYO s připojovacími rozměry [17]

### 4.2 Geometrické tolerance

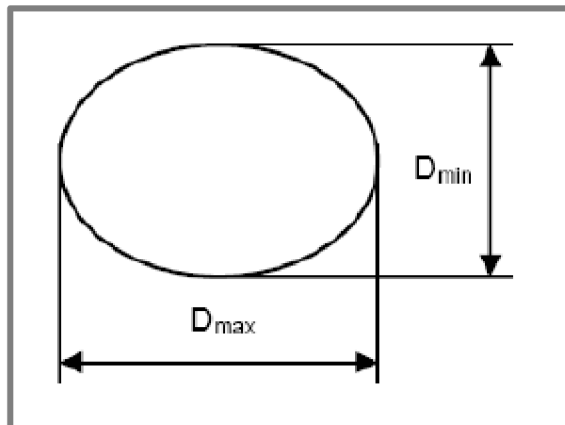
Geometrické tolerance jsou odchylky tvaru a polohy. V rámci výroby ložiskových kroužků mezi odchylky tvaru patří zejména: kruhovitost, rovinnost, přímost, rovnoběžnost. Mezi odchylky polohy pak axiální a radiální házení a souosost. Kvalita povrchu se vyjadřuje parametry drsnosti. [8]

#### 4.2.1 Kruhovitost

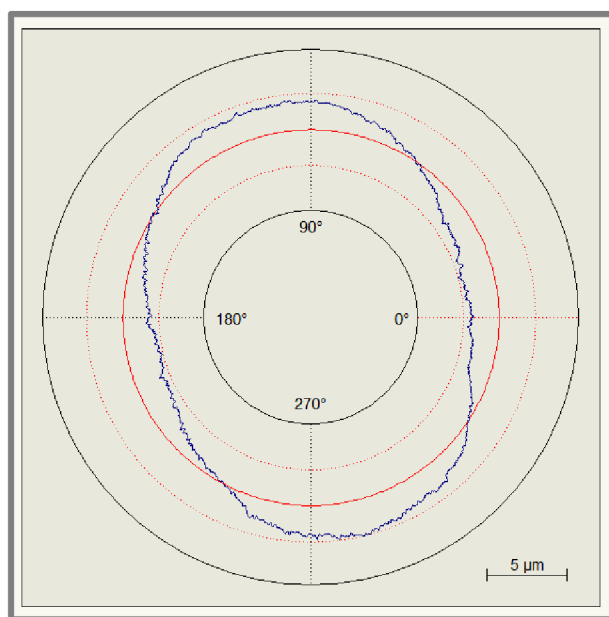
Kruhovitost se u valivých ložisek předepisuje hlavně na oběžných drahách - vnitřní průměr u vnějšího kroužku, vnější průměr u vnitřního kroužku a na vnějším průměru valivého elementu. Předepsaná kruhovitost na těchto plochách výrazně ovlivňuje kvalitu chodu ložiska. Dále se kruhovitost předepisuje na vnějším průměru vnějšího kroužku a na vnitřním průměru vnitřního kroužku. Z pohledu smontovaného ložiska tedy na průměrech, kterými bude ložisko namontováno do aplikace. Zde je hodnota kruhovitosti obvykle řádově větší. Tyto plochy totiž nemají vliv na chod ložiska, dodržení kruhovitosti je nutné pro správnou montáž.

Kruhovitost (Obr. 29) se vytvoří zejména při hrubovacích obráběcích operacích, jako je např. soustružení. Vliv na tvar kruhovitosti může mít zpravidla způsob upnutí (tříčelist'ové sklíčidlo), deformace při manipulaci s materiálem, při řezání nebo při tepelném zpracování.

Pod kruhovitost také spadá tzv. ovalita (Obr. 28), která je definovaná jako rozdíl dvou průměrů v jedné rovině kolmých na sebe. [13]



Obr. 28) Ovalita [13]

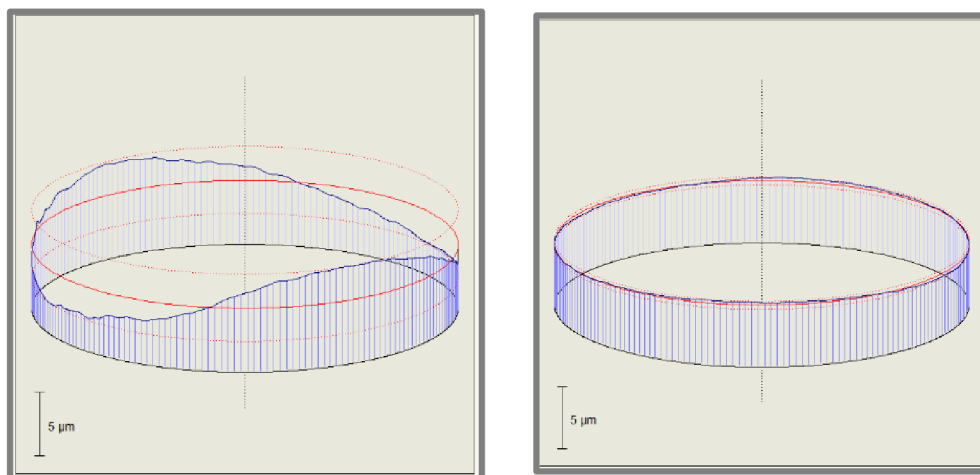


Obr. 29) Reálná kruhovitost-velká ovalita

#### 4.2.2 Rovinnost

Při procesu broušení čela (viz 3.5.1) může docházet k vytvoření nežádoucího konvexně konkávního tvaru profilu (Obr. 30a). Tato vada se nám negativně projeví při broušení vnitřního otvoru. Jelikož je čelo uchyceno při broušení otvoru magnetickým unášěčem, je důležité, aby plocha, která je uchycena měla co nejnižší rovinnost. V opačném případě dochází ke kmitavému pohybu kroužku, což ve finále způsobuje velkou kruhovitost (ovalitu) vnitřního průměru (Obr. 29). Tento vliv se dá eliminovat nahrazením magnetického unášěče sklíčidlem, který se ovšem pro výrobu ložiskových kroužků v sériové výrobě nehodí z důvodu vyššího manipulačního času. Proto se na výkres předepisuje maximální dovolená rovinnost čela. Zvýšená rovinnost je způsobena např.:

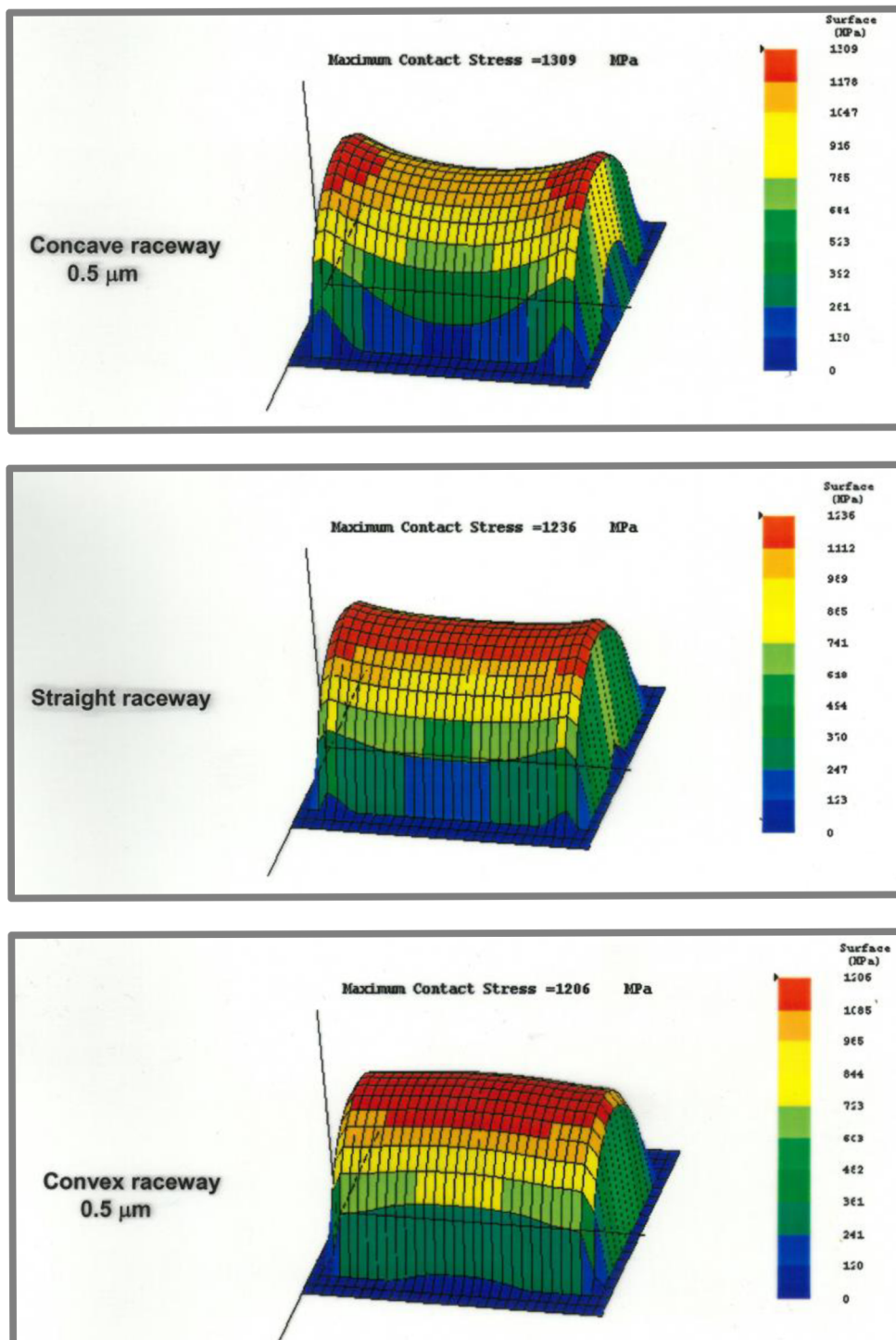
- Špatný úhel sklonu podávacího a brusného kotouče
- Zpříčení kroužku při broušení čela
- Vibracemi při broušení
- Až.



Obr. 30) a) rovinnost čela – nežádoucí tvar, b) rovinnost kroužku - ideální tvar

### 4.2.3 Přímost

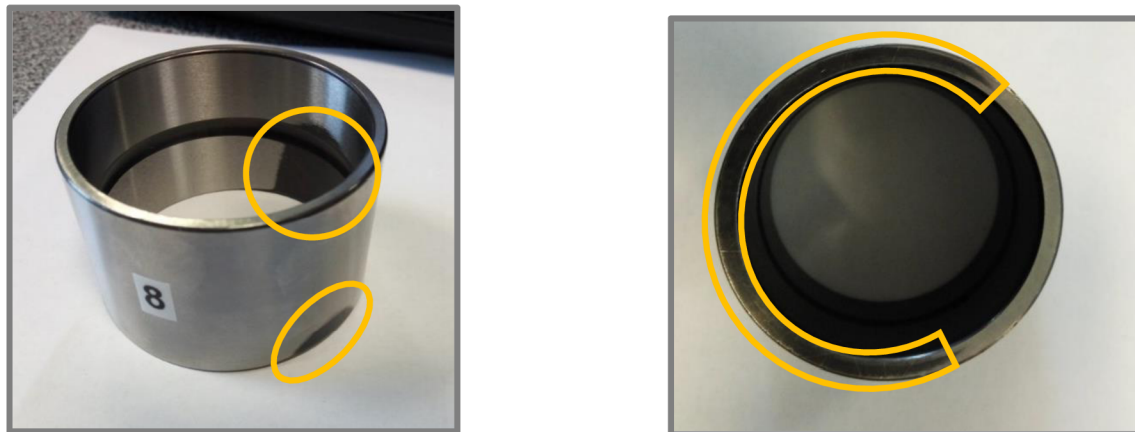
Přímost je důležitým parametrem na oběžných drahách jehličkových a válečkových ložisek, tedy na jejich funkčních plochách. Je nezbytné, aby zatížená plocha, byla tvaru konvexního, jen tak je zaručeno rozložení tlaku na celou plochu, nikoli jen do krajních bodů jako je tomu u tvaru konkávního (Obr. 31).



Obr. 31) Rozložení zatížení při a) konkávním tvaru, b) rovném tvaru, c) konvexním tvaru [8]

### 4.3 Chybějící materiál po broušení

Mezi časté příčiny vyřazení kusů patří chybějící materiál (Obr. 32). K tomuto jevu dochází v případě, že je kus špatně obroušen, což je způsobeno být způsobeno kmitáním kroužku při broušení nebo si kroužek vnesl špatný tvar či rozměr z předchozích operací, např. vlivem tvarových deformací (viz. 4.6) nebo špatně nabroušenými čely kroužků, kvůli čemuž nedošlo k obroušení materiálu.



Obr. 32) a) chybějící materiál na vnitřním a vnějším průměru kroužku, b) chybějící materiál na čele kroužku

### 4.4 Vryp na čele po broušení

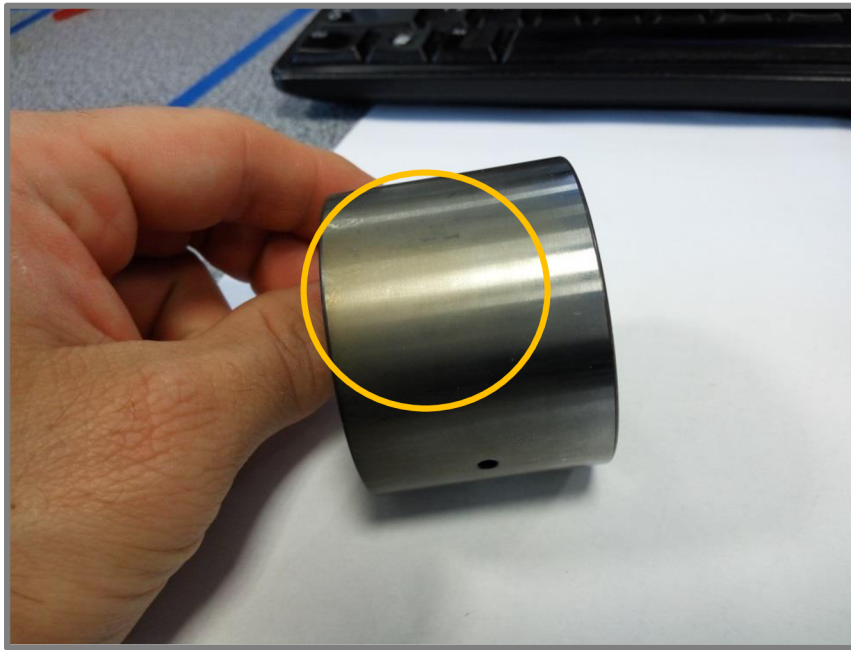
Vrypy na čelech (Obr. 33) jsou způsobeny nevhodnou manipulací s materiálem. K této závadě dochází v hlavní míře při broušení vnějšího průměru, kdy jsou kroužky sypány do podavače. Tato závada se dá odhalit 100% vizuální kontrolou. Předejít by se dalo vhodnější manipulací s materiálem.



Obr. 33) Vryp na čele kroužku

## 4.5 Koroze

Koroze na kroužcích (Obr. 34) se vyskytuje v případech nedostatečného množství konzervační látky nebo kontaminace manipulátorem, či operátorem. Může také být způsobena dlouhým čekáním před postupem na následující operaci, či čekáním na balení a expedici zásilky. Přestože se při broušení využívá emulze s přidanými látkami proti korozi, při dlouhém prostoji tato emulze ztrácí účinek a kroužky korodují.

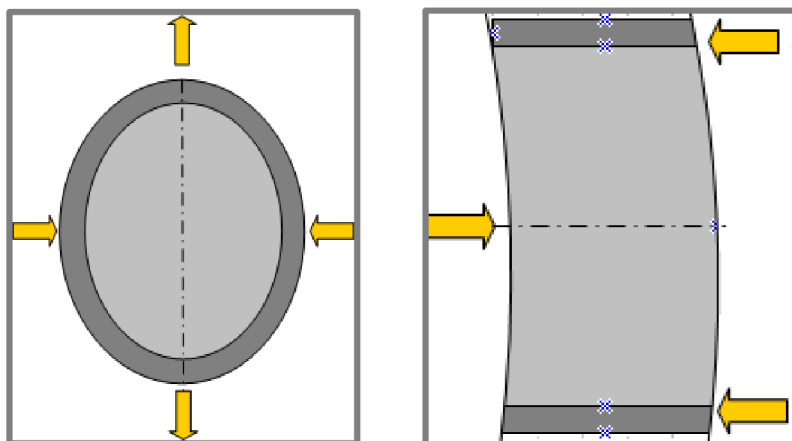


Obr. 34) Rez na vnějším průměru

## 4.6 Tvarová deformace kroužků

Tvarová deformace kroužků (Obr. 35) se projevují vysokou kruhovitostí a rovinností čel. Tyto deformace se přenáší do dalších operací a je náročné je eliminovat. Vlivy na zkroucení materiálu mají především design kroužku, druh použitého materiálu a tepelné zpracování. [13]

V řešení tohoto problému (viz 7.2) jsem se zabýval pouze úpravou procesu tepelného zpracování, jelikož design kroužku je dán zákazníkem a materiál ložiskové oceli lze obměnit jen obtížně.



Obr. 35) Tvarové deformace kroužků

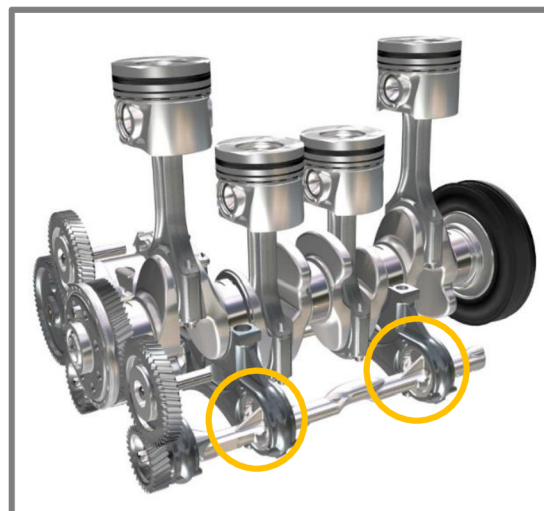
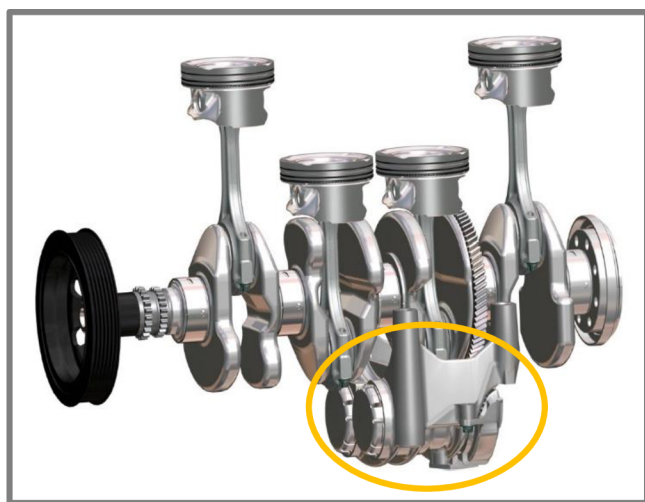


## 5 MĚŘENÝ TYP LOŽISKA

Firmou KOYO byl vybrán zástupce problematického typu kroužku (Obr. 36) nového typu ložiska, u kterého chtějí docílit co nejnižší zmetkovitosti. Takto smontované ložisko skládající se z vnitřního a vnějšího kroužku, plastové klece a valivých elementů (válečků) se používá ve vyvažovací jednotce klikové hřídele (Obr. 37). Pro zákazníka jsou dodávány pouze komponenty (vnější a vnitřní kroužek, klec, jehličky) a složení ložiska probíhá při montáži motoru.



Obr. 36) Vnější kroužek měřeného ložiska

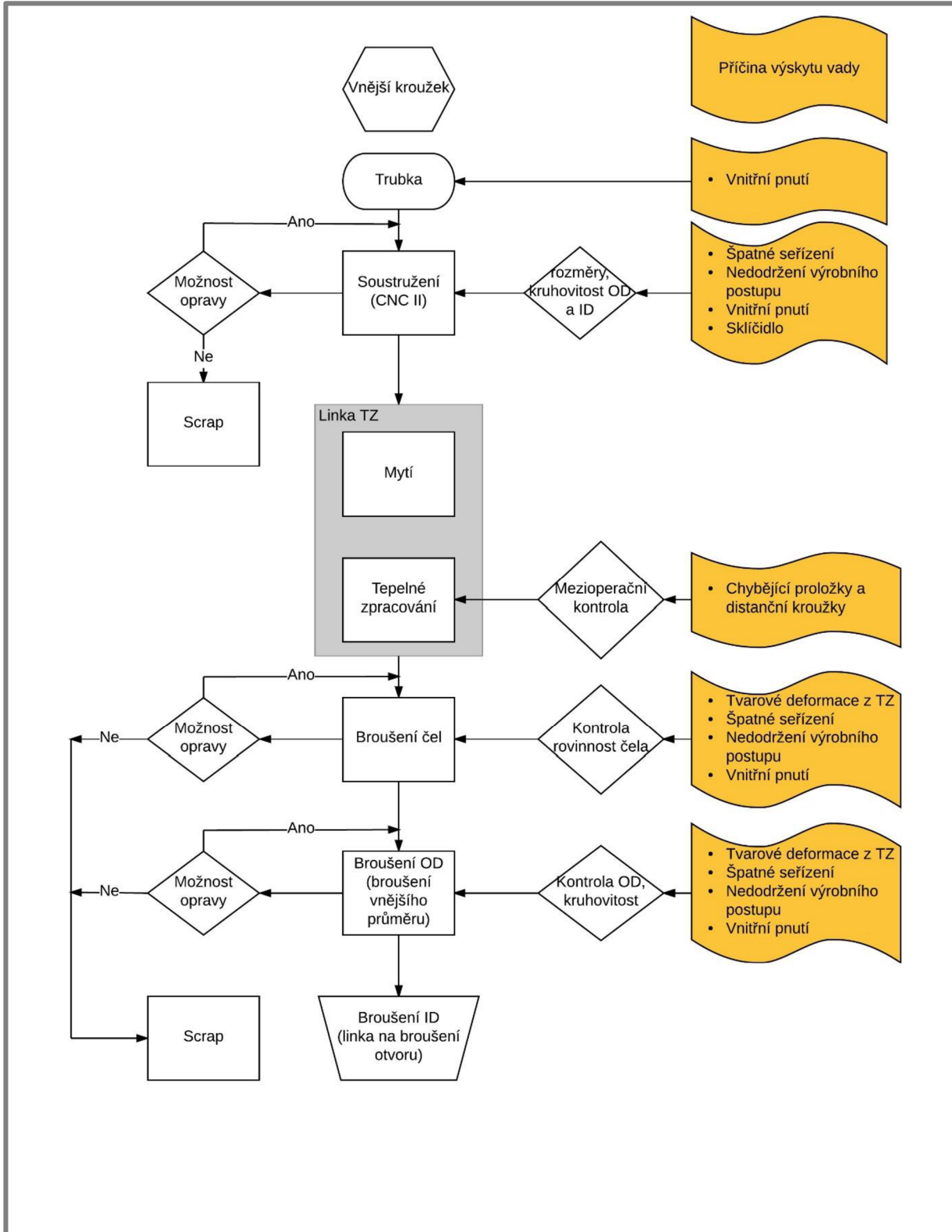


Obr. 37) a) vyvažovací jednotka klikové hřídele-verze 1 [11], b) Schéma motoru s umístěním ložisek-verze 2 [10]

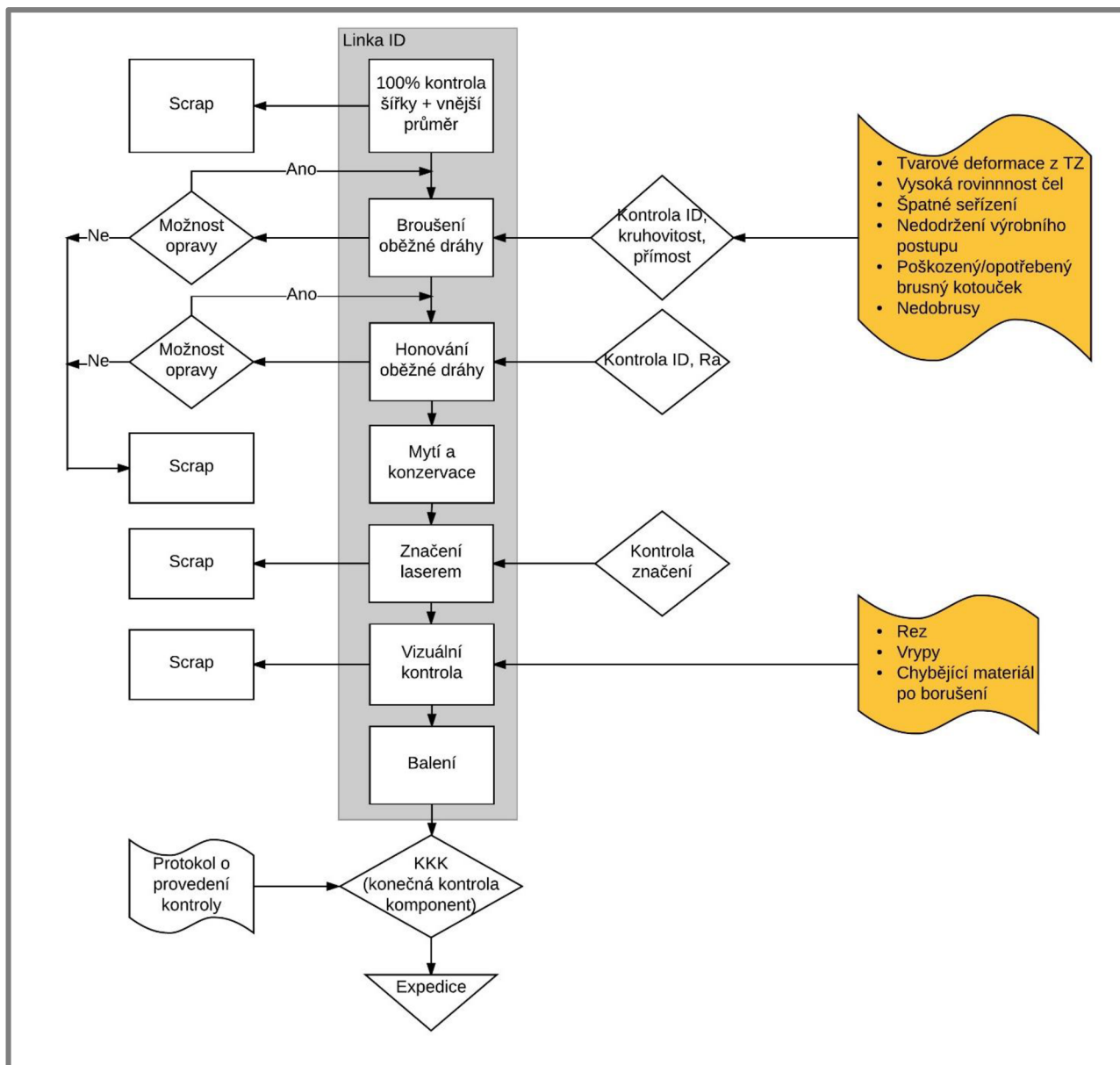
Jelikož se jedná o vnější kroužek ložiska, je klíčová především kvalita funkční plochy, tedy vnitřní průměr kroužku. Na těchto plochách jsou předepisovány kruhovitosti, rovinnosti s protilehlou stranou a rozměrové tolerance v přísnějším měřítku než tomu je na vnějším průměru (připojovací plocha do aplikace).

## 5.1 Výrobní diagram (FLOWCHART)

Výrobní diagram (Obr. 38) (Obr. 39) ukazuje posloupnost operací probíhajících na vybraném kroužku. Od vstupu materiálu po expedici hotového kusu. Broušení otvoru probíhá na lince označené „linka ID“, tedy linka na broušení vnitřního průměru.



Obr. 38) Výrobní diagram 1/2



Obr. 39) Výrobní diagram 2/2

## 5.2 Statistika neshodných výrobků

Vyhodnocením dat lze stanovit úzká místa výroby. Data byla poskytnuta firmou za období patnácti týdnů v období leden až květen 2016 (Tab. 1) .

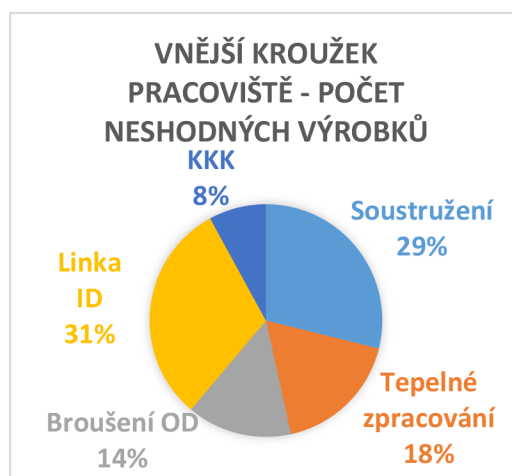
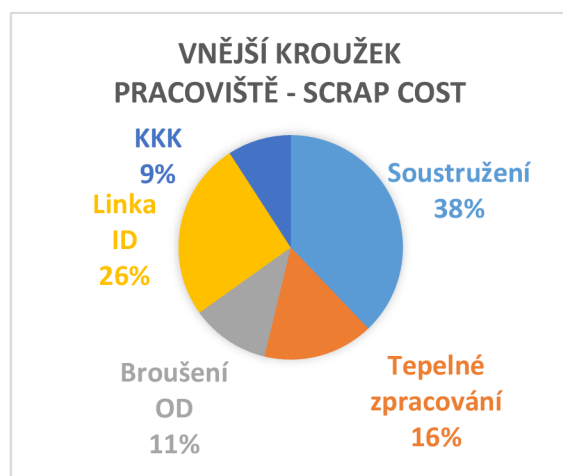
Tab. 1) Neshodné výrobky

<b>Vnější kroužek</b>	<b>Statistika (15 týdnů)</b>		
<b>Důvod vyřazení</b>	<b>Pracoviště</b>	<b>Počet neshodných výrobků</b>	<b>Scrap cost</b>
<b>[-]</b>	<b>[-]</b>	<b>[-]</b>	<b>[Kč]</b>
Konce trubek	Soustružení	[-]	82 540
ID mimo toleranci, kruhovitost ID	Soustružení	989	17 445
OD mimo toleranci, kruhovitost OD	Soustružení	1820	33 901
Vizuální vady	Soustružení	270	5 775
Šířka mimo toleranci	Soustružení	149	4 259
Špatné seřízení CNC	Soustružení	59	1 261
Kruhovitost	Tepelné zpracování	694	26 125
Tvarová deformace	Tepelné zpracování	1 318	34 892
OD mimo toleranci	Broušení OD	874	19 387
OD kruhovitost	Broušení OD	749	22 540
Vizuální vady OD	Broušení OD	38	1 542
Vizuální vady (vrypy, chybějící materiál po broušení)	Linka ID	558	14 526
ID kruhovitost	Linka ID	2433	83 227
ID mimo toleranci	Linka ID	522	893
Vady na povrchu (rez, vrypy)	KKK	906	35 037
<b>Celkový počet</b>		<b>11379</b>	<b>300 810</b>

V Tab. 2) můžeme pozorovat, na kterém výrobním pracovišti byl výrobek vyřazen, důvody vyřazení a počty kusů a zakázek. Dále je v tabulce vyobrazena cena (scrap cost) za vyřazení výrobku, která vychází z interní směrnice podniku.

Tab. 2) Neshodné výrobky dle pracoviště

Pracoviště	Důvody vyřazení	Počet neshodných výrobků	Scrap cost
[-]	[-]	[-]	[Kč]
Soustružení	ID a OD mimo toleranci; kruhovitost ID a OD; vizuální vady; šířka mimo toleranci, konce trubek	3287	145 181
Tepelné zpracování	Tvarové deformace, kruhovitost ID a OD	2012	61 017
Broušení OD	OD mimo toleranci; OD kruhovitost	1661	43 469
Linka ID	Vizuální vady (vrypy, chybějící materiál po broušení), ID kruhovitost, ID mimo toleranci	3513	98 646
KKK	Vady na povrchu	906	35 037
<b>Celkový počet</b>		<b>11379</b>	<b>383 350</b>

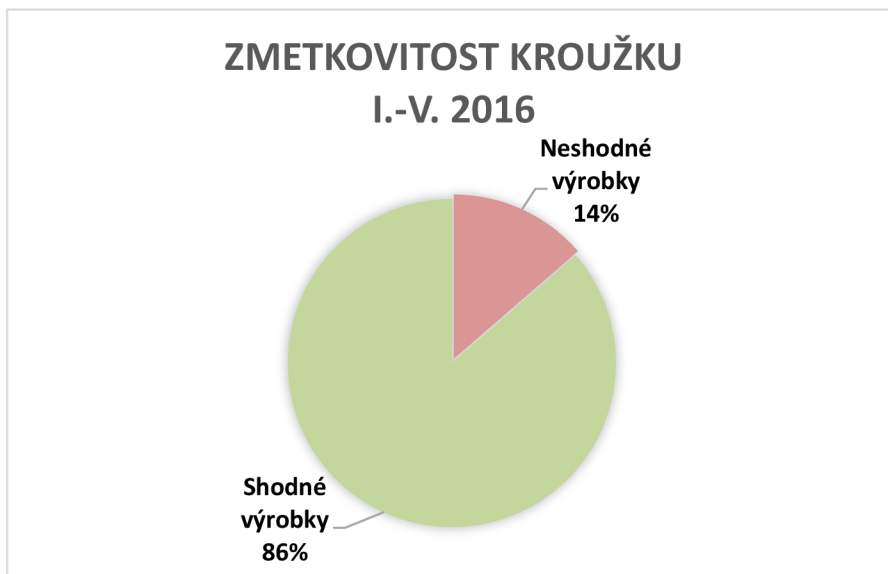


Obr. 40) a) graf scrap cost, b) graf počet neshodných výrobků

### 5.3 Zmetkovitost

Zmetkovitost je vyjádření počtu vyrobených neshodných výrobků. Jedná se o vyjádření hodnoty, která značí v procentech počet kusů, které neprošly výrobou na jeden průchod, tj. bylo na nich nutné provést opravy v průběhu výroby, nebo byly vyřazeny, respektive vyhozeny. Přestože je kus označen jako neshodný, nemusí to nutně znamenat jeho vyhození. Do jisté míry mohou být kusy opraveny, tedy projít operaci znovu, případně být opraveny jinak.

Přestože se zmetkovitost pohybuje okolo 14% (Obr. 41), jedná se o nový výrobek a proto je toto číslo v současné době akceptovatelné. Cílem je vyrobit více než 99% výrobků bez nutnosti opravy, či jejich vyhození, tzn. projít výrobními procesy na jeden průchod.



Obr. 41) Zmetkovitost výrobku-původní

## 6 CÍL PRÁCE

Ve výrobě dochází k mnoha vlivům, které vedou ke zmetkovitosti. Z ekonomického hlediska je každý vyrobený neshodný výrobek ztrátou pro výrobce. Proto je snaha předcházet výrobě neshodných výrobků. Každý neshodný výrobek, který je vyroben a není případně odhalen, může vést k reklamaci zákazníkem, v krajním případě pak poškození strojní součásti, ve které je montován. Cílem této práce je zmapování celého výrobního procesu, vyhledání úzkých míst, které mají na zmetkovitost největší vliv a vytvoření opatření, které zamezí výskytu těchto chyb při výrobě.

Dále je nezbytné provést technicko ekonomické zhodnocení provedených úprav a ověřit, že tyto úpravy procesů vedly ke snížení počtu vyrobených neshodných výrobků.

**Cílem práce je zmapování celého výrobního procesu, vyhledání úzkých míst, které mají na zmetkovitost největší vliv a vytvoření opatření, aby se tyto chyby už nevyskytovaly.**





## 7 NÁVRHY NA ZLEPŠENÍ

### 7.1 FMEA analýza

Na vyhledávání, posuzování a návrh na úpravu procesů se FMEA analýza jeví jako nejvhodnější. Z dat poskytnutých firmou jsem vytvořil analýzu kritických míst a navrhl úpravy. Návrhy na zlepšení vycházející z analýzy FMEA umístěné v příloze. Hodnoty závažností, výskytů a pravděpodobností odhalení vycházejí z konzultací s oddělením kvality podniku.

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) je analýza, při které se do tabulky zapisují místa vzniku poruchy, potenciální chyba a příčina výskytu této poruchy, současný kontrolní stav a doporučená opatření. Důležitost těchto závažnost, výskyt, pravděpodobnost odhalení a jejich součet (PRČ). [5]

- Atribut/systém/výroba – druh operace, např. Příjem polotovaru
- Potenciální chyba – jaká chyba/vada může nastat, např. Polotovar je mimo toleranci
- Potenciální následky – co může potenciální chyba způsobit, např. nepřesné soustružení
- Potenciální příčiny – co způsobilo potenciální chybu, např. Nevhodné technologické procesy u dodavatele
- Současný stav – současný způsob odhalení chyby
- Závažnost – číselně od 1 do 10, čím větší, tím závažnější
- Výskyt chyby - číselně od 1 do 10, čím větší, tím častější výskyt
- Pravděpodobnost odhalení - číselně od 1 do 10, čím větší, tím obtížnější odhalení chyby
- PRČ – součin závažnosti, výskytu a pravděpodobnosti, čím vyšší číslo tím je celkově chyba klasifikována jako závažnější [5]

Atribut/ systém Výroba	Potenciální chyba	Potenciální následky chyby	Potenciální příčiny chyby	Současný stav: Preventivní a kontr. opatření				Doporučené opatření	Závažný termín	Zlepšený stav: Vhodná opatření	Zá				PRČ
				Zá	Vý	O	PRČ				Zá	Vý	O	PRČ	
Příjem polotovaru	Dodaný polotovar mimo rozměrovou toleranci	Nepřesné soustružení	Dodavatel neprovádí výstupní kontrolu polotovaru	Náhodná kontrola polotovaru při vstupní kontrole	7	4	5	140	Častější kontrola rozměrů polotovaru	Každá dodávka	Kontrola rozměrů každého dodaného polotovaru	7	4	2	56
			Nevhodné výrobní procesy u dodavatele	Audity u dodavatele 1 krát za rok	7	4	4	112	Audity u dodavatele	Čtvrtletně	Častější kontrola výroby u dodavatele polotovaru	7	4	3	84
	Vnitřní pnutí polotovaru	Tvarové deformace, nestálost rozměrů	Nestálá kvalita dodávaného polotovaru z důvodu více dodavatelů	X	5	5	4	100	Upozornit dodavatele na špatnou kvalitu, pokud nedojde ke zlepšení vybrat jednoho výhradního dodavatele	10.1.2017	V případě jednoho dodavatele: Audity pouze u jednoho dodavatele, zamezení variability kvality dodávaného polotovaru	5	2	4	40
			Nevhodné výrobní procesy u dodavatele	Audity u dodavatele 1 krát za rok	7	5	6	210	Častější měření vnitřního pnutí, častější kontroly u dodavatele	Každá zakázka	Měření vnitřního pnutí každé dodané zakázky	2	5	3	30
			Nevhodné skladování materiálu	Vstupní školení obsluhy pro práci s materiálem	6	5	6	180	Standardizované skladování materiálu dle 5S	10.11.2017	Standardizovat postupu pro manipulaci s materiálem, vytvořit pracovní postupy	6	3	3	54
			Nevhodné manipulace s materiálem (pád,...)	Základní pokyny pro práci s materiálem	6	5	5	150	Vytvoření 5S pro manipulaci s materiálem	10.11.2017	Návodka pro obsluhu se správnou manipulací s materiálem	6	3	3	54

Obr. 42) FMEA pro příjem polotovaru

## 7.2 Příjem materiálu

### 7.2.1 Vnitřní pnutí materiálu

Mezi první problémy patří vnitřní pnutí dodávaného materiálu z oceláren. Vnitřní pnutí způsobuje nestálost rozměrů po technologických úpravách jako je soustružení nebo tepelné zpracování a také ke tvarovým deformacím. Jedná se o nežádoucí jev, a pokud dojde ke tvarovým deformacím, či k nestabilitě rozměrů může se stát, že kusy budou vyřazeny jako neshodné výrobky. Oprava je možná pouze v některých případech u kusů, u kterých došlo „pouze“ ke změně rozměrů. Nastávají krajní případy, kdy kusy mají tak velké tvarové deformace, že musí být vyhozeny.

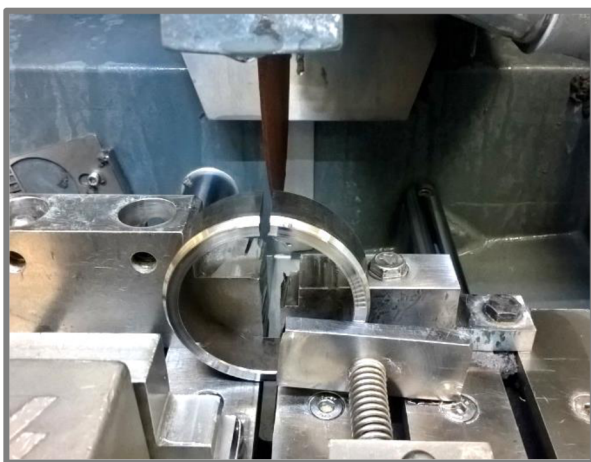
Vnitřního pnutí materiálu se dá eliminovat již při výrobě trubek a to žiháním pro odstranění vnitřního pnutí, které spočívá v zahřátí na teplotu 550 až 600° C, výdrži a pomalému ochlazení. Pokud dodavatel např. zkrátí dobu ohřevu, čímž si sníží náklady, ale vnitřní pnutí nebude dostatečně odstraněno.

V některých případech se vnitřní pnutí vnáší do materiálu nevhodnou manipulací. Např. nedostatečné zapáskování při transportu trubek a zamezení jejich „pružení“ v průběhu přepravy.

Měření vnitřního pnutí začíná u přejímky polotovaru ve skladu výrobního závodu. Z trubky uřežeme vzorek o velikosti stanovené dle výkresu. Nejprve změříme kruhovitosť na vnitřním a vnějším průměru. Následuje destruktivní zkouška, kdy měřený kroužek podélně nařezeme (Obr. 43)a). Tloušťka řezného kotouče a otáčky jsou stanoveny dle průměru kroužku. Pro měření byly stanoveny hodnoty dle Tab. 3) Hodnocení spočívá v měření roztažení mezery po rozříznutí. Velikost této mezery, od které se odečítá velikost kotouče, musí být ve stanovené toleranci. Pakliže je mezera větší, respektive menší než povolená tolerance, je zřejmé, že materiál obsahuje velké vnitřní pnutí.

Tab. 3) Zvolené hodnoty řezného nástroje pro měření vnitřního pnutí

<b>Průměr kotouče</b>	<b>Tloušťka kotouče</b>	<b>Řezná rychlost</b>
<b>[mm]</b>	<b>[mm]</b>	<b>[m/min]</b>
Ø 300	1,60	900



Obr. 43) a) rozřezání kroužku pro změření vnitřního pnutí, b) měření mezery posuvným měřidlem

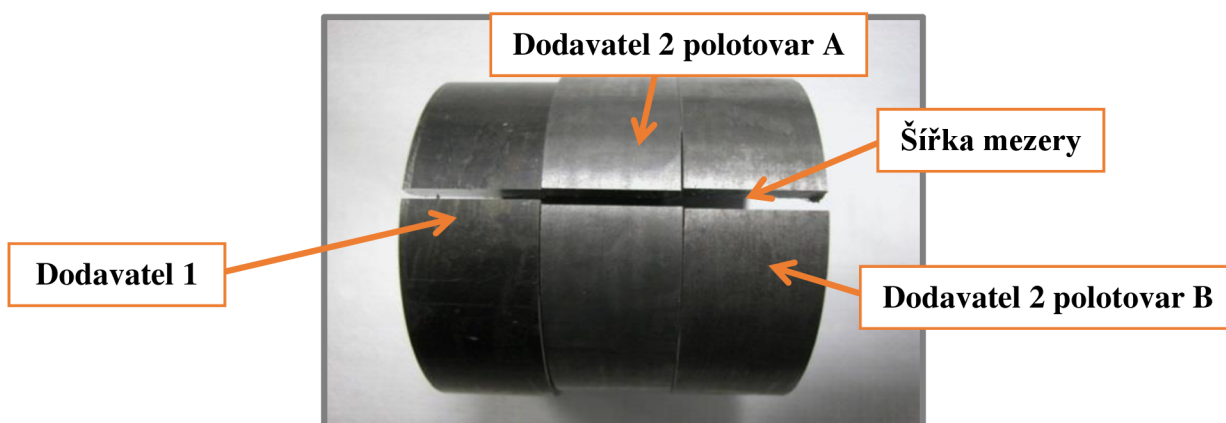
Firmě dodávají dva dodavatelé celkem tři druhy polotovarů pro vybraný typ kroužku. Jedná se o ocel 100Cr6 se stejným chemickým složením všech tří druhů. Z dodaného polotovaru byly nařezány vzorky (Obr. 44) dále měřené na kruhovitost a vnitřní pnutí. Kruhovitost se měřila na kruhoměru (viz 3.10) a roztažená mezera **posuvným měřidlem** (Obr. 43)b). Z výsledků měření v Tab. 4) je patrné velké roztažení mezery v důsledku vnitřního pnutí u dodavatele 2 vzorek A a vzorek B. Dodavatel 1 vyhověl požadavkům kruhovitosti a velikosti roztažení mezery vlivem vnitřního pnutí. Přestože byl dodavatel 2 upozorněn na vysoké vnitřní pnutí, nedokázal výskytu této vady zamezit. Proto bylo navrženo vybrat výhradního dodavatele materiálu. Tímto získá podnik stabilní kvalitu dodávky. Pro udržení dodávané kvality trubek je nutné provádět pravidelný audit každé čtvrtletí u dodavatele, zda dodržuje dohodnuté procesy při výrobě trubek a také provádět kontrolu pnutí spolu s rozměry trubky při přejímce materiálu.

Jedním z důvodů, proč jsou v sériové výrobě, a v automobilovém průmyslu zvláště, používány vždy alespoň dva dodavatelé je potřeba zálohy v případě výpadku jednoho z nich.

Tab. 4) Výsledky měření vnitřního pnutí

Měření vnitřního pnutí								
č. měření	Dodavatel 1		Dodavatel 2 polotovar A		Dodavatel 2 polotovar B		Tloušťka kotouče	Tolerance
	Velikost mezery	Hodnocení	Velikost mezery	Hodnocení	Velikost mezery	Hodnocení		
[-]	[mm]	[-]	[mm]	[-]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]
1	1,72	Vyhovuje	1,89	Nevyhovuje	1,92	Nevyhovuje	1,6	±0,25
2	1,81	Vyhovuje	1,94	Nevyhovuje	1,88	Nevyhovuje		
3	1,79	Vyhovuje	1,87	Nevyhovuje	1,91	Nevyhovuje		
4	1,78	Vyhovuje	1,79	Vyhovuje	1,96	Nevyhovuje		
5	1,74	Vyhovuje	1,86	Nevyhovuje	1,87	Nevyhovuje		

Přípustná velikost mezery vychází z praktických zkušeností nabytých z několikaleté výroby ložisek ve firmě.



Obr. 44) Nařezané vzorky

**Opatření č. 1: Vybráním výhradního dodavatele získala firma stálost rozměrů, díky vyhovujícímu vnitřnímu pnutí došlo k omezení tvarových deformací vlivem vnitřního pnutí.**

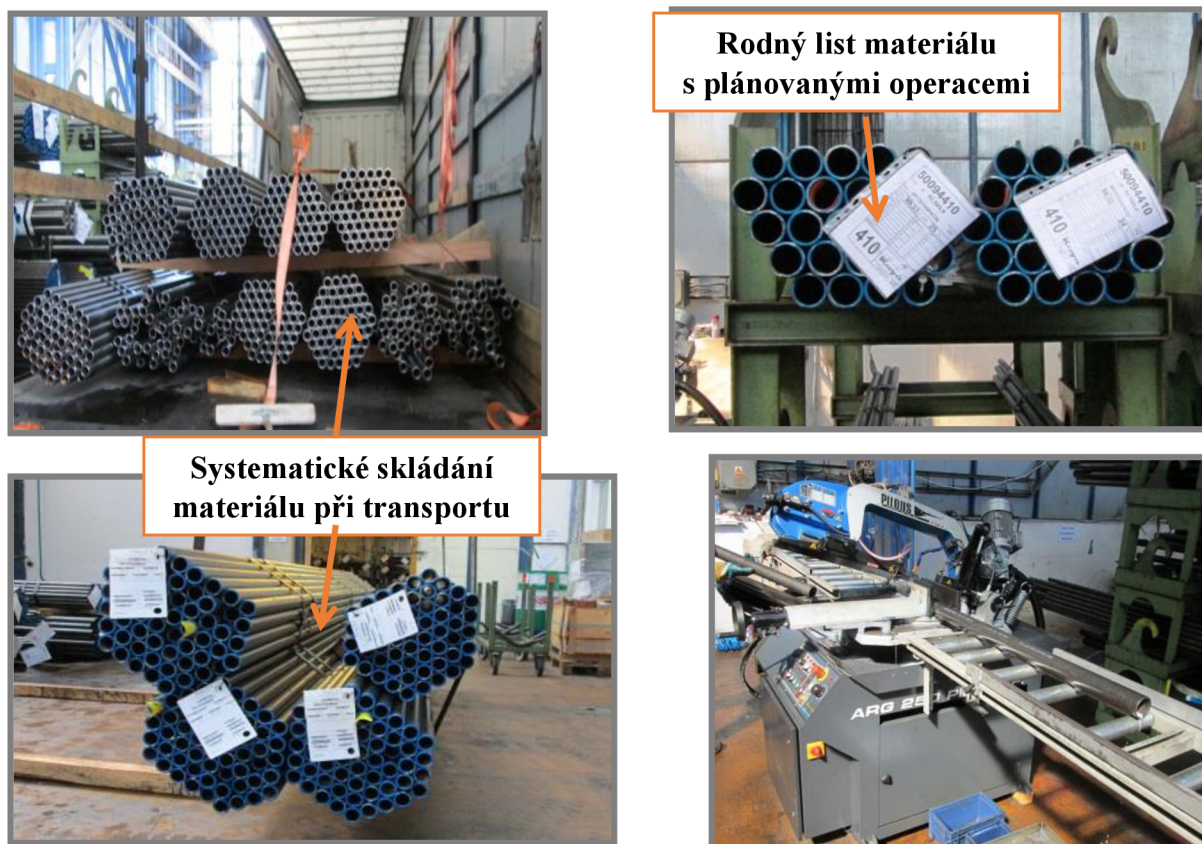
V Tab. 5) je vyhodnocení měření vnitřního pnutí po vybrání jednoho dodavatele. Jak lze vidět z měření mezery vyplývá, že vnitřní pnutí polotovaru je v toleranci s požadavky podniku.

Tab. 5) Měření vnitřního pnutí po vybrání jednoho dodavatele

č. součásti	Dodavatel 1	
	Velikost mezery	Hodnocení
	[-]	[-]
1	1,73	Vyhovuje
2	1,69	Vyhovuje
3	1,78	Vyhovuje
4	1,71	Vyhovuje
5	1,74	Vyhovuje

## 7.2.2 Manipulace s materiálem

Při nevhodné manipulaci s materiálem může také docházet k vnitřnímu pnutí. Mohlo se stát, že polotovar spadl obsluze při vykládání z manipulačního vozidla. Tato vada se nemusí projevit při první obráběcí operaci, soustružení, nýbrž se objeví např. až po tepelném zpracování v podobě rozpínání materiálu, což vede k vyřazení kusů pro nesplnění rozměrové přesnosti. Jako úpravu tohoto procesu jsem navrhl standardizovat proces manipulace a vytvořil jsem návodku, která slouží jako instruktáž pro osoby zodpovědné za manipulaci s materiálem, tj. při přesouvání materiálu z kamionu při přejímce a také přesouvání trubky ze skladu k soustruhům. Je také potřebné předem stanovit, na jakém stroji bude daný polotovar obráběn a dle možností podavače nařezat trubku na možnou délku. Proto je nezbytné každému polotovaru přiřadit kartu, kde budou vypsány zdroje operací, tj. na které pracoviště má zaměstnanec polotovar přivést, případně na jakou délku jej má nařezat.



Obr. 45) a) ukládání materiálu v kamionu, b) skladování materiálu, c) manipulace s materiálem-zvedání, d) řezání materiálu pro potřebnou délku

**Opatření č. 2: Standardizováním procesu manipulace s materiálem nebude docházet k prostožům z důvodu hledání materiálu ve skladu, dále bude jasně dané, které operace na polotovaru byly již provedeny, respektive které budou následovat a nemělo by docházet k nestandardnímu zacházení s materiálem (pád,...).**

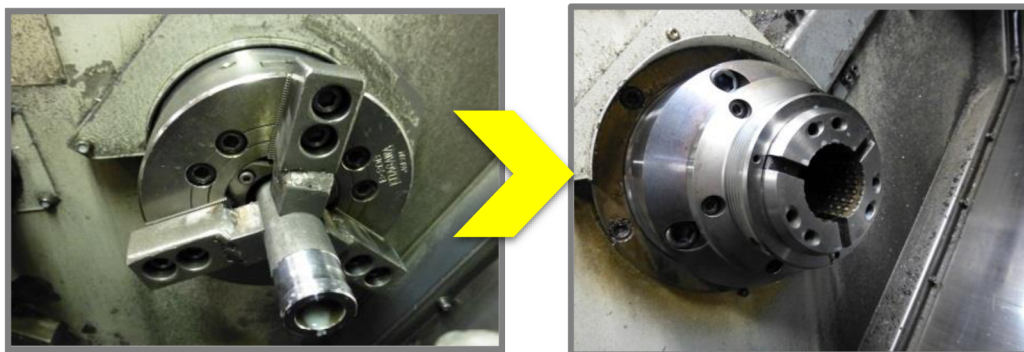
Pro vhodné skladování materiálu lze využít metody jako 5S. Tato metoda má za cíl vytvořit přehledné, čisté a bezpečné pracoviště. Jedná se o štihlé řízení metody s pěti zásadními kroky: [18]

- 1) Seiri-rozděl-zkontrolování pracoviště a vytřídění nepotřebných věcí
- 2) Seiton-setříd'-označení potřebných používaných položek při manipulaci/výrobě
- 3) Seiso-uspořádej-logické uspořádání označených položek
- 4) Seiketsu-zdokumentuj-zdokumentování pracovních postupů
- 5) Shitsuke-dodržuj-systematizovat a dodržovat dané postupy

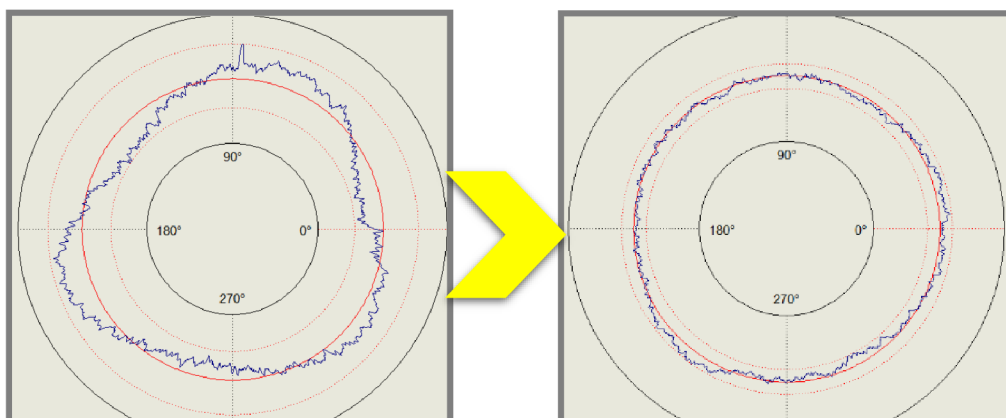
## 7.1 Soustružení

### 7.1.1 Výměna sklíčidel

Pro zamezení vnášení špatné kruhovitosti vlivem použití tříčelistového sklíčidla (Obr. 46)a), byla nahrazena kleštinovými upínači (Obr. 46)b). Tlak je místo do tří tlačných bodů rozložen po celé ploše polotovaru. Použití sklíčidla vede ke zvýšené kruhovitosti, která vede k nevhodnému tvaru vnějšího průměru, objevující se ve tvaru trojúhelníku (Obr. 47)a). Při použití kleštinového upínače k tomuto jevu nedochází (Obr. 47)b).



Obr. 46) a) tříčelistové sklíčidlo, b) kleštinový upínač



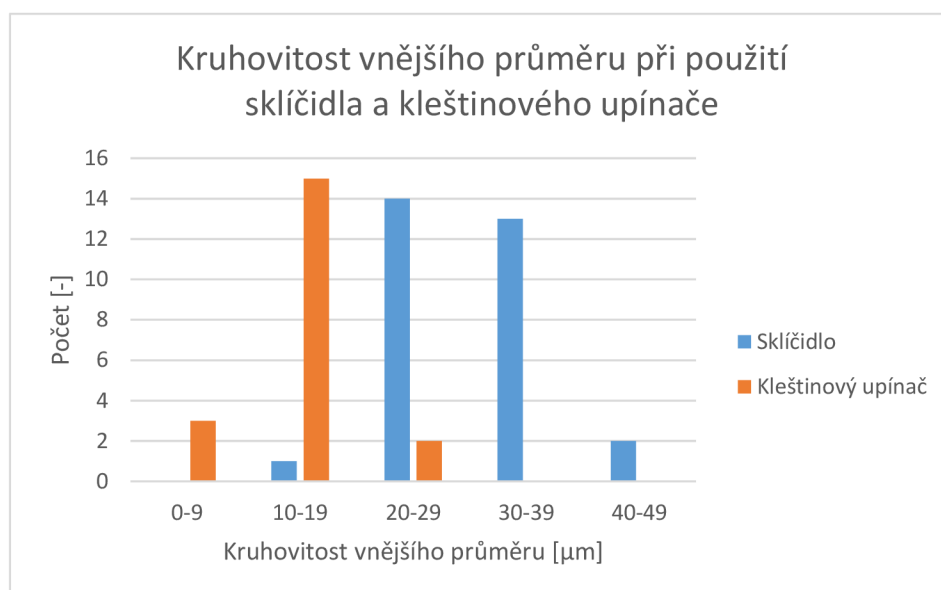
Obr. 47) a) kruhovitosť při použití tříčelistového sklíčidla, b) kruhovitosť při použití kleštinového upínače

**Opatření č. 3: Výměnou tříčelistového sklíčidla za kleštinový upínač nebude docházet ke zvýšené kruhovitosti způsobené upínacím zařízením při soustružení (Obr. 48).**

Byl vybrán kleštinový upínač SPANNTOP Adapt. Firma Hainbuch má u svých upínačů větší rozsah upínání a jejich kleštinové hlavy, které jsou nutné pro upnutí obrobku, mají větší rozsah uchycení.

Tab. 6) Výběr kleštinového upínače

Model	Výrobce	Rozsah upínání	Max. otáčky	Max. radiální síla	Max. axiální síla	Poznámka
[-]	[-]	[mm]	[1/min]	[kN]	[kN]	[-]
SPANNTOP Adapt B-Top3 65	Hainbuch	ø4 až 65	6000	120	45	Rozsah kleštiny 3 až 7,5 mm
TOPlus modular 65	Hainbuch	ø4 až 65	6000	120	45	Rozsah kleštiny 3 až 7,5 mm
TOPlus combi deadlength 65	Hainbuch	ø4 až 65	6000	120	45	Rozsah kleštiny 3 až 7,5 mm
SPANNTOP nova modular 65	Hainbuch	ø4 až 65	6000	105	45	Rozsah kleštiny 3 až 7,5 mm
Kleštinové sklíčidlo 2905 185E	Bison	ø 4 až 60	6300	neuveďeno	30	Kleština pouze pro zadaný průměr
Kleštinové sklíčidlo 2905-S 185E	Bison	ø4 až 60	6300	neuveďeno	30	Kleština pouze pro zadaný průměr

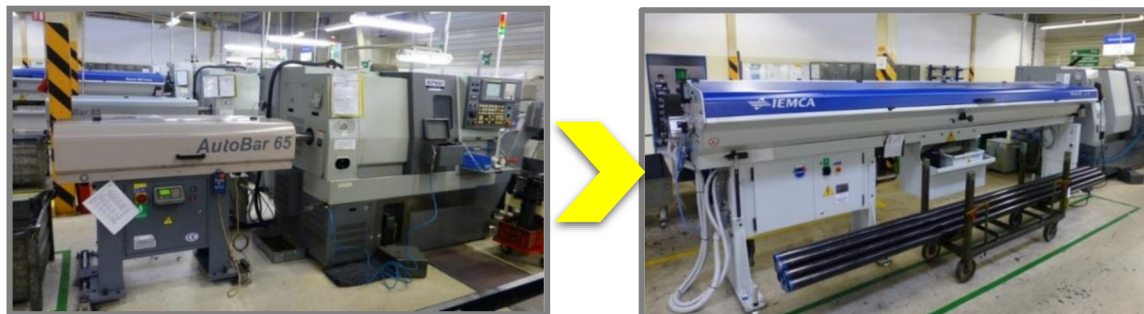


Obr. 48) Kruhovitost vnějšího průměru (sklíčidlo a kleštinový upínač)



### 7.1.2 Podavače trubek

Stávající podavače (Obr. 49)a již nevyhovují moderním trendům. Trubky do nich musely být řezány na krátké, což vedlo k velkému počtu nijak nevyužitých konců trubek, které se vyhazují jako nezpracovaný materiál. Z důvodu časté výměny polotovaru se zbytečně prodlužoval operační čas.



Obr. 49) a) původní podávací automat Fedek , b) nový podávací automat IEMCA

Tab. 7) Současný CNC soustruh

Stroj		
Model	Výrobce	Maximální průměr polotovaru
[-]	[-]	[mm]
KIT 60	KIA	66

Dle vyhledaných parametrů od výrobců podávacích automatů Tab. 8) byl vybrán podávací automat IEMCA Master 865 (Obr. 49)b). Jeho výhodou je možnost využití na různé typy průměrů kroužků a délkou tyče spolu s rozpětím možných průměrů polotovaru předčil ostatní zařízení. Byla vybrána verze s možnou délkou polotovaru 4,3 m, do kterého bude vkládána trubka o délce 4 m. Přestože nový podavač má dvojnásobně delší konec trubky než původní, jejich **celkový počet je menší** díky delšímu polotovaru.

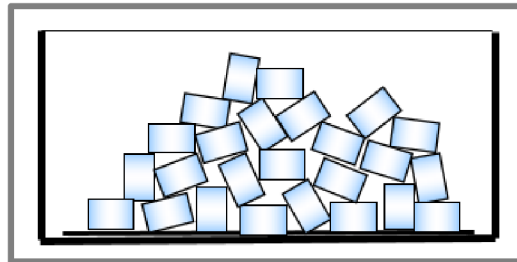
Tab. 8) Výběr podavače

Model	Výrobce	Délka tyče	Průměr tyče	Min. délka zbytku tyče	Rychlost posuvu
Jednotka	[-]	[m]	[mm]	[mm]	[mm/sec]
Původní: AutoBar 65	Fedek	1,5	ø 5 až 65	55	
Master 865 Verso	IEMCA	1 až 6,3	ø 8 až 65	110	500
Master 80 HF	IEMCA	1 až 4,3	ø 8 až 80	110	500
BOSS 552 HD	IEMCA	0,7 až 6,38	ø 5 až 51		750 (nastavitelná)
Spacesaver SS2220	CNC Technology, s.r.o.	max 1,525	ø 6 až 67	výrobce neuedl	výrobce neuedl
Sprint 655	MRG CZ s.r.o.	2,2/3,2/3,8/4,2	ø 5 až 65	max 440	výrobce neuedl
Sprint S3	MRG CZ s.r.o.	3,3/3,8/4,2	ø 10 až 80	výrobce neuedl	výrobce neuedl

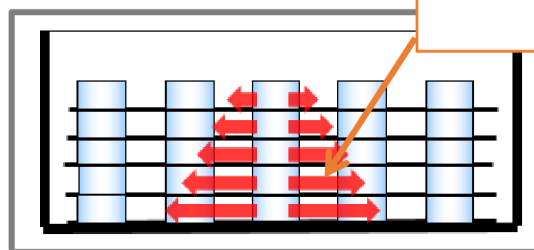
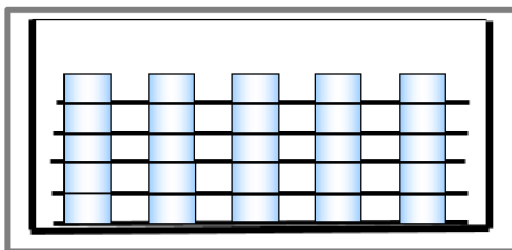
**Opatření č. 4: Nahrazení starého podavače za nový byl snížen počet konců trubek (scrap), zkrátit se strojní čas a zrychlila se výměna polotovaru.**

## 7.2 Tepelné zpracování

Zlepšení procesu kalení spočívá v zavedení použití proložek mezi tepelně opracovávané kusy. Namísto sypaní kusů do košů (Obr. 50)a došlo nejprve k systematickému vrstvení kroužků (Obr. 51)a, aby nedocházelo k nerovnoměrnému průběhu zahřívání kusů, které se jsou umístěny ve spodní části ve středu koše. Také vlivem váhy kroužků docházelo k tvarovým deformacím, jelikož jsou kusy zahřáty na 830 °C a jakýkoli vnější vliv (tíha uložených kroužků) způsobí zatížení vedoucí k deformacím (Obr. 51)b).



Obr. 50) a) sypaná vsázka

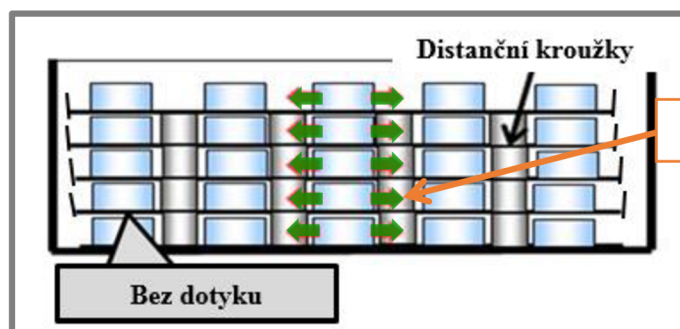


Rostoucí váhové  
zatížení na spodní  
kroužky

Obr. 51) a) skládání kroužků původní verze bez distančních kroužků, b) skládání kroužků bez distančních kroužků – velikost zatížení

Přestože došlo ke snížení velikosti rovinností a kruhovitostí způsobené tvarovými deformace vlivem sypané vsázky, s odstupem času se i metoda skládání jevila jako nedostatečná. Stále totiž kusy ležely na sobě a vlivem tíhy vyšších pater docházelo k tvarovým deformacím.

Po konzultaci s metalurgem externí firmy bylo navrženo zvolit jako nejvhodnější metodu zvolit systematické skládání kroužků na proložky s využitím distančních kroužků (Obr. 52), díky kterým kroužky nebudou ležet na sobě, tudíž při zahřátí na kalicí teplotu nebudou nést váhu kroužků nad sebou, což by způsobilo tvarové deformace. Dále pro zajištění polohy a zamezení vypadávání kusů z vyšších pater vsázky jsou proložky vybaveny bočním osazením.



Bez váhového zatížení

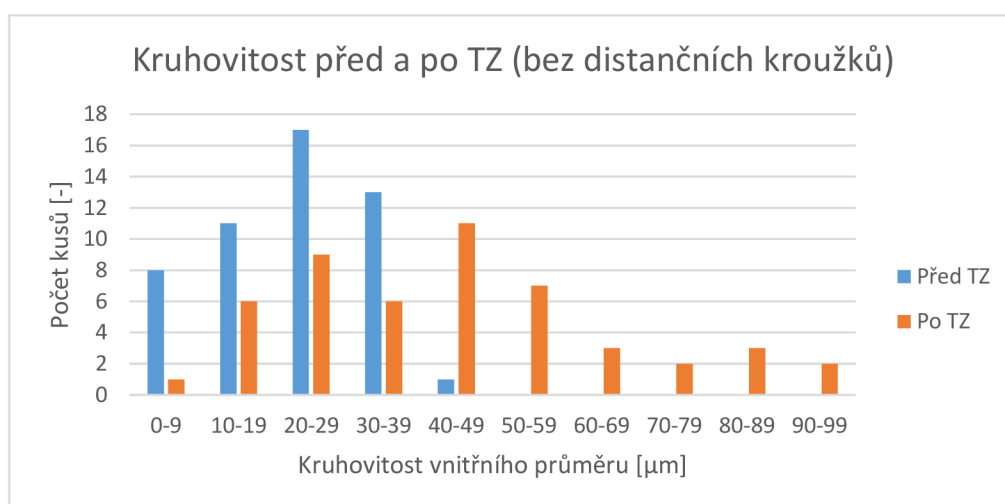
Obr. 52) Skládání kroužků s distančními kroužky (bez zatížení)

### Opatření č. 5: Používáním distančních kroužků a proložek s bočním osazením se eliminuje výskyt tvarových deformací při tepelném zpracování.

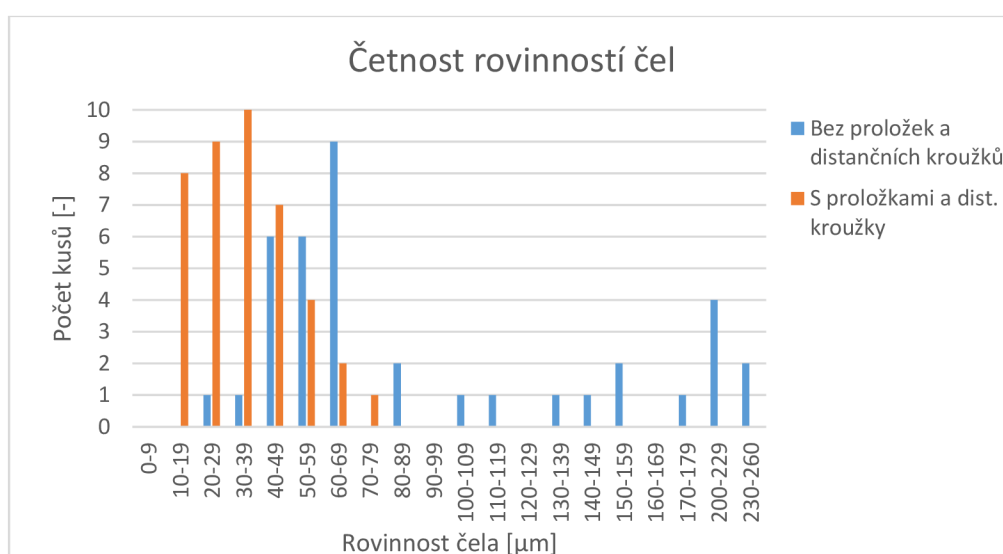
V grafech jsou znázorněny počty výskytu kusů v závislosti na rovinnosti čel (Obr. 54), vnější (Obr. 55) a vnitřní kruhovitosti (Obr. 56) způsobené tvarovými deformacemi na kroužcích, které byly záměrně volně nasypané do vsázky, nebyly tedy vloženy na proložky a chyběly distanční kroužky a kusy, které byly uloženy na proložkách a s distančními kroužky. Z výsledků měření jsou patrné značné tvarové deformace v podobě prohnutí kusů (vysoká rovinnost čel) a vytvoření oválného tvaru vnitřního průměru.

V příloze jsou vloženy záznamy naměřených rovinností a kruhovitostí.

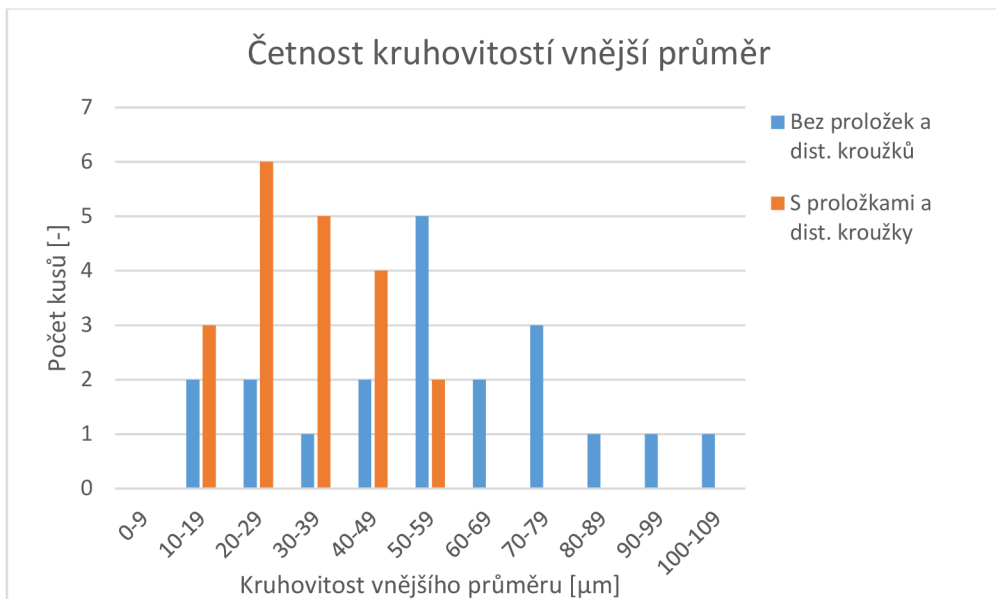
Prokázání tvarových deformací vlivem vnějšího zatížení lze pozorovat z experimentu měření kruhovitostí před a po tepelném zpracování bez distančních kroužků (Obr. 53). Z výsledků je zřejmé, že došlo u většiny kusů ke zhoršení kruhovitosti. Kroužky umístěné v horní vrstvě vsázky ke zhoršení nedošlo. Z tohoto důvodu je nezbytné používat distanční kroužky, **aby spodní vrstvy kroužků nenesly váhu vrchních kusů.**



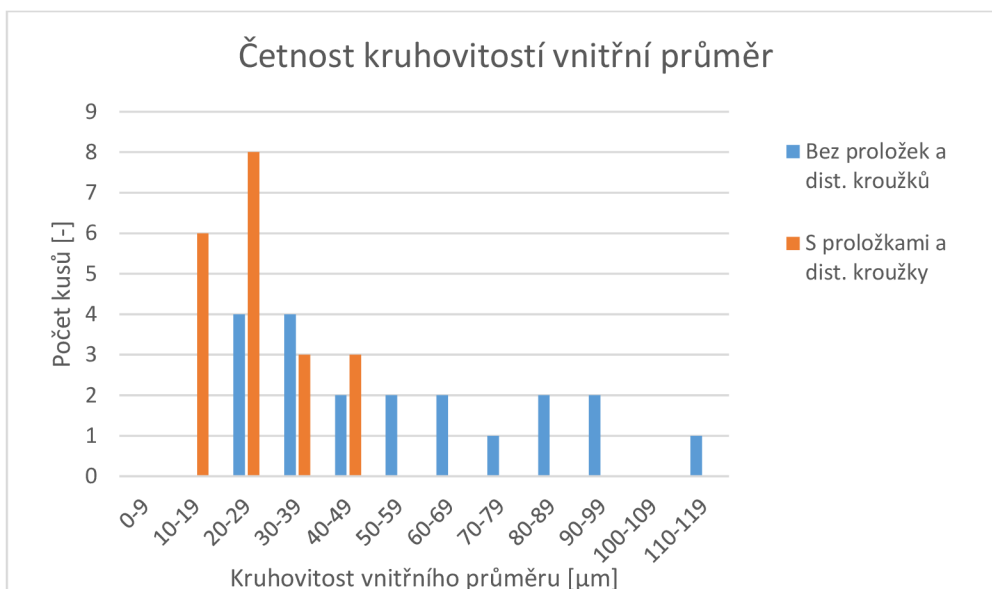
Obr. 53) Kruhovitost před a po TZ (bez distančních kroužků)



Obr. 54) Četnost rovinností čel po TZ



Obr. 55) Četnost kruhovitostí vnějšího průměru po TZ



Obr. 56) Četnost kruhovitostí vnitřního průměru po TZ

**K zamezení vzniku tvarových deformací je nezbytné kusy vkládat na proložky a oddělovat vrstvy vsázky distančními kroužky.**

## 7.3 Broušení

### 7.3.1 Broušení čel

Nejčastější vadou při broušení čel patří vytvoření konvexně konkávního tvaru (viz 3.5.1). Jelikož se nám důsledek této vady projeví až po broušení čel, tj. vybroušení vnitřního otvoru ve tvaru oválu, navrhl jsem kontrolovat z každé dávky vybrané kusy na rovinnost čela v rámci mezioperační kontroly. Díky této kontrole budou kusy s velkou rovinností čela opraveny již před broušením vnitřního průměru, čímž se sníží počet vyhozených, či opravovaných kroužků z důvodu vysoké kruhovitosti (ovality) po broušení otvoru vlivem velké rovinnosti čela.

Pro stanovení limitu rovinnosti byly vybrány kusy, které byly vyřazeny jako neshodné výrobky kvůli velké kruhovitosti. Následně na nich došlo ke změření rovinnosti čel. Z těchto hodnot byla dále stanovena hodnota rovinnosti, která se bude předepisovat na výkrese (Tab. 10)

V praxi to znamená, že pokud změříme rovinnost po broušení čel, dokážeme včas kusy s vysokou rovinností čela opravit broušením novým průchodem. Cílem je objevit tuto vadu před broušením otvoru, kdy by oprava vnitřního průměru v krajním případě nebyla možná, a kusy by byly vyhozeny.

Tab. 9) Vyhodnocení měření závislosti rovinnosti čela na kruhovitosti vnitřního průměru

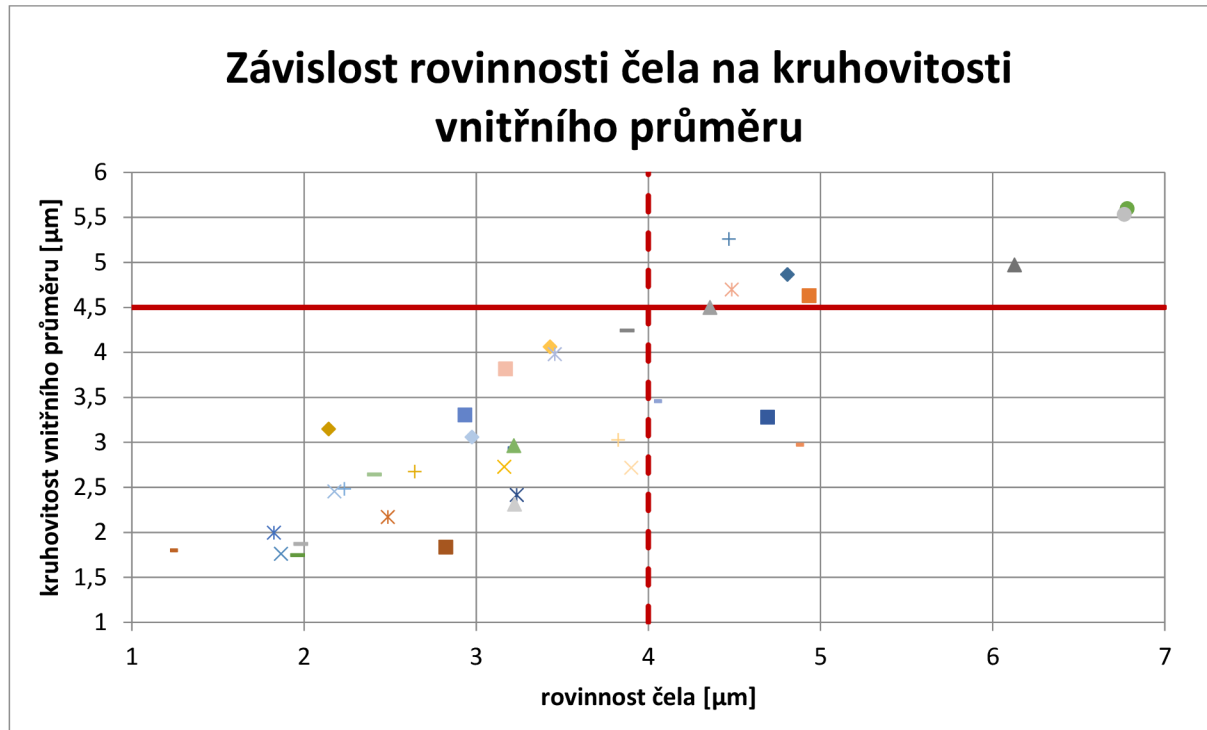
Vnější kroužek		
Rovinnost čela	Kruhovitost vnitřní	Vyhodnocení
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[-]
1,5	<4,5	OK
2	<4,5	OK
3	<4,5	OK
4	<4,5	OK
5	>4,5	NOK

Tab. 10) Stanovení geometrické tolerance rovinnosti čela

Návrh parametru rovinnosti čela
[ $\mu\text{m}$ ]
4,0

**Opatření č. 6: Stanovením geometrické tolerance rovinnosti čela a následné mezioperační kontrole po broušení čel dojde k včasnému odhalení kusů s vysokou rovinností čela, u kterých by z tohoto důvodu došlo při broušení vnitřního průměru k velké kruhovitosti (ovalitě).**

Závislost rovinnosti čela na kruhovitosti vnitřního průměru je znázorněna v grafu (Obr. 57). Limit kruhovitosti po broušení vnitřního průměru je **4,5  $\mu\text{m}$  (červená vodorovná čára)**. Pokud se rovinnosti čela nedostala nad **4  $\mu\text{m}$  (červená svislá přerušovaná čára)**, limit kruhovitosti nebyl překročen. Mimo jeden kus, u kterého se předpokládá se zvýšenou kruhovitostí nepotvrdil.



Obr. 57) Graf závislosti rovinnosti čela na kruhovitosti vnitřního průměru

### 7.3.2 Broušení vnějšího průměru

Při broušení vnějšího průměru vznikají vady, kdy kroužky nevyhovují rozměrově, tj. vnější průměr je mimo toleranci. Dále se často objevuje vada v podobě oválného tvaru vnějšího průměru. Předcházení vzniku oválného tvaru je brusný kotouč zarovnáván diamantovým břitem po broušení stanoveného počtu kusů.

### 7.3.3 Linky pro broušení vnitřního průměru

Hlavní úpravou pro broušení vnitřního průměru je v podobě eliminování příjmu kroužku s vysokou rovinností čel (viz 7.3.1).

Dále je linka pro broušení vnitřního průměru doplněna o automatické měřidlo šířky, které měří šířku stěny kroužku před samotným broušením otvoru. Výhoda tohoto měřidla je v podobě automatického upravení nastavení procesu broušení. Přes přítomnost tohoto měřidla, které upravuje proces broušení pro každý kus, v případě, že jsou čela špatně uchycena v magnetickém unášeci, respektive mají vysokou rovinnost čel, může docházet k vysoké kruhovitosti a ovalitě. Proto bylo nezbytné zavést mezioperační kontrolu rovinnosti kroužků po broušení čel.

## 7.4 Balení a expedice

### 7.4.1 Koroze

Přestože se při broušení používá emulze s aditivy proti korozi, pokud se kroužky do určité doby od poslední operace broušení nezakonzervují a nezabalí se k expedici, dochází u nich k výskytu koroze. Pro zamezení vzniku rzi na povrchu je nutné stanovit maximální dobu od poslední operace, do níž musí být kroužky zakonzervovány.

V Tab. 11) lze vidět výsledek záznam experimentu na kusech, které byly po broušení vyřazeny a umístěny v provozních podmínkách v hale závodu. Z výsledků je patrné, že rez se objevila po 11 dnech od odebrání kusů (Obr. 58). Proto jsem navrhl maximální dobu od poslední operace před konzervací a expedicí na 7 dnů.

Tab. 11) Tabulka s výskytem koroze:

Výskyt koroze					
Datum	Čas	Teplota	Vlhkost	Výskyt koroze na povrchu	Poznámka
[-]	[-]	[°C]	[%]	[-]	[-]
5. 12. 2016	9:00	20,8	29,4	Ne	
6. 12. 2016	9:05	21,7	30,5	Ne	
7. 12. 2016	8:55	22,4	31,4	Ne	
8. 12. 2016	9:10	23,1	34,2	Ne	
9. 12. 2016	8:50	22,9	28,7	Ne	
10. 12. 2016	9:50	23,4	30,1	Ne	
11. 12. 2016	9:45	23,8	31,2	Ne	
12. 12. 2016	8:55	18,9	32,5	Ne	
13. 12. 2016	9:00	22,5	30,9	Ne	
14. 12. 2016	8:50	23,8	29,4	Ne	
15. 12. 2016	8:55	24,2	34,2	Ano	Výskyt bodové koroze (pod mikroskopem)
16. 12. 2016	9:05	23,9	31,6	Ano	Výskyt bodové koroze (pod mikroskopem)
17. 12. 2016	8:45	22,8	28,5	Ano	Zvětšení bodové rzi (pod mikroskopem)
18. 12. 2016	9:00	23,7	29,6	Ano	Výskyt bodové koroze viditelné okem (na čelech)
19. 12. 2016	8:55	22,5	27,9	Ano	Výskyt bodové koroze viditelné okem (na čelech, vnější průměr)

**Opatření č. 7: Nastavením limitu se snížil výskyt povrchových vad na daném typu kroužku daného typu kroužku o 60% (viz KKK Tab. 12) .**



Obr. 58) Koroze na čele kroužku





## 8 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROVEDENÝCH ÚPRAV

Nedílnou součástí je technicko ekonomické zhodnocení provedených úprav procesů, tedy zjistit, zda změny povedou k zisku, či naopak ke ztrátě, což by značilo, že provedené úpravy procesů jsou chybné.

### 8.1 Technické zhodnocení

Úpravou procesů se celkově snížila zmetkovitost ze 14% na 5% (Obr. 59). V tabulce (Tab. 12) lze pozorovat, na kterých místech došlo ke snížení počtu neshodných výrobků. Velká úspora byla na soustružně a to snížení nákladů na konce trubek.

Z důvodu zavedení mezioperační kontroly po broušení čel došlo k nárůstu nákladů na opravy čel. I přes to došlo ke snížení počtu výrobků vyřazených z důvodu rozměrů mimo toleranci a velké kruhovitosti na vnitřním průměru (Tab. 13).



Obr. 59) Zmetkovitost kroužku – nové

Tab. 12) Neshodné výrobky po úpravě procesů

Vnější kroužek	Statistika po provedení úprav procesů (15 týdnů)		
Důvod vyřazení	Pracoviště	Počet neshodných výrobků	Scrap cost
[-]	[-]	[-]	[Kč]
Konce trubek	Soustružení	-	14 010
ID mimo toleranci, kruhovitost ID	Soustružení	330	6 125
OD mimo toleranci, kruhovitost OD	Soustružení	602	10 980
Vizuální vady	Soustružení	86	1 560
Šířka mimo toleranci	Soustružení	48	1 320
Špatné seřízení CNC	Soustružení	22	420
Kruhovitost	Tepelné zpracování	231	8 708
Tvarová deformace	Tepelné zpracování	439	11 631
Vysoká rovinnost	Broušení čel	227	4 313
OD mimo toleranci	Broušení OD	291	6 462
OD kruhovitost	Broušení OD	250	7 513
Vizuální vady OD	Broušení OD	13	514
Vizuální vady (vrypy, chybějící materiál po broušení)	Linka ID	186	4 842
ID kruhovitost	Linka ID	512	25 742
ID mimo toleranci	Linka ID	174	298
Vady na povrchu	KKK	312	10 520
<b>Celkový počet</b>		<b>3723</b>	<b>114 958</b>

Tab. 13) Neshodné výrobky po úpravě procesů dle pracoviště

Pracoviště	Důvod vyřazení	Počet neshodných výrobků	Scrap cost
[-]	[-]	[-]	[Kč]
Soustružení	ID a OD mimo toleranci; kruhovitost ID a OD; vizuální vady; šířka mimo toleranci; konce trubek	1088	34 415
Tepelné zpracování	Tvarové deformace	671	20 339
Broušení čel	Velká rovinnost čel	227	4 313
Broušení OD	OD mimo toleranci; OD kruhovitost	554	14 490
Linka ID	Vizuální vady (vrypy, chybějící materiál po broušení), ID kruhovitost, ID mimo toleranci	872	30 882
KKK	Vady na povrchu	312	10 520
<b>Celkový počet</b>		<b>3723</b>	<b>114 958</b>

### 8.1.1 Příjem materiálu

U procesů přijímání materiálu a manipulace s ním došlo k vybrání výhradního dodavatele. Z oje patrné, že po vybrání výhradního dodavatele, již nadále nebyl problém s vnitřním pnutím materiálu.

Další provedenou úpravou bylo standardizování práce a manipulace s materiálem. Cílem bylo skladovat a manipulovat polotovarem (trubkou) dle 5S. Byl zaveden rodný list každé zakázky pro přehlednost prováděných operací na polotovaru. Z ekonomického hlediska se jedná „pouze“ o úpravu stávajícího procesu a nedá se jednoznačně finančně vyčíslit. Z praktického hlediska má každá zakázka uvedenou svou pozici, čímž manipulátoři nehledají požadovanou zakázku. Dále jsou polotovary při transportu páskovány, nemůže tedy dojít k pádu při manipulaci. Pády materiálu či pružení přesouvání materiálu vede k vnesení vnitřního pnutí do polotovaru.

### 8.1.2 Soustružení

V rámci měkkých operací, tj. soustružení byl nahrazen stávající podavač za nový. Návratnost tohoto podavače je uvedena v tabulce (Tab. 14) a vychází z **kalkulátoru firmy IEMCA**. Roční ušetřené náklady jsou především v menším počtu konců trubek oproti stávajícímu podavači.

Tab. 14) Návratnost podavače

Návratnost	
Náklady na pořízení stroje	675 000 Kč
Náklady na instalaci (převoz, instalace,...)	216 000 Kč
Ušetřené roční náklady (dle IEMCA kalkulátoru)	473 040 Kč
Návratnost	1,88 roků

Další úpravou prošlo upínání trubek v soustruhu. Tříčelist'ové sklíčidlo bylo nahrazeno kleštinovým upínačem, díky čemuž se nadále nevnaší nežádoucí tvar na vnější průměr. Návratnost nákladů na tuto změnu nelze jednoznačně určit, jelikož se vada přenášela na všechny následující operace a dá se pouze vyjádřit v podobě celkových ušetřených nákladů. V tabulce (Tab. 15) jsou vypočítané náklady na pořízení a instalaci kleštinového upínače.

Tab. 15) Náklady na kleštinový upínač

Kleštinový upínač Hainbuch	
Náklady	59 400 Kč

### 8.1.3 Tepelné zpracování

Proces tepelného zpracování byl upraven v podobě používání proložek a distančních kroužků. Z ekonomického hlediska se jedná o minimální pořizovací náklady. Problém nastává v prodloužení cyklového času z důvodu systematického skládání kroužků namísto sypání, které zabere oproti skládání méně času. Dále je nutné, aby mistr kontroloval zaměstnance a nedocházelo k sypání kroužků.

V tabulce (Tab. 16) jsou vypsány náklady na pořízení proložek a distančních kroužků. Tyto komponenty musí být z žáruvzdorné oceli a jsou vyráběny na zakázku dle požadavků

podniku. Nakoupené proložky a distanční kroužky lze dle rozměrových možností využít pro více druhů kroužků při tepelném zpracování. Vyčíslené náklady jsou přepočítané pro jednu zakázku o velikosti 4 000 ks. Proložky s bočním osazením byly dodány na zakázku a distanční kroužky jsou nařezány z tyče kruhového profilu  $\varnothing 25$  mm.

Tab. 16) Náklady na úpravu procesů tepelného zpracování

Náklady na úpravu TZ	
Počet proložek	80 ks
Cena proložky	1 200 Kč
Počet distančních kroužků	2 340 ks
Cena distančních kroužků	6 000 Kč
Celkem	102 000 Kč

#### 8.1.4 Broušení

V případě broušení došlo k úpravám procesů při broušení čel. Díky předepsání rovinnosti na výkresech a zavedení mezioperační kontroly došlo ke snížení počtu neshodných výrobků vyřazených po broušení otvoru, avšak došlo k nárůstu nákladů na přebroušení čel kroužků po jejich nabroušení.

#### 8.1.5 Balení a expedice

V rámci procesů balení a expedice došlo ke stanovení limitu od první operace k poslední operaci konzervace a balení. Přestože se při operacích využívá aditiv do pracovních kapalin, z praxe plyne, že se koroze i přesto objevovala. Z experimentu byl stanoven limit na 7 dnů.

## 8.2 Ekonomické zhodnocení

Provedené úpravy nezpůsobily z ekonomického hlediska výrobnímu podniku vysoké náklady. Značnou část nákladů tvořila výměna podavače, avšak jeho návratnost byla vypočítána na necelé dva roky. V tabulce (Tab. 17) jsou vypsány náklady a odůvodnění. Z hlediska nákladů tvoří největší část položka podavače trubek, jehož návratnost byla vypočítána na 2 roky. Jelikož lze proložky a distanční kroužky aplikovat na více druhů kroužků, je pro ekonomiku podniku tato položka jako zanedbatelná. Celkové provedené úpravy nepřevyšují 1,2 milionů korun.

Tab. 17) Ekonomické zhodnocení úprav

Pracoviště	Úprava	Náklady	Odůvodnění
Příjem polotovaru	Vybrání jednoho dodavatele	-	Bez nákladů
	Standardizace manipulace s materiálem	-	Zanedbatelné náklady na páskování při manipulaci s materiálem
Soustružení	Podavač	891 000 Kč	Náklady na výměnu podavače
	Kleštinový upínač	59 400 Kč	Náklady na výměnu sklíčidla
Tepelné zpracování	Proložky	96 000 Kč	Náklady na proložky
	Distanční kroužky	6 000 Kč	Nařezaná tyč Ø25 použitelná pro více typů kroužků
Broušení	Broušení čel	-	Bez nákladů
	Broušení vnějšího průměru	-	Bez nákladů
	Broušení vnitřního průměru	-	Bez nákladů
Balení a expedice	Koroze	-	Bez nákladů



## 9 OPATŘENÍ PŘI ZMĚNĚ TYPU VÝROBKU

Většina z navržených opatření pro snížení zmetkovitosti výroby je možno aplikovat i na jiné kroužky než na měřený typ z této práce. Standardizování manipulace s materiálem platí pro veškerý přepravovaný a skladovaný materiál.

Soustružnické úpravy v podobě změny sklíčidel za kleštinové upínače a nahrazení stávajících podávacích automatů za nové výkonnější lze aplikovat u většiny vyráběných kroužků. Zvýšená kruhovitost vlivem tříčelistového sklíčidla se sníží u všech typů kroužků. Nové podávací automaty sníží počet vyhozených konců trubek. Dále se sníží takt soustružení.

Pro tepelné zpracování je nutné nejprve určit, zda je použití distančních kroužků vhodné pro daný typ kroužků. Pro rozměrově velké kusy s větší šířkou stěny se nepředpokládají tvarové deformace. Dále u velmi malých kusů je složité a časově náročné kusy skládat na proložky, namísto sypání.

Úprava procesů broušení, především nastavení geometrické tolerance rovinnosti čela, lze aplikovat na jiné druhy kroužků. Je však nezbytné provést nová měření pro konkrétní typ ložiskového kroužku. U tenkostěnných je možné, že limit rovinnosti bude nižší, u tlustostěnných naopak může tolerance být vyšší.

Zamezení výskytu koroze se týká celé výroby. Jelikož se v 95% výroby používají konzervační aditiva v jednom poměru při brusných operacích. Stanovení maximální doby od poslední operace před expedicí, či jinou operací, lze uplatnit v rámci celého výrobního závodu.





## 10 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Cíl podniku bylo snížit zmetkovitost na 1%. Změnou výrobních procesů (příjem polotovaru, soustružení, tepelné zpracování, broušení, aj.) se celková zmetkovitost snížila na 5%. V této práci však nebyl řešen vliv lidského faktoru, pracovníku, kteří stroje obsluhují.

Jelikož se jedná o vnější kroužek ložiska, pro další rozšíření práce navrhuji podniku experiment výměny brusiva při broušení vnitřního průměru. Dále je zde prostor pro diplomovou práci v podobě zjištění ideálního nastavení magnetické síly v unášce v otvorové brusce.

Další možnost pro zamezení výskytu koroze je mezioperační konzervace v ponorném stole. Tato operace lze uplatnit v případě dlouhého čekání na některou z operací. Zvyšují se tak však náklady na manipulaci s materiálem a náklady na konzervaci. Metoda mezioperační konzervace není v této práci řešena.

V této práci se také neřeší úprava procesů z hlediska přímosti na oběžné dráze, jelikož z důvodu špatné přímosti nebyly vyřazeny žádné kusy.

Přestože došlo k výraznému snížení zmetkovitosti o 10% díky změně úpravy procesů, cíl snížit zmetkovitost na 1% se nepodařilo splnit.



## 11 ZÁVĚR

Pro správné fungování podniku je nezbytné nejen udržovat požadovanou kvalitu, ale také se soustředit s tím spjatou ekonomickou stránku. Proto je nezbytné vyrábět kvalitně se ziskem a získané prostředky investovat do podniku.

Cílem práce bylo zmapovat celý výrobní proces vybraného typu vnějšího kroužku ložiska používaného do vyvažovací jednotky klikové hřídele spalovacího motoru. Najít problematická místa a navrhnout opatření pro zamezení výroby neshodných výrobků. V neposlední řadě zhodnotit provedené úpravy z hlediska technického a ekonomického, tj. zda provedené změny vedly ke snížení počtu neshodných výrobků a jaké k tomu byly vynaloženy náklady.

Výroba se skládá od příjmu materiálu, soustružení, tepelné zpracování, broušením a expedicí hotového výrobku. První problém, který se vyskytl, bylo vnitřní pnutí materiálu. Z měření bylo patrné, že jeden z dodavatelů dodával polotovary s velkým vnitřním pnutím. I přes upozornění nedošlo k výraznému zlepšení, a proto byl vybrán výhradní dodavatel materiálu, i za cenu možného výpadku dodávky ze strany dodavatele, což by v krajním případě vedlo k pozastavení výroby kroužku v závodě.

Další úpravou byla modernizace v rámci soustružny, která spočívala v nahrazení stávajícího podavače. Tato změna měla výrazný vliv na snížení počtu konců trubek (srap), což také vedlo ke snížení nákladů na zmetkovitost. Dále bylo nahrazeno původní tříčelistové sklíčidlo za kleštinový upínač.

Výrazná úprava byla provedena při tepelném zpracování. Aby nedocházelo k tvarovým deformacím, kroužky se již do vsázek nesypou, nýbrž jsou systematicky skládány na proložky a distanční kroužky.

Poslední tvrdé operace, které jsou na kroužku prováděny, jsou operace broušení. Při těchto operacích se projevuje vliv vad, které byly vneseny z operací předešlých, tj. vnitřní pnutí, tvarové deformace, aj. Předešlé provedené úpravy měly vliv na snížení počtu neshodných výrobků po broušení. Problém se vyskytoval po broušení čel, kde se objevovala vysoká rovinnost čel. Tato vada měla vliv na zvýšenou zmetkovitost po broušení otvoru, jelikož kroužky jsou uchyceny čelem na magnetickém unášeči. Z tohoto důvodu byl stanoven limit rovinnosti a zavedení mezioperační kontroly po broušení čel, což mělo za následek vyšší náklady na přebroušení čel, ale zároveň menší počet vyřazených kusů po broušení otvoru.

Snížení zmetkovitosti mělo za výsledek více ušetřených nákladů na opravy, či vyřazení kusů a tím i snížení nákladů. Ušetřené náklady lze nadále využít investováním do zlepšení výrobních procesů podniku.



## 12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [2] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Překlad Martin Hartl. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [3] TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část. Ústav strojírenské technologie, FSI VUT. [online]. 2005-03-02 [cit. 2. 3. 2016]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci\\_a\\_nekonvencni\\_metody\\_obrabeni/TI\\_TO-3.cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf)
- [4] MATĚJKA, Bohuslav a Jaromír MÁČA. Technológia valivých ložísk - obrábanie. Bratislava: Alfa, 1984.
- [5] *Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA): referenční příručka*. 4. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. ISBN 978-800-2021-018.
- [6] Dokončovací způsoby obrábění. Střední škola technická Opava. [online]. 1. 8. 2012 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: [http://sst.opava.cz/pernikar/nove\\_www/nekonvencni\\_soubory/superfinisovani1.htm](http://sst.opava.cz/pernikar/nove_www/nekonvencni_soubory/superfinisovani1.htm)
- [7] ŠPIČKOVÁ, Petra. Tepelné zpracování principem odporového žhání: Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 47 s., příloh 6. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.
- [8] STUDÝNKA, P. Studium hlučnosti valivých ložisek s ohledem na přesnost výroby. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Klapka, Ph.D.
- [9] SVOBODA, Pavel. *Základy konstruování*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2011, 234 s. ISBN 978-80-7204-750-5.
- [10] The Diesel Engines in the New Mercedes-Benz A-Class [online]. 2012 [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: [http://www.emercedesbenz.com/autos/mercedes-benz/a-class/the-diesel-engines-in-the-new-mercedes-benz-a-class/attachment/mercedes-a-class-12c519\\_19/](http://www.emercedesbenz.com/autos/mercedes-benz/a-class/the-diesel-engines-in-the-new-mercedes-benz-a-class/attachment/mercedes-a-class-12c519_19/)
- [11] 2013 Mercedes-Benz A-Class [online]. 2012 [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: [http://www.caricos.com/cars/m/mercedes-benz/2013\\_mercedes-benz\\_a-class/#9](http://www.caricos.com/cars/m/mercedes-benz/2013_mercedes-benz_a-class/#9)
- [12] Základní práce při broušení. Elektronická učebnice. [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1825>
- [13] OPTIMALIZÁCIA TEPELNÉHO SPRACOVANIA LOŽISKOVÝCH KRÚŽKOV S CIEĽOM ELIMINOVAŤ DEFORMÁCIE MATERIÁLU. Researchgate [online]. 2011 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/228401310\\_OPTIMALIZACIA\\_TEPELNEH\\_O\\_SPRACOVANIA\\_LOZISKOVYCH\\_KRUZKOV\\_S\\_CIELOM\\_ELIMINOVAT\\_DEFO](https://www.researchgate.net/publication/228401310_OPTIMALIZACIA_TEPELNEH_O_SPRACOVANIA_LOZISKOVYCH_KRUZKOV_S_CIELOM_ELIMINOVAT_DEFORMACIE_MATERIALU)
- [14] PRÍSTROJ NA MERANIE TVAROVÝCH ODCHÝLOK KRUHOVITOSTI. *Aquastyl Slovakia, s.r.o.* [online]. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: [http://www.aquastyl.sk/vyrobky/prospekty/muk300pc\\_sk.pdf](http://www.aquastyl.sk/vyrobky/prospekty/muk300pc_sk.pdf)
- [15] Dilenské měřidlo UD 100. *Mesing* [online]. 2017 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://www.mesing.cz/index.php?s=dilenska&o=4>

- [16] What's the Difference Between Bearings? machine design. [online]. 26. 8. 2015 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://machinedesign.com/whats-difference-between/what-s-difference-between-bearings-1>
- [17] Koyo catalogue. *Koyo bearings* [online]. 1997 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://www.koyo.com.br/upload/koyo/cat203ex%20-%20Ball%20&%20Roller%20Bearings.pdf>
- [18] *5S pro operátory: 5 pilířů vizuálního pracoviště*. Brno: SC&C Partner, c2009. Shopfloor series. ISBN 978-80-904099-1-0.

## 13 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

### 13.1 Seznam zkratek

Aj. – a jiné

Atd. – a tak dále

FMEA – failure and mode effects analysis

Obr. – obrázek

Tab. – tabulka

Tj. – to jest

Tzn. – to znamená

Tzv. – takzvaný

### 13.2 Seznam symbolů

°C – stupeň celsia

% – procento

Ø – průměr

Cr – chrom

CH<sub>3</sub>OH – metanol

Mn – mangan

Mo – molybden

N<sub>2</sub> – dusík

Ks – kus

Kč – koruna česká

kN – kilo Newton

1/min – otáčky za minutu

m – metr

mm/sec – milimetr za sekundu

mm – milimetr

µm – mikrometr

### 13.3 Seznam tabulek

TAB. 1) NESHODNÉ VÝROBKY.....	44
TAB. 2) NESHODNÉ VÝROBKY DLE PRACOVIŠTĚ .....	45
TAB. 3) ZVOLENÉ HODNOTY ŘEZNÉHO NÁSTROJE PRO MĚŘENÍ VNITŘNÍHO PNUTÍ .....	50
TAB. 4) VÝSLEDKY MĚŘENÍ VNITŘNÍHO PNUTÍ .....	51
TAB. 5) MĚŘENÍ VNITŘNÍHO PNUTÍ PO VYBRÁNÍ JEDNOHO DODAVATELE.....	52
TAB. 6) VÝBĚR KLEŠTINOVÉHO UPÍNAČE .....	56
TAB. 7) SOUČASNÝ CNC SOUSTRUH.....	57
TAB. 8) VÝBĚR PODAVAČE.....	57
TAB. 9) VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ ZÁVISLOSTI ROVINNOSTI ČELA NA KRUHOVITOSTI VNITŘNÍHO PRŮMĚRU .....	61
TAB. 10) STANOVENÍ GEOMETRICKÉ TOLERANCE ROVINNOSTI ČELA.....	61
TAB. 11) TABULKA S VÝSKYTEM KOROZE: .....	63
TAB. 12) NESHODNÉ VÝROBKY PO ÚPRAVĚ PROCESŮ .....	66
TAB. 13) NESHODNÉ VÝROBKY PO ÚPRAVĚ PROCESŮ DLE PRACOVIŠTĚ ..	66
TAB. 14) NÁVRATNOST PODAVAČE .....	67
TAB. 15) NÁKLADY NA KLEŠTINOVÝ UPÍNAČ .....	67
TAB. 16) NÁKLADY NA ÚPRAVU PROCESŮ TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ.....	68
TAB. 17) EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ ÚPRAV .....	69

### 13.4 Seznam obrázků

OBR. 1) VÁLEČKOVÉ LOŽISKO [16].....	19
OBR. 2) JEHLIČKOVÉ LOŽISKO [16].....	19
OBR. 3) SKLAD POLOTOVARŮ .....	20
OBR. 4) SOUSTRUŽENÍ.....	21
OBR. 5) CNC JEDNO VŘETENOVÝ SOUSTRUH .....	21
OBR. 6) VRTÁNÍ OTVORŮ DO KROUŽKŮ.....	21
OBR. 7) VSÁZKA DO PRŮBĚŽNÉ PECE .....	23
OBR. 8) BROUŠENÍ ČEL .....	24
OBR. 9) VODÍCÍ LIŠTY K BRUSCE ČEL.....	24
OBR. 10) BROUŠENÍ VNĚJŠÍHO PRŮMĚRU .....	25
OBR. 11) VZÁJEMNÉ USTAVENÍ PŘI BEZHROTÉM BROUŠENÍ [4].....	25
OBR. 12) BROUŠENÍ VNITŘNÍHO PRŮMĚRU .....	26
OBR. 13) BROUŠENÍ VNITŘNÍHO OTVORU .....	26
OBR. 14) HONOVÁNÍ ROTAČNÍ SOUČÁSTI [4] .....	27



OBR. 15)HONOVÁNÍ OBĚŽNÉ DRÁHY .....	27
OBR. 16)ÚBĚR MATERIÁLU PŘI HONOVÁNÍ V ZÁVISLOSTI NA ČASE [4].....	28
OBR. 17)SLOŽENÍ HONOVACÍHO KAMENE [4].....	28
OBR. 18)LASER PRO ZNAČENÍ LOŽISEK.....	29
OBR. 19)OZNAČENÝ KROUŽEK .....	29
OBR. 20)AUTOMATIZOVANÁ MONTÁŽ LOŽISKA.....	30
OBR. 21)A) KLEC LOŽISKA B) VALIVÉ ELEMENTY LOŽISKA - VÁLEČKY[8]30	
OBR. 22)BALENÍ LOŽISEK .....	31
OBR. 23)CHYBĚJÍCÍ MATERIÁL NA VNITŘNÍM PRŮMĚRU.....	31
OBR. 24)MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ ŠÍŘKY V LINCE ID .....	32
OBR. 25)DÍLENSKÉ MĚŘIDLO UD100 [15] .....	32
OBR. 26)MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJ MUK-300F PC [14].....	33
OBR. 27)LOŽISKO KOYO S PŘIPOJOVACÍMI ROZMĚRY [17].....	35
OBR. 28)OVALITA [13].....	36
OBR. 29)REÁLNÁ KRUHOVITOST-VELKÁ OVALITA.....	36
OBR. 30)A) ROVINNOST ČELA – NEŽÁDOUCÍ TVAR, B) ROVINNOST KROUŽKU - IDEÁLNÍ TVAR.....	37
OBR. 31)ROZLOŽENÍ ZATÍŽENÍ PŘI A) KONKÁVNÍM TVARU, B) ROVNÉM TVARU, C) KONVEXNÍM TVARU [8].....	38
OBR. 32)A) CHYBĚJÍCÍ MATERIÁL NA VNITŘNÍM A VNĚJŠÍM PRŮMĚRU KROUŽKU, B) CHYBĚJÍCÍ MATERIÁL NA ČELE KROUŽKU.....	39
OBR. 33)VRYP NA ČELE KROUŽKU .....	39
OBR. 34)REZ NA VNĚJŠÍM PRŮMĚRU.....	40
OBR. 35)TVAROVÉ DEFORMACE KROUŽKŮ .....	40
OBR. 36)VNĚJŠÍ KROUŽEK MĚŘENÉHO LOŽISKA .....	41
OBR. 37)A) VYVAŽOVACÍ JEDNOTKA KLIKOVÉ HŘÍDELE-VERZE 1 [11], B) SCHÉMA MOTORU S UMÍSTĚNÍM LOŽISEK-VERZE 2 [10] .....	41
OBR. 38)VÝROBNÍ DIAGRAM 1/2.....	42
OBR. 39)VÝROBNÍ DIAGRAM 2/2.....	43
OBR. 40)A) GRAF SCRAP COST, B) GRAF POČET NESHODNÝCH VÝROBKŮ	45
OBR. 41)ZMETKOVITOST VÝROBKU-PŮVODNÍ .....	46
OBR. 42)FMEA PRO PŘÍJEM POLOTOVARU .....	49
OBR. 43)A) ROZŘEZÁNÍ KROUŽKU PRO ZMĚŘENÍ VNITŘNÍHO PNUTÍ, B) MĚŘENÍ MEZERY POSUVNÝM MĚŘIDLEM .....	50
OBR. 44)NAŘEZANÉ VZORKY .....	51

OBR. 45)A) UKLÁDÁNÍ MATERIÁLU V KAMIONU, B) SKLADOVÁNÍ MATERIÁLU, C) MANIPULACE S MATERIÁLEM-ZVEDÁNÍ, D) ŘEZÁNÍ MATERIÁLU PRO POTŘEBNOU DÉLKU .....	53
OBR. 46)A) TŘÍČELISŤOVÉ SKLÍČIDLO, B) KLEŠŤINOVÝ UPÍNAČ .....	55
OBR. 47)A) KRUHOVITOST PŘI POUŽITÍ TŘÍČELISŤOVÉHO SKLÍČIDLA, B) KRUHOVITOST PŘI POUŽITÍ KLEŠŤINOVÉHO UPÍNAČE .....	55
OBR. 48)KRUHOVITOST VNĚJŠÍHO PRŮMĚRU (SKLÍČIDLO A KLEŠŤINOVÝ UPÍNAČ).....	56
OBR. 49)A) PŮVODNÍ PODÁVACÍ AUTOMAT FEDEK , B) NOVÝ PODÁVACÍ AUTOMAT IEMCA .....	57
OBR. 50)A) SYPANÁ VSÁZKA .....	58
OBR. 51)A) SKLÁDÁNÍ KROUŽKŮ PŮVODNÍ VERZE BEZ DISTANČNÍCH KROUŽKŮ, B) SKLÁDÁNÍ KROUŽKŮ BEZ DISTANČNÍCH KROUŽKŮ – VELIKOST ZATÍŽENÍ.....	58
OBR. 52)SKLÁDÁNÍ KROUŽKŮ S DISTANČNÍMI KROUŽKY (BEZ ZATÍŽENÍ)58	
OBR. 53)KRUHOVITOST PŘED A PO TZ (BEZ DISTANČNÍCH KROUŽKŮ) .....	59
OBR. 54)ČETNOST ROVINNOSTÍ ČEL PO TZ.....	59
OBR. 55)ČETNOST KRUHOVITOSTÍ VNĚJŠÍHO PRŮMĚRU PO TZ.....	60
OBR. 56)ČETNOST KRUHOVITOSTÍ VNITŘNÍHO PRŮMĚRU PO TZ.....	60
OBR. 57)GRAF ZÁVISLOSTI ROVINNOSTI ČELA NA KRUHOVITOSTI VNITŘNÍHO PRŮMĚRU .....	62
OBR. 58)KOROZE NA ČELE KROUŽKU .....	63
OBR. 59)ZMETKOVITOST KROUŽKU – NOVÉ .....	65

## 14 SEZNAM PŘÍLOH

CD s Excel souborem naměřených dat

FMEA



# PŘÍLOHY

## FMEA formulář

FMEA-formulář			Legenda:							Název		Výroba ložiskového kroužku				
konstrukční FMEA			P	Závažnost chyby				Č. součásti:		327						
			Vý	Výskyt chyby				Vyhotořili:		Bc. Pavel Studýnka						
			O	Pravděpodobnost odhalení chyby				Dne:		28.5.2016						
Atribut / systém	Potenciální chyba	Potenciální následky	Potenciální příčiny chyby	Současný stav: Preventivní a kontr. opatření	Zá	Vý	O	PRČ	Doporučené opatření	Závažný termín	Zlepšený stav: Vhodná opatření	Zá	Vý	O	PRČ	
Výroba																
Příjem polotovaru	Dodaný polotovar mimo rozměrovou toleranci	Nepřesné soustružení	Dodavatel neprovádí výstupní kontrolu polotovaru	Náhodná kontrola polotovaru při vstupní kontrole	7	4	5	140	Častější kontrola rozměrů polotovaru	Každá dodávka	Kontrola rozměrů každého dodaného polotovaru	7	4	2	56	
			Nevhodné výrobní procesy u dodavatele	Audity u dodavatele 1 krát za rok	7	4	4	112	Audity u dodavatele	Čtvrtletně	Častější kontrola výroby u dodavatele polotovaru	7	4	3	84	
	Vnitřní pnutí polotovaru	Tvarové deformace, nestálost rozměrů	Nestálá kvalita dodávaného polotovaru z důvodu více dodavatelů	X	5	5	4	100	Upozornit dodavatele na špatnou kvalitu, pokud nedojde ke zlepšení vybrat jednoho výhradního dodavatele	10.1.2017	V případě jednoho dodavatele: Audity pouze u jednoho dodavatele, zamezení variability kvality dodávaného polotovaru	5	2	4	40	
			Nevhodné výrobní procesy u dodavatele	Audity u dodavatele 1 krát za rok	7	5	6	210	Častější měření vnitřního pnutí, častější kontroly u dodavatele	Každá zakázka	Měření vnitřního pnutí každé dodané zakázky	2	5	3	30	
			Nevhodné skladování materiálu	Vstupní školení obsluhy pro práci s materiálem	6	5	6	180	Standardizované skladování materiálu dle 5S	10.11.2017	Standardizovat postupu pro manipulaci s materiálem, vytvořit pracovní postupy	6	3	3	54	
			Nevhodné manipulace s materiálem (pád,...)	Základní pokyny pro práci s materiálem	6	5	5	150	Vytvoření 5S pro manipulaci s materiálem	10.11.2017	Návodka pro obsluhu se správnou manipulací s materiálem	6	3	3	54	

Soustružení	Velká kruhovitost	Vyřazení obrobku do scrapu	Kruhovitost od sklíčidla	Mezioperační kontrola, vyřazení do scrapu	7	5	5	175	Výměna tříčelistových sklíčidel za kletinové upínače	10.11.2017	Rozložení tlaku do celé plochy polotovaru díky kleštinovému upínači	7	4	2	56	
			Chyby neproškolené obsluhy	Dozor školitele nad novým operátorem po 3 měsíce	6	5	5	150	Prodloužení doby školení	od 2.1.2017	Prodloužení doby školení ze 3 na 4 měsíce	5	3	3	45	
			<u>Chyby operátora (nedostatečná pozornost nad konaným úkonem)</u>	Kontrola mistrem	6	5	5	150	Úprava podmínek práce	2.1.2017	<b>Zákaz používání mobilních telefonů na pracovišti, kuřácké pauzy se nebudou počítat do odpracovaných hodin, při odchodu na kuřáckou pauzu se bude procházet terminálem</b>	3	3	3	27	
			Špatně seřízené CNC	Odborná znalost obsluhy, vstupní školení	6	6	5	180	Vyškolit obsluhu specializovanou firmou	Každý zaměstnanec	Proškolení nových zaměstnanců firmy	4	3	3	36	
			Vnitřní pnutí (nevhodná manipulace s materiálem, nevhodné skladování materiálu)	Vstupní školení obsluhy pro práci s materiálem	5	5	5	125	Standardizované skladování materiálu dle 5S	10.11.2017	Standardizovat postupu pro manipulaci s materiálem, vytvořit pracovní postupy	4	4	2	32	
				Základní pokyny pro práci s materiálem	5	4	4	80	Vytvoření 5S pro manipulaci s materiálem	10.11.2017	Návodka pro obsluhu se správnou manipulací s materiálem	4	3	3	36	
	Rozměr mimo toleranci	ID, OD a šířka mimo toleranci	Chyby operátora	Viz. chyby operátora (nedostatečná pozornost nad konaným úkonem)												
			Špatně seřízené CNC	Odborná znalost obsluhy, vstupní školení	6	6	5	180	Vyškolit obsluhu specializovanou firmou	Každý zaměstnanec	Proškolení nových zaměstnanců firmy	4	3	3	36	
			Vnitřní pnutí	Viz. vnitřní pnutí - příjem materiálu												
	Vizuální vady na povrchu	Vyřazení kusu do scrapu	Špatně seřízené CNC	Odborná znalost obsluhy, vstupní školení	6	6	5	180	Vyškolit obsluhu specializovanou firmou	Každý zaměstnanec	Proškolení nových zaměstnanců firmy	4	3	3	36	
			Chyby operátora	Viz. chyby operátora (nedostatečná pozornost nad konaným úkonem)												
	Tepelné zpracování	Tvarové deformace	Velká kruhovitost a rovinnost	Nerovnoměrné zahřívání vsázky	X	8	8	5	320	Využití proložek a distančních kroužků	Každá zakázka	Kusy <b>NESYPAT</b> , ale pokládat na proložky a každá vyšší vrstva je položena na distanční kroužky, které zamezí, aby kusy ležely na sobě	4	3	3	36
				Deformace vlivem zatížení vahou kusů ve vsázce	X	9	8	5	360			4	3	3	36	



Broušení vnějšího průměru	Rozměr mimo toleranci	Vnější průměr mimo toleranci	Špatné seřízení brusného a podávacího kotouče	Odborná znalost obsluhy, vstupní školení	6	6	5	180	Vyškolit obsluhu specializovanou firmou	Každý zaměstnanec	Proškolení nových zaměstnanců firmy	4	3	3	36		
			Chyby operátora	Viz. chyby operátora (nedostatečná pozornost nad konaným úkonem)													
			Neorovnění brusného kotouče diamantem	Orovnávání kotouče po x kusech	5	4	4	80	Orovnávat kotouč po stanoveném počtu obroušených kusů	každá zakázka	brusný kotouč bude na každé zakázce orovněván, orovnění bude nastaveno při seřízení stroje a stanoveno na přesný počet kusů na 1 orovnění	4	3	3	36		
	Rozměrová nestálost z důvodu vnitřního pnutí	Viz. vnitřní pnutí - příjem materiálu															
Velká kruhovitost OD	Vyřazení kusů z důvodu velké kruhovitosti vnějšího průměru		Rozměrová nestálost z důvodu vnitřního pnutí	Viz. vnitřní pnutí - příjem materiálu													
			Špatné seřízení brusného a podávacího kotouče	Odborná znalost obsluhy, vstupní školení	6	6	5	180	Vyškolit obsluhu specializovanou firmou	Každý zaměstnanec	Proškolení nových zaměstnanců firmy	4	3	3	36		
			Pozdní orovnění brusného kotouče obsluhou	Viz. chyby operátora (nedostatečná pozornost nad konaným úkonem)													
Broušení čel	Velká rovinnost čel	Nerovnoměrné uchycení v magnetickém unášeči při broušení vnitřního průměru, vedoucí k ovalitě a vyřazení kusu	Špatné uchycení kroužku v unášeči při broušení otvoru	Závisí na odborné znalosti seřizovače	7	6	5	210	X	X	X						
			Chybějící mezioperační kontrola		8	8	5	320	Měřit náhodné kusy ze zakázky po broušení čel na rovinnost	Každá zakázka	Zavedení mezioperační kontroly na měření rovinnosti čel	4	4	3	48		
			Špatné vzájemné nastavení brusných kotoučů	Závisí na odborné znalosti seřizovače	6	8	5	240	X	X	X						

Linka na broušení ID	Velká kruhovitost ID	Vyřazení kusu jako neshodný výrobek, přebroušení vnitřního průměru	Špatné seřízení stroje seřizovačem	Viz. chyby operátora (nedostatečná pozornost nad konaným úkonem)											
			Opotřebený brusný kotouč	Výměna kotouče po x kusech	6	5	5	150	X	X	X				
			Velká rovinnost na čelech kroužků						Měřit náhodné kusy ze zakázky po broušení čel na rovinnost	Každá zakázka	Zavedení mezioperační kontroly na měření rovinnosti čel	4	4	3	48
	Rozměr ID mimo toleranci	Vyřazení kusu jako neshodný výrobek, přebroušení vnitřního průměru, případně přebroušení čel	Špatné seřízení stroje operátorem	Viz. chyby operátora (nedostatečná pozornost nad konaným úkonem)											
			Opotřebený brusný kotouč	Výměna kotouče po x kusech	6	5	5	150	X	X	X				
			Velká rovinnost na čelech kroužků						Měřit náhodné kusy ze zakázky po broušení čel na rovinnost	Každá zakázka	Zavedení mezioperační kontroly na měření rovinnosti čel	4	4	3	48
Přímost (konkávní tvar oběžné dráhy)	Nerovnoměrné rozložení tlaku na oběžnou dráhu v aplikaci ložiska	Špatné seřízení stroje, vadný brusný kotouč	Kontrola seřízení stroje po prvních kusech zakázky	4	3	3	36	X	X	X					
Poškozený brusný kotouč	Špatná přímost broušeného otvoru	Výměna po x kusech	Kontrola rozměrů a přímosti vnitřního otvoru po broušení	5	5	6	150	X	X	X					
KKK	Vizuální vady (vryp, chybějící materiál po broušení, koroze...)	Vyřazení kusů jako neshodné výrobky	Dlouhá doba mezi operacemi a konzervací před expedicí	Přidávání konzervačních aditiv při broušení	5	5	6	150	Stanovit maximální dobu od zahájení operací a expedicí kroužků	10.1.2017	Zkrácení doby před zahájením operací na kroužku a finální konzervací před expedicí	3	3	4	36