

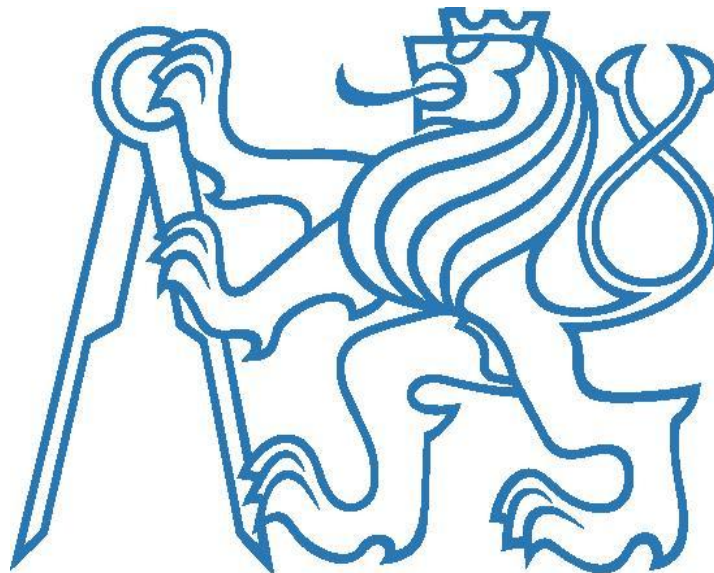
**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**12134 - Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**

**VLIV TECHNOLOGIE A KONCEPTU UPNUTÍ NA  
KVALITU OZUBENÝCH DÍLŮ PŘEVODOVKY  
MQ200**

**The impact of technology and the concept of fixation on the  
quality of work gearing gearbox MQ 200**

**Diplomová práce**



**Autor:** Bc. Jan Jágr  
**Studijní obor:** Výrobní a materiálové inženýrství  
**Vedoucí práce:** Ing. BcA. Jan Podaný, Ph.D.

**Praha 2017**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jágr** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **408881**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Vliv technologie a konceptu upnutí na kvalitu ozubení dílů převodovky MQ 200**

Název diplomové práce anglicky:

**The impact of technology and the concept of fixation on the quality of work gearing gearbox MQ 200**

Pokyny pro vypracování:

1. Charakteristika převodovek a ozubených dílů
2. Teorie úchylek ozubení
3. Charakteristika měřicích metod a měřidel
4. Popis kvality výrobků, porovnání a optimalizace
5. Návrh a doporučená opatření

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. BcA. Jan Podaný Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **20.04.2017** Termín odevzdání diplomové práce: **15.07.2017**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne 15.6. 2017

Jan Jágr

.....

Rád bych poděkoval především vedoucímu práce Ing. BcA. Janu Podanému, Ph.D. a odbornému konzultantovi ze ŠKODA AUTO a.s. Ing. Miroslavu Hejčmanovi za neocenitelnou pomoc, vstřícnost a nadhled při spolupráci na vypracovávání diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval Vladimíru Mocovi a Jaroslavu Markovi za pomoc při zajišťování výroby zkouškových dílů a pomoc při analýze vlivů jednotlivých technologií.

Nakonec bych rád vyjádřil své díky Jaroslavu Svobodovi a osazenstvu kontrolního měrového střediska na hale M2 závodu ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi za seznámení s obsluhou souřadnicových měřicích strojů, zajištění potřebné kapacity pro měření a cenné rady.

## **Abstrakt**

Cílem práce je posouzení kvalitativních dat ozubení u dílu 02T 311 251 N (řadicí kolo 1. rychlosti) převodovky MQ 200 a porovnání s kvalitou dílu 0CF 311 250 C (řadicí kolo 1. rychlosti) technologicky novější převodovky MQ 100 v jednotlivých fázích výroby. Hlavním úkolem je porovnání a optimalizace obou již nasazených technologií výroby, výběr nejvhodnějšího konceptu upnutí dílů během operace broušení centrálního otvoru a porovnání technologie broušení otvorů ozubených kol s alternativní technologií honování otvorů používanou při výrobě dílů převodovky MQ100. Vedlejšími úkoly jsou potom porovnání vlivu olejové a plynové (vakuové) kalírny na jednotlivé parametry ozubení s ohledem na polohu dílů na kalicím roštu v rámci jedné kalírenské vsázky a zhodnocení vlivu navaření synchronního kroužku na kvalitu synchronního ozubení.

## **Klíčová slova**

Kvalita, kontrola, měření, ozubení, ozubená kola, převodovky, metrologie

## **Abstract**

The aim of this paper is the assessment of data regarding the quality of gearing of MQ 200 component 02T 311 251 N (ratchet wheel of the 1st gear) and its comparison to the newer gearbox MQ 100 part 0CF 311 250 C (ratchet wheel of the 1st gear) in the individual phases of its manufacturing. The main goal is the comparison and optimisation of both presently used manufacturing technologies, the choice of the most appropriate concept of working parts fixation during the process of central bore grinding and the comparison of gear wheel central bore grinding technology to the alternative technology of honing used during the manufacturing of MQ 100 gearbox components. The secondary goals are the comparison of the influence of oil vs gas (vacuum) hardening shop on the gearing parameters (depending on the part placement on the hardening grate) and assessment of the influence of dog gear welding on the synchronous gear quality.

## **Keywords**

Quality, control, measurement, gear, wheel gear, gear boxes, metrology

## Seznam použitých zkratk

MQ 200 – typ automobilové převodovky s maximálním přenášeným momentem do 200 Nm

MQ 100 – typ automobilové převodovky s maximálním přenášeným momentem do 120 Nm

02T 311 251 N – řadicí kolo 1. rychlosti převodovky MQ 200 (honované ozubení)

02T 311 251 B – řadicí kolo 1. rychlosti převodovky MQ 200 (ševingované ozubení)

OCF 311 250 C – řadicí kolo 1. rychlosti převodovky MQ 100 (honované ozubení)

OCF 311 291 B – synchronní kroužek pro řadicí kolo 1. rychlosti převodovky MQ 100

VW – Koncern Volkswagen

K3D (Klingelberg 3D)- systém měřící hlavy stroje Klingelberg P26

ALD (ALD Modul Therm) – systém kalení v přetlaku hélia

IT – stupeň přesnosti

HV30 – tvrdost dle Vickerse při zatížení silou 294 N

HV10 – tvrdost dle Vickerse při zatížení silou 98 N

$F_{pz/8}$  - součtová úchylka čelní rozteče za 1/8 zubů kola

$F_r$  - mezní obvodové (radiální) házení

$f_{pt}$  - úchylka čelní rozteče

$F_\alpha$  – celková úchylka profilu

$f_i''$  - úchylka dvoubokého odvalu za jednu rozteč

$f_i'$  - úchylka jednobokého odvalu za jednu rozteč

$F_p$  - mezní součtová úchylka roztečí

$f_{f\alpha}$  - úchylka tvaru profilu

$f_{H\alpha}$  - úchylka úhlu profilu

Var  $f_{H\alpha}$  – rozpětí hodnot úchylek úhlu profilu

$F_i''$  - úchylka dvoubokého odvalu

$F_i'$  - úchylka jednobokého odvalu

$L_\alpha$  - hodnocený úseku při měření profilu zubu

$F_\beta$  – celková úchylka sklonu zubu

$z$  - počet zubů kola

$m_n$  - modul kola v normální rovině

$f_{f\beta}$  - úchylka tvaru sklonu zubu

$\beta$  - úhel sklonu šroubovice

$d_a$  - průměr hlavové kružnice

$d_m$  - průměr roztečné kružnice

$f_{H\beta}$  - úchylka úhlu sklonu zubu

Var  $f_{H\beta}$  - rozpětí hodnot úchylek úhlu sklonu zubů

$L_\beta$  - hodnocený úsek při měření sklonu zubu

$\alpha$  - úhel záběru

$\alpha_n$  - úhel záběru v normální rovině

$D_M$  - průměr (válečku) kuličky při měření rozměru přes kuličky

$R_s$  - poloměr kružnice od středu kola ke středu válečku (kuličky) při měření přes kuličky

$M_{dK}$  - rozměr přes kuličky

Ra - průměrná aritmetická úchylka  
povrchu

HRC – tvrdost dle Rockwella

J10 – prokalitelnost materiálu v hloubce  
10 mm dle Jominyho

CNC - computer numerical control  
(numericky řízené stroje)

CMM - coordinate measuring machine  
(souřadnicové měřicí stroje)

# Obsah

Obsah.....	7
Seznam obrázků .....	9
Seznam tabulek.....	12
1 Úvod.....	14
2 Historie ŠKODA AUTO a.s. ....	14
3 Popis funkce klasické mechanické dvouhřídelové převodovky .....	16
4 Převodovka MQ 200.....	18
5 Převodovka MQ 100.....	19
6 Lícování ozubených kol.....	19
6.1 Skupina úchylek kinematické přesnosti .....	20
6.2 Skupina úchylek plynulosti chodu .....	20
6.3 Skupina úchylek dotyku zubů .....	20
6.4 Boční vůle .....	21
7 Popis a způsob měření vybraných úchylek ozubených kol vyhodnocovaných ve ŠKODA AUTO a.s. ....	21
7.1 Kontrola tloušťky zubů .....	24
7.1.1 Kontrola rozměru přes kuličky (válečky) $M_{dk}$ .....	24
7.1.2 Měření rozměru přes kuličky na CMM strojích .....	26
7.2 Kontrola profilu zubu.....	26
7.2.1 Úchyly profilu zubu .....	26
7.2.2 Měření úchylek profilu zubu .....	28
7.3 Kontrola sklonu zubů .....	28
7.3.1 Úchyly sklonu zubů .....	28
7.3.2 Měření úchylek sklonu zubů.....	30
7.4 Kontrola radiálního házení .....	30
7.4.1 Měření radiálního házení .....	30
7.5 Kontrola roztečí.....	30
7.5.1 Úchyly roztečí.....	31
7.5.2 Měření čelní rozteče.....	32
8 Návrh experimentu .....	33
8.1 Charakteristika vybraných kol (OCF 311 250 C a 02T 311 251 N).....	33
8.2 Měřené parametry ozubení .....	34
9 Použité měřicí stroje a přístroje .....	35
9.1 Klingelberg P26 .....	35
9.2 Číselníkový úchylkoměr (Pupitas).....	37
10 Použité měřicí trny a upnutí dílů při měření při měření.....	38
11 Přesnost provedených měření .....	41
12 Výroba polotovarů ozubených kol .....	42
13 Výroba ozubených kol 02T 311 251 N a OCF 311 250 C .....	43



14	Vliv výrobních operací na kvalitu ozubení .....	44
14.1	Soustružení ozubených kol.....	45
14.1.1	Soustružení ozubených kol 02T 311 251 N (MQ 200) .....	45
14.1.2	Soustružení ozubených kol 0CF 311 250 C (MQ 100).....	46
14.2	Obrázení synchronního ozubení.....	47
14.2.1	Obrázení synchronního ozubení kol 02T 311 251 N (MQ 200).....	47
14.3	Frézování valivého ozubení kol .....	48
14.3.1	Frézování ozubení kol 02T 311 251 N (MQ 200) .....	49
14.3.2	Frézování ozubení kol 0CF 311 250 C (MQ 100).....	50
14.4	Ševingování ozubených kol .....	51
14.5	Svařování synchronů ozubených kol .....	51
14.5.1	Svařování kol laserovým paprskem .....	52
14.5.2	Svařování kol elektronovým paprskem .....	52
14.5.3	Laserové svařování synchronních věnečků ozubených kol 0CF 311 250 C (MQ 100) .....	53
14.5.4	Elektronové svařování synchronních věnečků ozubených kol 0CF 311 250 C (MQ 100) .....	60
14.6	Zhodnocení vlivu technologie svařování na kvalitu synchronního ozubení.....	63
14.7	Kalení ozubených kol.....	64
14.7.1	Kalení ozubených kol 02T 311 251 N (MQ 200) v oleji .....	64
14.7.2	Kalení kol ozubených 0CF 311 250 C (MQ 100) v přetlaku helia.....	72
14.7.3	Porovnání technologií tepelného zpracování ozubení kol 02T 311 251 N a 0CF 311 250 C ..	78
14.8	Broušení centrálního otvoru ozubených kol .....	79
14.8.1	Broušení otvorů a systém upnutí ozubených kol 02T 311 251 N (MQ 200) na stroji Reinecker ISAA 200 .....	80
14.8.2	Broušení otvorů a systém upnutí ozubených kol 02T 311 251 N (MQ 200) na stroji Buderus CNC 235 .....	83
14.8.3	Porovnání stávajících způsobů upnutí během operace broušení centrálního otvoru .....	86
14.8.4	Broušení centrálních otvorů ozubených kol 02T 311 251 N (MQ 200) s novým upínačem stroje Reinecker ISAA 200 .....	89
14.8.5	Porovnání nového systému upnutí při operaci broušení centrálního otvoru ozubených kol se stávajícími upínači.....	92
14.8.6	Stabilita nového upínače.....	95
14.9	Honování centrálního otvoru ozubených kol .....	98
14.9.1	Honování centrálních otvorů kol 0CF 311 250 C (MQ 100) .....	99
14.10	Porovnání technologie honování a broušení centrálních otvorů ozubených kol .....	102
14.11	Honování ozubení .....	108
14.11.1	Honování ozubení kol 02T 311 251 N (MQ 200) a 0CF 311 250 C (MQ 100) .....	108
14.12	Vliv opracování centrálního otvoru na průběh honování ozubení a výslednou kvalitu dílů .....	113
	Závěr.....	119
	Seznam použité literatury.....	122
	Seznam příloh.....	125

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Funkce převodovky .....	16
Obrázek 2:Převodovka MQ200 .....	18
Obrázek 3: Převodovka MQ100 .....	19
Obrázek 4: Protokol měření ozubení - strana 1 .....	22
Obrázek 5: Protokol měření ozubení - strana 2.....	23
Obrázek 6: Měření rozměru přes kuličky .....	24
Obrázek 7: Souhrnné zobrazení úchylek profilu zubu .....	27
Obrázek 8: Úhlová úchylka profilu zubu fH $\alpha$ .....	27
Obrázek 9: Kontrola profilu evolventy ozubení .....	28
Obrázek 10: Souhrnné zobrazení úchylek úhlu sklonu zubu .....	29
Obrázek 11: Úhlová úchylka sklonu zubu fH $\beta$ .....	29
Obrázek 13: Součtová úchylka roztečí kola Fp .....	31
Obrázek 12: Úchylka čelní rozteče f $\rho$ t .....	31
Obrázek 14:Součtová úchylka čelní rozteče za 1/8 zubů kola - Fpz/8 .....	31
Obrázek 15: Úhlová indexová metoda měření čelních roztečí .....	32
Obrázek 16: Kolo 02T 311 251 N (vlevo) a kolo 0CF 311 250 C (vpravo) .....	33
Obrázek 17: Vliv technologických operací na parametry fH $\beta$ a Var fH $\beta$ .....	35
Obrázek 18: Zobrazení os stroje KlingelInberg P26 .....	35
Obrázek 19: Stroj KlingelInberg P26 .....	36
Obrázek 20: Uložení talířků stroje KlingelInberg P26 .....	36
Obrázek 21: Mitutoyo anti-magnetic (JTY452) .....	38
Obrázek 22: Upínač UNIMATIC MODELL 3A. ....	39
Obrázek 23: Kleštinové upínače pro kola 02T 311 251 N .....	39
Obrázek 24: Kleštinové upínače pro synchronní kroužky 0CF 311 291 B.....	40
Obrázek 25: Unašeč P26 .....	40
Obrázek 26: Výroba polotovarů ozubených kol ve ŠKODA AUTO a.s. ....	42
Obrázek 27: Schéma výroby ozubených kol 0CF 311 250 C .....	43
Obrázek 28:Schéma výroby ozubených kol 02T 311 251 N (resp. B).....	43
Obrázek 29: Díly 02T 311 251 N V jednotlivých stádiích výroby .....	44
Obrázek 30: Díly 0CF 311 250 C V jednotlivých stádiích výroby.....	44
Obrázek 31: Přehled jednotlivých sérií ozubených kol .....	45
Obrázek 32: Stroj EMAG VSC 200 Duo a upnutí během soustružení.....	46
Obrázek 33: Stroj EMAG VL3 a upnutí během soustružení .....	47
Obrázek 34: Obrázení ozubených kol .....	47
Obrázek 35: Stroj Lorenz LS 122 a upnutí během obrázení synchronního ozubení .....	48
Obrázek 36: Odvalovací frézování .....	48
Obrázek 37: Stroj OFA 32 a upnutí během frézování ozubení .....	49
Obrázek 38: Stroj Pfauter 210 HiC a upnutí během frézování ozubení .....	50
Obrázek 39: Ševingovací deska .....	51
Obrázek 40: Svařovací stroj Arnold.....	52
Obrázek 41: Svařovací stroj PTR.....	53
Obrázek 42: Hodnota součtové úchylky roztečí (levý bok) po navaření na stroji Arnold -(série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	55

Obrázek 43: Hodnota součtové úchyly roztečí (pravý bok) po navaření na stroji Arnold -(série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	55
Obrázek 44: Hodnota radiálního házení po navaření na stroji Arnold - (série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	56
Obrázek 45: Vliv svařování na stroji Arnold na úchyly součtových roztečí (levý bok) -(série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	56
Obrázek 46: Vliv svařování na stroji Arnold na úchyly součtových roztečí (pravý bok) -(série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	57
Obrázek 47: Vliv svařování na stroji Arnold na radiální házení synchronního ozubení - (série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	57
Obrázek 48: Vliv svařování na stroji Arnold (po seřizení) na úchyly součtových roztečí (levý bok) -(série 10ks dílu 0CF 311 250 C) .....	59
Obrázek 49: Vliv svařování na stroji Arnold (po seřizení) na úchyly součtových roztečí (pravý bok) -(série 10ks dílu 0CF 311 250 C) .....	59
Obrázek 50: Vliv svařování na stroji Arnold (po seřizení) na hodnotu radiálního házení -(série 10ks dílu 0CF 311 250 C) .....	60
Obrázek 51: Porovnání vlivu technologií svařování na hodnoty součtových úchylek roztečí (levý bok) .....	62
Obrázek 52: Porovnání vlivu technologií svařování na hodnoty součtových úchylek roztečí (pravý bok) .....	62
Obrázek 53: Porovnání vlivu technologií svařování na hodnoty radiálního házení .....	63
Obrázek 54: Rozmístění zkušební série kol 02T 311 251 N na kalicím roštu .....	64
Obrázek 55: Hodnoty úchylek sklonu zubů (levý bok) po operaci kalení (série 110ks dílu 02T 311 251 N).....	66
Obrázek 56: Hodnoty úchylek sklonu zubů (pravý bok) po operaci kalení (série 110ks dílu 02T 311 251 N) ..	67
Obrázek 57: Hodnoty rozměru přes kuličky MdK po operaci kalení (série 110ks dílu 02T 311 251 N) .....	67
Obrázek 58: Vliv tepelného zpracování na úchyly sklonu zubů (levý bok) - Patro 1 (série 110ks dílu 02T 311 251 N) .....	68
Obrázek 59: Vliv tepelného zpracování na úchyly sklonu zubů (levý bok) - Patro 2 (série 110ks dílu 02T 311 251 N) .....	68
Obrázek 60: Vliv tepelného zpracování na úchyly sklonu zubů (levý bok) - Patro 3 (série 110ks dílu 02T 311 251 N) .....	69
Obrázek 61: Vliv tepelného zpracování na úchyly sklonu zubů (levý bok) - Patro 4 (série 110ks dílu 02T 311 251 N) .....	69
Obrázek 62: Vliv tepelného zpracování na úchyly sklonu zubů (levý bok) - Patro 5 (série 110ks dílu 02T 311 251 N) .....	70
Obrázek 63: Vliv tepelného zpracování na úchyly sklonu zubů (levý bok) - Patro 6 (série 110ks dílu 02T 311 251 N) .....	70
Obrázek 64: Vliv tepelného zpracování na úchyly sklonu zubů (levý bok) - Patro 7 (série 110ks dílu 02T 311 251 N) .....	71
Obrázek 65: Vliv tepelného zpracování na úchyly součtových roztečí - Patro 1 (série 110ks dílu 02T 311 251 N) .....	72
Obrázek 66: Rozmístění zkušební série kol 0CF 311 250 C na kalicím roštu .....	73
Obrázek 67: Hodnoty úchylek sklonu zubů (levý bok) po operaci kalení (série 50ks dílu 0CF 311 250 C).....	75
Obrázek 68: Hodnoty úchylek sklonu zubů (pravý bok) po operaci kalení (série 50ks dílu 0CF 311 250 C)...	75
Obrázek 69: Vliv tepelného zpracování na úchyly sklonu zubů (levý bok) - Patro 1 (série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	76
Obrázek 70: Vliv tepelného zpracování na úchyly sklonu zubů (levý bok) - Patro 3 (série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	76

Obrázek 71: Vliv tepelného zpracování na úchytky sklonu zubů (levý bok) - Patro 5 (série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	77
Obrázek 72: Vliv tepelného zpracování na úchytky sklonu zubů (levý bok) - Patro 7 (série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	77
Obrázek 73: Vnitřní cylindrické broušení .....	79
Obrázek 74: Stroj Reinecker ISAA 200 .....	80
Obrázek 75: Upínací systém stroje Reinecker (CAD modely byly vytvořeny v programu SolidWorks) .....	81
Obrázek 76: Stroj Buderus CNC 235 .....	83
Obrázek 77: Upínací systém stroje Buderus (CAD modely byly vytvořeny v programu SolidWorks) .....	84
Obrázek 78: Porovnání hodnot Var fH $\beta$ (levý bok) po operaci broušení centrálního otvoru v závislosti na způsobu upnutí.....	86
Obrázek 79: Porovnání vlivu způsobů upnutí při operaci broušení centrálního otvoru na parametr Var fH $\beta$ (levý bok).....	86
Obrázek 80: Porovnání hodnot ax. házení (spodní strana věnce) po operaci broušení centrálního otvoru v závislosti na způsobu upnutí .....	87
Obrázek 81: Porovnání vlivu způsobů upnutí při operaci broušení centrálního otvoru na parametr ax. házení (spodní strana věnce).....	87
Obrázek 82: Porovnání hodnot ax. házení nábojky po operaci broušení centrálního otvoru v závislosti na způsobu upnutí.....	88
Obrázek 83: Porovnání vlivu způsobů upnutí při operaci broušení centrálního otvoru na parametr ax. házení nábojky.....	88
Obrázek 84: Porovnání vlivu způsobů upnutí při operaci broušení centrálního otvoru na parametr radiálního házení .....	89
Obrázek 85: Porovnání vlivu způsobů upnutí při operaci broušení centrálního otvoru na parametr radiálního házení synchronního ozubení .....	89
Obrázek 86: Nový upínací systém stroje Reinecker (CAD modely byly vytvořeny v programu SolidWorks)....	90
Obrázek 87: Porovnání vlivu nového systému upnutí stroje Reinecker na kvalitu parametru Var fH $\beta$ (levý bok) se stávajícími upínači .....	93
Obrázek 88: Porovnání vlivu nového systému upnutí stroje Reinecker na kvalitu parametru Var fH $\beta$ (pravý bok) se stávajícími upínači .....	93
Obrázek 89: Porovnání vlivu nového systému upnutí stroje Reinecker na kvalitu ax. házení (spodní strana věnce) se stávajícími upínači .....	94
Obrázek 90: Porovnání vlivu nového systému upnutí stroje Reinecker na kvalitu radiálního házení se stávajícími upínači.....	94
Obrázek 91: Stabilita nového upínače stroje Reinecker- vliv na parametr Var fH $\beta$ (levý bok).....	97
Obrázek 92: Stabilita nového upínače stroje Reinecker- vliv na parametr F <sub>r</sub> .....	97
Obrázek 93: Stabilita nového upínače stroje Reinecker- vliv na parametr ax. házení (spodní strana věnce) ..	98
Obrázek 94: Schéma honování otvorů .....	98
Obrázek 95: Gehring L2-630-45.....	99
Obrázek 96: Vliv operace honování centrálního otvoru na úchytky Var fH $\beta$ (levý bok).....	101
Obrázek 97: Vliv operace honování centrálního otvoru na ax. házení věnců kol (spodní strana) .....	102
Obrázek 98: Porovnání vlivu technologií opracování centr. otvoru na úchytky Var fH $\beta$ (levý bok) .....	102
Obrázek 99: Porovnání vlivu technologií opracování centr. otvoru na úchytky Var fH $\beta$ (pravý bok).....	103
Obrázek 100: Porovnání vlivu technologií opracování centr. otvoru na radiální házení ozubených kol .....	103
Obrázek 101: Porovnání vlivu technologií opracování centr. otvoru na ax. házení věnců kol (spodní strana).....	104

Obrázek 102: Porovnání vlivu technologií opracování centr. otvoru na radiální házení synchronního ozubení .....	105
Obrázek 103: Porovnání hodnot parametru Var fH $\beta$ (levý bok) po operaci opracování centr. otvoru.....	105
Obrázek 104: Porovnání hodnot parametru Var fH $\beta$ (pravý bok) po operaci opracování centr. otvoru .....	106
Obrázek 105: Porovnání hodnot radiálního házení po operaci opracování centr. otvoru .....	106
Obrázek 106: Porovnání hodnot ax. házení věnce (spodní strana) po operaci opracování centr. otvoru .....	107
Obrázek 107: Stroj Prävema 205 HS .....	108
Obrázek 108: Vliv honování ozubení na parametr fH $\beta$ (levý bok) - (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N)..	111
Obrázek 109: Vliv honování ozubení na parametr Fpz/8 (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N).....	111
Obrázek 110: Vliv honování ozubení na radiální házení (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N).....	112
Obrázek 111: Vliv honování ozubení na ax. házení věnce (spodní strana) - (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N) .....	112
Obrázek 112: Vliv honování ozubení kol s broušeným centr. otvorem na parametr Var fH $\beta$ (levý bok) - (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N) .....	113
Obrázek 113: Vliv honování ozubení kol s broušeným centr. otvorem na parametr Var fH $\beta$ (pravý bok) - (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N).....	113
Obrázek 114: Úchyly úhlu sklonu ozubení kola č. 17 před operací honování ozubení.....	114
Obrázek 115: Úchyly úhlu sklonu ozubení kola č. 17 po operaci honování ozubení .....	114
Obrázek 116: Vliv honování ozubení kol s honovaným centr. otvorem na parametr Var fH $\beta$ (levý bok) - (12 kol série 50ks dílu 0CF 311 250 C).....	115
Obrázek 117: Vliv honování ozubení kol s honovaným centr. otvorem na parametr Var fH $\beta$ (pravý bok) - (12 kol série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	115
Obrázek 118: Vliv upnutí na operaci honování ozubení .....	116

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry měřených ozubených kol .....	34
Tabulka 2: Popis os stroje Klingelberg P26.....	36
Tabulka 3: Nepřesnost měření .....	41
Tabulka 4: Úchyly synchronního ozubení po obrážení (série 110ks dílu 02T 311 251 N).....	48
Tabulka 5: Úchyly ozubení po frézování (série 110ks dílu 02T 311 251 N).....	49
Tabulka 6: Úchyly ozubení po frézování (série 50ks dílu 0CF 311 250 C).....	50
Tabulka 7: Proces svařování na stroji Arnold .....	53
Tabulka 8: Úchyly synchronního ozubení před navařením (série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	54
Tabulka 9: Úchyly synchronního ozubení po navaření na stroji Arnold (série 50ks dílu 0CF 311 250 C).....	54
Tabulka 10: Vliv svařování na stroji Arnold (série 50ks dílu 0CF 311 250 C).....	55
Tabulka 11: Hodnoty úchylek synchronního ozubení před navařením na stroji Arnold po seřízení (série 10ks dílu 0CF 311 250 C).....	58
Tabulka 12: Hodnoty úchylek synchronního ozubení po navaření na stroji Arnold po seřízení (série 10ks dílu 0CF 311 250 C).....	58
Tabulka 13: Vliv navaření na stroji Arnold po seřízení na úchyly synchronního ozubení (série 10ks dílu 0CF 311 250 C) .....	58

Tabulka 14: Parametry procesu svařování na stroji PTR .....	60
Tabulka 15: Hodnoty úchylek synchronního ozubení před navařením na stroji PTR (série 10ks dílu 0CF 311 250 C) .....	61
Tabulka 16: Hodnoty úchylek synchronního ozubení po navaření na stroji PTR (série 10ks dílu 0CF 311 250 C) .....	61
Tabulka 17: Vliv navaření na stroji PTR na úchyly synchronního ozubení (série 10ks dílu 0CF 311 250 C)..	61
Tabulka 18: Hodnoty úchylek ozubení po operaci kalení (série 110ks dílu 02T 311 251 N) .....	65
Tabulka 19: Vliv operace kalení na hodnoty úchylek ozubení (série 110ks dílu 02T 311 251 N).....	65
Tabulka 20: Hodnoty úchylek ozubení po operaci kalení (série 50ks dílu 0CF 311 250 C).....	73
Tabulka 21: Vliv operace kalení na hodnoty úchylek ozubení (série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	74
Tabulka 22: Porovnání technologií tepelného zpracování.....	78
Tabulka 23: Hodnoty úchylek ozubení po operaci broušení centrálního otvoru na stroji Reinecker (série 110ks dílu 02T311 251 N).....	81
Tabulka 24: Vliv operace broušení centrálního otvoru na stroji Reinecker (série 110ks dílu 02T311 251 N)...	82
Tabulka 25: Hodnoty úchylek ozubení po operaci broušení centrálního otvoru na stroji Buderus (série 110ks dílu 02T 311 251 N).....	84
Tabulka 26: Vliv operace broušení centrálního otvoru na stroji Buderus (série 110ks dílu 02T 311 251 N).....	85
Tabulka 27: Hodnoty úchylek ozubení po operaci broušení centrálního otvoru na stroji Reinecker s novým upínačem (série 55ks dílu 02T 311 251 N – shodná tavba).....	91
Tabulka 28: Vliv operace broušení centrálního otvoru na stroji Reinecker s novým upínačem (série 55ks dílu 02T 311 251 N- shodná tavba).....	92
Tabulka 29: Hodnoty úchylek ozubení po operaci broušení centrálního otvoru na stroji Reinecker s novým upínačem (série 55ks dílu 02T 311 251 N – rozdílná tavba).....	95
Tabulka 30: Vliv operace broušení centrálního otvoru na stroji Reinecker s novým upínačem (série 55ks dílu 02T 311 251 N- rozdílná tavba).....	96
Tabulka 31: Hodnoty úchylek ozubení po operaci honování centrálního otvoru (série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	100
Tabulka 32: Vliv operace honování centrálního otvoru (série 50ks dílu 0CF 311 250 C).....	100
Tabulka 33: Výběr dílů pro operaci honování ozubení .....	109
Tabulka 34: Hodnoty parametrů ozubení po operaci honování ozubení (12 kol série 50ks dílu 0CF 311 250 C) .....	110
Tabulka 35: Hodnoty parametrů ozubení po operaci honování ozubení (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N) .....	110
Tabulka 36: Závislost parametru Var $fH\beta$ na axiálním házení kol s broušeným centr. otvorem po operaci honování ozubení.....	116
Tabulka 37: Korelační koeficienty ax. házení kola a Var $fH\beta$ .....	117

# 1 Úvod

O tom, že převodovka je nedílnou součástí každého automobilu se spalovacím motorem, není pochyb. Přesto, že základní princip klasické automobilové převodovky se od jejího vzniku nikterak zásadně nezměnil, probíhají i v tomto segmentu neustálé inovace. Moderními trendy ve vývoji mechanických převodovek stále zůstává nejen neustálé zlepšování kvality, ale především i maximální možné odlehčení převodovek a snižování jejich pasivních odporů za účelem úspory paliv a tím i redukce CO<sub>2</sub>. Stranou nezůstává ani zlepšování komfortu řazení, akustiky a především zvyšování maximálního přenášeného točivého momentu, neboť ten s nasazením přeplňovaných motorů moderních generací prakticky neustále roste. To vše probíhá samozřejmě v souladu s dalším zefektivňováním výrobních kroků a tím i neustálým zlevňováním celé této komponenty.

Aby bylo možné efektivně vyrábět a dále optimalizovat tak složitý a komplexní celek, jakým je celá převodová soustava, je třeba, aby konstruktéři a technologové měli vždy aktuální, stabilní a věrohodné informace z výroby jednotlivých dílů. To vše musí platit především při obrovské produkci a hromadné výrobě v podniku, jako je ŠKODA AUTO a.s., kde např. jen výroba ozubení v Mladé Boleslavi má celkovou výrobní kapacitu cca 50 000 ozubených kol/den. Pro jednotlivá kontrolní měrová střediska je potom velmi obtížné sledovat kvalitu výroby v celém jejím rozsahu a vždy přesně posoudit dopad na výrobní technologii a zároveň provádět zkoušky nutné pro další zlepšení a inovace. Celá výroba musí proto být založena především na stabilitě jednotlivých procesů a jejich trvalém monitorování a průběžném korigování. Jakékoliv statisticky nepřesné nebo neúplné výsledky potom přinášejí pro výrobu, konstruktéry a technology značnou nejistotu při rozhodování o dalších krocích, které jsou nutné pro chod výroby, průběžná zlepšení a další nezbytné inovace.

## 2 Historie ŠKODA AUTO a.s.

Tak jako mnoho jiných věcí, ani počátky vzniku automobilky v Mladé Boleslavi nebyly jednoduché. Za její vznik vděčíme především pánům Václavu Laurinovi a Václavu Klementovi a jejich zájmu o techniku a konstrukci na přelomu století velmi populárních velocipedů.

Základy této dnes světoznámé automobilové společnosti byly tedy položeny již v roce 1895, kdy si Václav Laurin a Václav Klement pronajali v dnešní Pražské ulici v Mladé Boleslavi malou dílnu, ve které začali spolu nejdříve opravovat a později i vyrábět jízdní kola. I přes těžké začátky, už na podzim 1898 byla výroba přestěhována do nově vybudované haly, která stála již v areálu současného závodu, konkrétně na místě dnešního Škoda-muzea. K velkému přelomu v podnikání obou zakladatelů došlo v roce 1899, kdy jejich firma Laurin & Klement začíná s výrobou prvních motorových kol, tj. motocyklů. Jednalo se původně o jednoválcové, později i dvouválcové stroje. Svou cestu k automobilovému průmyslu dovršila firma v roce 1905, kdy vznikl první automobil značky Laurin a Klement - Voituretta, typ A.

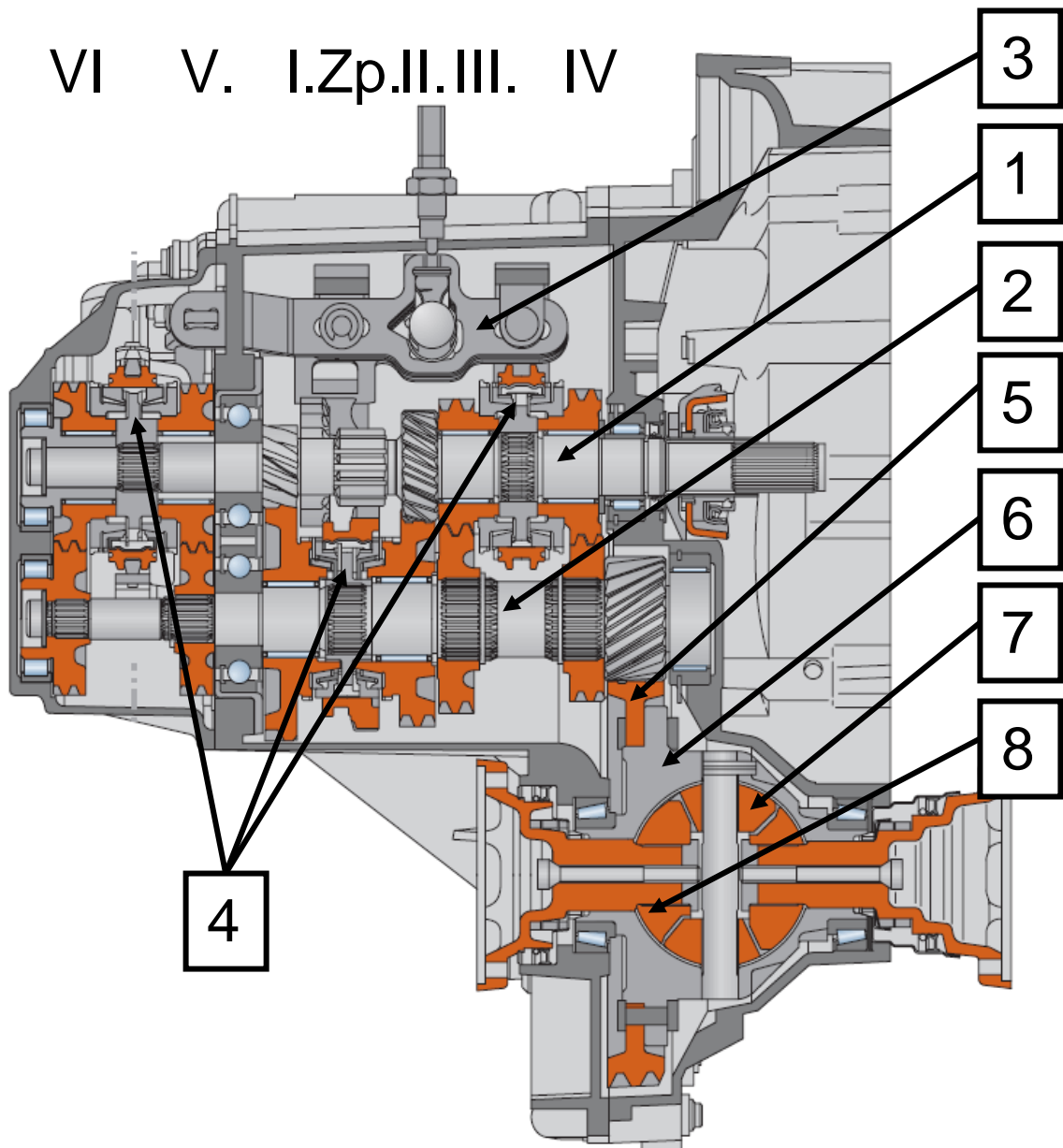
Automobil se mohl pyšnit dvouválcovým V-motorem s výkonem až sedmi koňských sil a dosahoval maximální rychlosti 45 km/h. Vysoký zájem o nové, v Čechách vyráběné, vozy i další dílčí úspěchy vedly k tomu, že do konce roku 1910 byla firma Laurin a Klement největší automobilkou rakousko-uherské monarchie. V roce 1925 se firma Laurin a Klement spojila s plzeňským strojírenským koncernem Škoda. V této době se jednalo o největší strojírenský celek v Československé republice. Spolu s tím došlo i ke změně obchodní značky. Díky obrovské finanční pomoci a investicím do automobilového průmyslu se firmě Škoda podařilo překonat hospodářskou krizi třicátých let a s přehledem porazit oba hlavní tuzemské konkurenty Tatra Kopřivnice a pražskou Pragu. Druhá světová válka a následné komunistické znárodnění znamenaly pro výrobu automobilů v Čechách další tvrdou ránu. Naštěstí i nová komunistická vláda si uvědomovala obrovský potenciál automobilové výroby v Mladé Boleslavi, a proto se i v socialistickém státě začalo podniku postupně dařit. Listopad 1989 potom přinesl další radikální politické, ale i ekonomické změny, které dopadly i na automobilku Škoda. Přestože firma Škoda nabízela relativně perspektivní produkty, disponovala dobrým zázemím i schopnou pracovní silou, brzy se ukázalo, že po technologické stránce za západními automobilkami zaostává. Následoval tedy vstup do koncernu Volkswagen (roku 1991) a s ním spojený další nevídaný rozmach firmy ŠKODA AUTO a.s.

Dnes jsou automobily této značky vyráběny a kompletovány v deseti samostatných závodech a ročně ŠKODA AUTO a.s. vyrobí víc než jeden milión automobilů. Přes 4 000 vozů značky Škoda, vyrobených každý den, je potom expedováno do více než 100 zemí celého světa [1,2,3].



### 3 Popis funkce klasické mechanické dvouhřídelové převodovky

Princip funkce převodovky je znázorněn pomocí následujícího obrázku:



Obrázek 1: Funkce převodovky [7] - Upraveno

Hnací hřídel převodovky (1) je pomocí suché třecí lamelové spojky přímo spojen s motorem a přenáší tak při sepnuté spojce neustále točivý moment od motoru. Některá hnací kola (např. u převodovky MQ 200 kolo prvního a druhého stupně a zpětného chodu) jsou pevnou součástí tohoto hřídele. Ostatní hnací kola jsou na hnacím hřídeli uložena točně na jehlových ložiscích.

Hnaná kola (zde např. třetího, čtvrtého, pátého a šestého stupně) jsou potom naopak pevně spojena s výstupním hřídelem, tzv. pastorkem (2), nebo na něm mohou být rovněž uložena točně na jehlových ložiscích. Vždy jedno hnací nebo hnané kolo z daného páru (dané rychlosti) je tedy pevně spojeno s některou hřídelí a druhé je vždy volně točné. Kola spojená pevně s hnacím, či hnaným hřídelem se nazývají pevná. Kola uložena na ložiscích jsou potom tzv. řadicí kola.

Speciálním případem je potom soukolí zpětného chodu, které obsahuje navíc (za účelem změny smyslu otáčení) další vložené kolo, umístěné na samostatné hřídeli. Na rozdíl od pevných a řadicích kol se šikmým ozubením mají všechna tři ozubená kola zpětného chodu přímé ozubení se spojitou korekcí. Jedná se vlastně o mírně kuželové ozubení. Spojitá korekce (kterou nalezneme rovněž u synchronního ozubení) zde eliminuje riziko vypadnutí již zařazeného převodového stupně. Ozubení je totiž v důsledku spojitě korekce pod zátěží stále „vtahováno“ do záběru.

Aby mohla být řadicí kola při zařazení příslušné rychlosti točně zablokována (a tím se umožnil přenos točivého momentu mezi hnací hřídelí a pastorkem) jsou vybavena synchronním kuželem se synchronním ozubením. Toto ozubení je buď vytvořeno monoblokově a je tedy pevnou součástí ozubeného kola, nebo je k němu dodatečně navařeno za pomoci laserového nebo elektronového paprsku.

Během procesu řazení pak dojde pomocí řadicího mechanismu (3), skládajícího se ze soustavy tří řadicích vidliček k posunutí příslušné objímky a jejímu propojení se synchronním ozubením řadicího kola. Před samotným spojením objímky a synchronního ozubení dochází ještě k nezbytnému vyrovnání rychlostí obou komponent pomocí tření synchronního kuželu.

Přesuvné objímky jsou umístěny na synchronních jádrech (4) upevněných mezi řazenými koly na pastorku či na hnacím hřídeli. Přesuvné objímky jsou sice pomocí drážkování vůči jádru zajištěny radiálně, ale jsou axiálně nezajištěné, aby byl možný jejich posun do záběru. Spojením synchronního ozubení s objímkou dojde tedy k uzamknutí (zajištění) daného řadicího ozubeného kola (a tím i zařazení daného převodového stupně), což umožní přenos točivého momentu mezi hnacím hřídelem a pastorkem.

Všechny páry ozubených kol jsou tedy neustále v záběru a všechna kola se neustále otáčejí. V této převodovce se tedy nepřesouvají žádná ozubená kola (s výjimkou vloženého kola zpětného chodu), ale pouze příslušné synchronní objímky. Ty zabrání protáčení vždy pouze jednoho páru ozubených kol, který je potom schopen přenášet točivý moment.

Pastorek dále přenáší točivý moment prostřednictvím dalšího šikmého ozubení stálého převodu (které je pevnou součástí pastorku) na hnané kolo rozvodovky (5). Hnané kolo rozvodovky je pomocí nýtů, nebo šroubů pevně spojeno s klecí diferenciálu (6). Diferenciál je tvořen dvěma satelitními (7) a dvěma planetovými (8) kuželovými ozubenými koly. Jeho účelem je přerozdělovat točivý moment mezi pravé a levé přední kolo automobilu, a tím umožnit např. bezproblémový průjezd zatáčkou.

Celé ústrojí převodovky je potom pomocí valivých ložisek uloženo v převodové skříně ze slitiny hliníku, skládající se ze dvou tlakových odlitků spojených vzájemně šrouby a centrovaných pomocí pevných kolíků. U této konkrétní převodovky (MQ 200) jsou

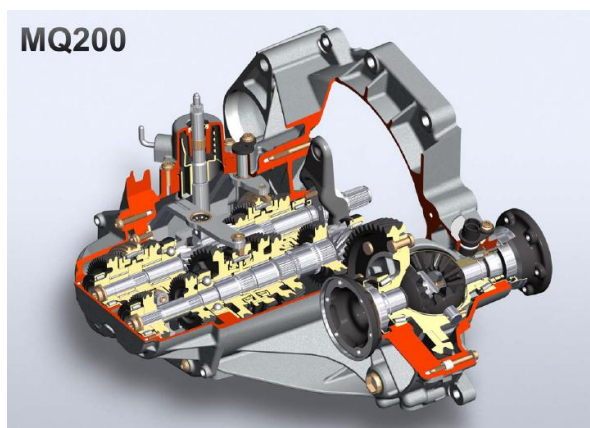
pro uložení hnací hřídele a pastorku užita válečková a kuličková ložiska, pro uložení skříňně diferenciálu potom ložiska kuželíková [4,5].

Schéma řazení jednotlivých rychlostí je pak naznačeno v příloze 1.

## 4 Převodovka MQ 200

Převodovka MQ 200 je v Mladé Boleslavi vyráběna už od roku 2000 (viz obr. 2). Jak naznačuje její označení, je převodovka určena pro motorizace s krouticím momentem motoru maximálně do 200 Nm. Jedná se o nejrozšířenější převodovku celého koncernu Volkswagen, která je vyráběna celosvětově ve čtyřech výrobních místech s celkovou výrobní kapacitou cca 10 000 kusů za den (z toho zhruba 2000 v Mladé Boleslavi).

Převodovka je používána ve vozech třídy A00 (např. VW Up!), A0 (např. Škoda Fabia, VW Polo) a A (např. Škoda Octavia, VW Golf). Byla vyvinuta s maximálním zaměřením na optimální účinnost, nízkou hmotnost, komfortní řazení, tichý chod a ekologičnost. Jedná se o pětistupňovou, alternativně i šestistupňovou (MQ 200-6r), převodovku pro vozy s pohonem přední nápravy. Převodovka je konstrukčně řešená jako dvouhřídelová a je ve voze uložena napříč ke směru jízdy. Řadicí kola první a druhé rychlosti jsou umístěna na pastorku (hnaném hřídeli). Řadicí kola třetí, čtvrté, páté a šesté rychlosti jsou potom uložena na hnací hřídeli. Všechna tato kola mají šikmé evolventní ozubení. Vložené kolo zpětného chodu je umístěno na samostatném hřídeli a má přímé ozubení se spojitou korekcí. Všechny dopředné rychlostní stupně jsou opatřeny synchronizací, kola prvního a druhého stupně mají synchronizaci dvojitou. Toto konstrukční řešení zajišťuje přesné, komfortní a snadné řazení. Řadicí kola všech stupňů jsou uložena na jehlových ložiscích, což zaručuje maximální účinnost a minimální třecí ztráty. Zpřevodování se liší pro různé vozy a v současné době existuje dle použitého motoru a specifické zástavby ve voze zhruba 50 variant s celkovým rozsahem převodů mezi 2,32 – 19,09. Celková hmotnost převodovky činí dle specifikace až 36,7 kg. Náplň oleje je zhruba 2,3 l a olej zůstává v převodovce po celou dobu její životnosti [4,6].

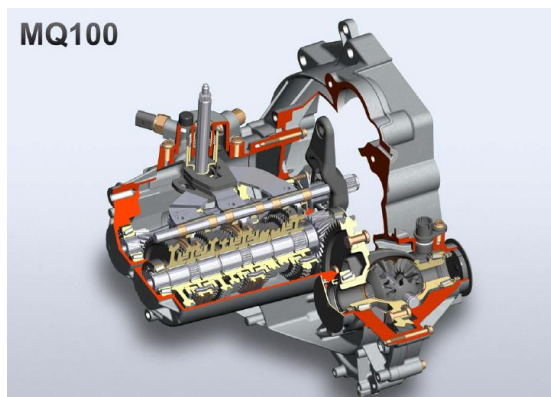


Obrázek 2: Převodovka MQ200 [5]

V příloze 2 je potom uveden rozklad této převodovky a v příloze 3 její šestirychlostní verze.

## 5 Převodovka MQ 100

Přesto, že práce se zabývá převážně ozubenými díly převodovky MQ 200, bude kvalita dílů převodovky MQ 200 porovnávána s díly mladší a tudíž i teoreticky (co se technologie výroby a konstrukce týče) modernější převodovky MQ 100. Konstrukce jednotlivých dílů převodovek MQ200 a MQ 100 není zcela identická a vzhledem k faktu, že převodovky vznikaly s téměř desetiletým časovým odstupem, liší se i technologie jejich výroby.



Obrázek 3: Převodovka MQ100 [5].

Převodovka MQ 100 je vyráběna od roku 2011 a jediným výrobním místem v rámci koncernu VW je právě závod v Mladé Boleslavi (viz obr. 3). Pětistupňová manuální převodovka MQ 100 byla prvotně navržena pro třídu vozidel tzv. „New Small Family“ (jedná se o vozy Škoda Citigo, Volkswagen Up! a Seat Mii), dnes je ale koncernem VW používána i pro nejslabší motorizace ve třídě vozů A0. Tato malá převodovka určená pro motory s maximálním točivým momentem do 120 Nm je ve voze uložena opět kolmo ke směru jízdy. Samotná převodovka MQ 100 byla zkonstruována s velkým důrazem na snížení hmotnosti. Její celková hmotnost činí pouhých 26,8 kg. Náplň oleje činí 1,2 l a olej zůstává v převodovce po celou dobu její životnosti. Stejně jako MQ 200 i MQ 100 je dvouhřídelovou převodovkou s převodovou skříní z hliníkové slitiny, kde všechny převody s výjimkou zpětného chodu jsou realizovány pomocí evolventního ozubení se šikmými zuby. Zpětný chod je opět uskutečněn pomocí evolventního ozubení s přímými zuby se spojitou korekcí. Kolo zpětného chodu je rovněž umístěno na předávném hřídeli. Na rozdíl od převodovky MQ 200 je ale u MQ 100 ozubení zpětného chodu ve stálém záběru. Všechna řadicí kola jsou zde umístěna na pastorku (hnaném hřídeli). Tento fakt činí převodovku MQ 100 konstrukčně jednodušší než MQ 200. Převodový poměr MQ 100 se pohybuje v rozmezí 3,06 až 15,18 [4,6,7].

V příloze 4 je potom zobrazen rozklad této převodovky.

## 6 Lícování ozubených kol

Ozubená kola jsou tvarově složité součásti, na které jsou kladeny vzhledem k jejich použití náročné požadavky ve snaze zajistit dlouhodobou životnost, tichý chod, klidný záběr a bezpečný přenos točivého momentu. Ozubení musí tedy splňovat celou řadu podmínek týkajících se přesnosti, tvaru zubů, kvality povrchu a další podmínky (například nízké hodnoty radiálního a axiálního házení a podobně) [8,9].

Dle normy ČSN 014682 můžeme ozubená kola rozdělit do 12 tříd dle přesnosti. V normách DIN a ISO nalezneme obdobný systém dělení, ovšem norma ISO stanoví navíc stupeň přesnosti 0 [8,9,10].

Stupně přesnosti 1 a 2 jsou v normě ČSN 014682 vyhrazeny pro laboratorní použití, zatímco pro ostatní stupně jsou v normě stanoveny předpisy skupin úchylek kinematičké přesnosti, plynulosti chodu a dotyku zubů. Norma umožňuje stanovit rozdílný stupeň přesnosti pro každou z funkčních skupin úchylek. Dále norma předepisuje skupiny bočních vůlí zubů a jejich tolerance [8,9].

Dle normy DIN potom rozdělujeme úchylky do následujících skupin:

G – úchylky rovnoměrnosti přenosu pohybu

L – úchylky klidnosti (plynulosti) běhu a dynamické únosnosti

T – úchylky statické únosnosti

N – úchylky bez údaje o funkci

Tyto skupiny úchylek zhruba odpovídají skupinám stanoveným normou ČSN [10].

### **6.1 Skupina úchylek kinematičké přesnosti**

Pod pojmem úchylky kinematičké přesnosti se rozumí takové úchylky, které se periodicky opakují jednou za otáčku kola. Tyto úchylky jsou způsobeny rozdílem teoretické a skutečné polohy zubu a během záběru pak způsobují zrychlení nebo zpomalení kola [11,12,13].

Mezi hlavní úchylky kinematičké přesnosti řadíme například úchylky dvoubokého odvalu  $F_i''$ , úchylku jednobokého odvalu  $F_i'$ , mezní součtovou úchylku roztečí  $F_p$ , nebo mezní obvodové házení  $F_r$  [11,12,13].

### **6.2 Skupina úchylek plynulosti chodu**

Úchylky plynulosti chodu se opakují na každém zubu a takto ovlivňují plynulé otáčení kola a tím i vibrace a akustický projev ozubení během záběru. Popisují tedy především nepřesnosti evolventní šroubové plochy zubu [12].

Mezi tyto úchylky řadíme například úchylku čelní rozteče  $f_{pt}$ , úchylku profilu  $F_\alpha$ , úchylku tvaru profilu  $f_{f\alpha}$ , úchylku úhlu profilu  $f_{H\alpha}$ , či úchylku dvoubokého  $f_i''$  a jednobokého odvalu za rozteč  $f_i'$  [12].

### **6.3 Skupina úchylek dotyku zubů**

Úchylky dotyku zubů ovlivňují schopnost přenosu sil při záběru ozubeného soukolí a projevují se nerovnoměrným nesením zubů [12].

Do této skupiny patří například mezní úchylka sklonu zubu  $F_\beta$ , úchylka tvaru zubu  $f_{f\beta}$ , a úchylka úhlu sklonu zubu  $f_{H\beta}$  [12].

## 6.4 Boční vůle

Norma ČSN 014682 zavádí dále 6 skupin bočních vůlí. Ty jsou značeny velkými písmeny A – H. Skupina A značí maximální vůli soukolí, zatímco skupina B zaručuje takovou vůli, kdy už nemůže u běžného soukolí vyrobeného z konstrukčních ocelí dojít nikdy ke ztrátě zubové vůle a zadření způsobenému výrobními úchyly. Skupina H potom označuje ozubené soukolí s nulovou zaručenou vůlí [9,11,14,8].

Norma ČSN 014682 dále předepisuje 8 skupin tolerancí boční vůle značených malými písmeny (x, y, z, a, b, c, d, h). Skupina tolerancí označených písmenem h je dle normy nejpřesnější [7].

Tolerance bočních vůlí se běžně kontroluje měřením míry přes zuby, měřením tloušťky zubů v konstantní výšce, či měřením tloušťky zubů přes kuličky (válečky)  $M_{AK}$  [9,11,14,8].

Jednotlivé úchyly v každé skupině spolu souvisejí, proto není třeba kontrolovat všechny úchyly ve skupině, ale pouze jednu, nebo menší počet vybraných. Čím přesnější je ovšem ozubení, tím důkladnější by měla být jeho kontrola, a tím více úchylek bychom měli proměřit.

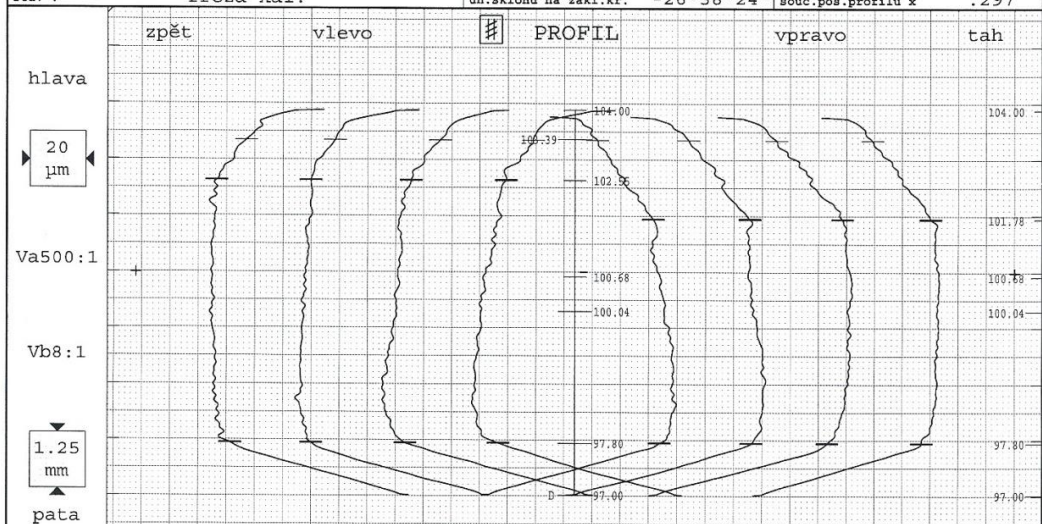
## 7 Popis a způsob měření vybraných úchylek ozubených kol vyhodnocovaných ve ŠKODA AUTO a.s.

Na následujících obrázcích je zobrazen protokol měření parametrů ozubeného kola (konkrétně se jedná o kolo 02T 311 251 N po operacích: frézování ozubení, tepelném zpracování a broušení centrálního otvoru). V přílohách 5, 6 a 7 je doplněn i protokol měření synchronního ozubení a axiálního házení věnce kola. V následující kapitole jsou potom vysvětleny veškeré v protokolech a v práci uvedené úchyly, stejně jako způsoby jejich měření.

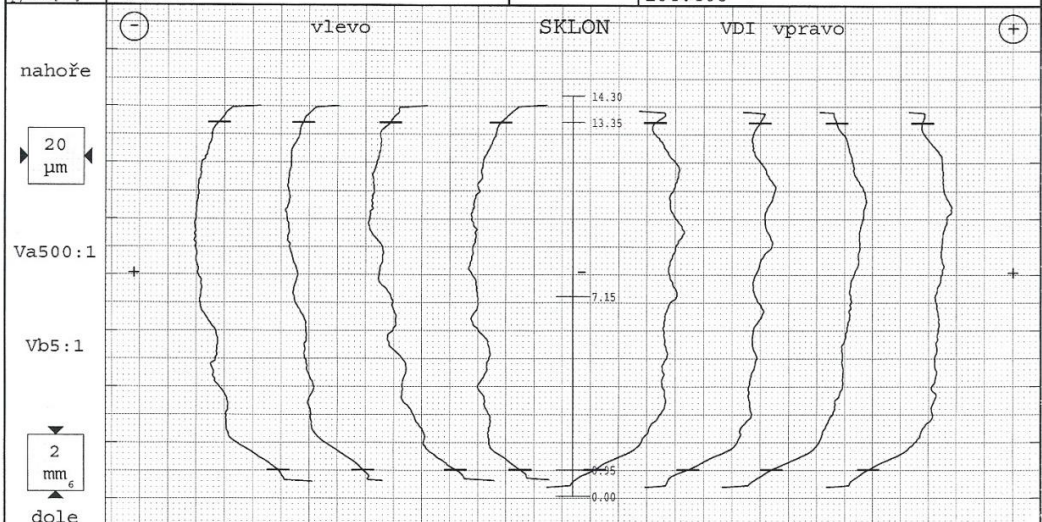
## čelní kolo - profil/sklon



č.prog.:	GST0410u17 0 P26	obsluha:		datum:	
název:	MQ200-1.sch	počet zubů z	47	šířka zubu b	14.3mm
č.výkresu:	02T 311 251 N FH	modul m	1.85mm	pásma na profilu La	5.856/4.994mm
č.zak./série:	0020-A33-HAY-55-NOV.UP.	úhel záběru	20°00'00"	pásma na sklonu Lb	12.4mm
firma/stroj č.:	Zkouška	úhel sklonu	-28°30'00"	začátek vyhod. M1	17.39mm
místo měření:	B5958	pr. základní kr. db	91.4102mm	průměr dotyku (#2B)	1mm
stav :	freza kal.	úh.sklonu na zákl.kr.	-26°38'24"	souš.pos.profilu x	.297



		36	24	13	1	zub	1	13	24	36			
tolerance	střední	nam.hodn. [μm]				jakost	tolerance	nam.hodn. [μm]				střední	jako
Var	11											11	
fHf	-5	2	-4	-7	-9			-8	-6	3	2	-2	
Fa	9	7	6	10	12			9	7	9	6	8	
ffa	9	6	6	10	12			8	7	7	5	7	
p/h-0 [mm]	95.459							104.406					



N:Z		36	24	13	1	zub	1	13	24	36		
Var	19											6
fHf	-16	-18	-18	-24	-5			14	15	18	12	15
fHf	27	30	28	31	18			32	31	34	30	32
ffa	17	20	17	16	16			24	21	22	22	22



Obrázek 4: Protokol měření ozubení - strana 1

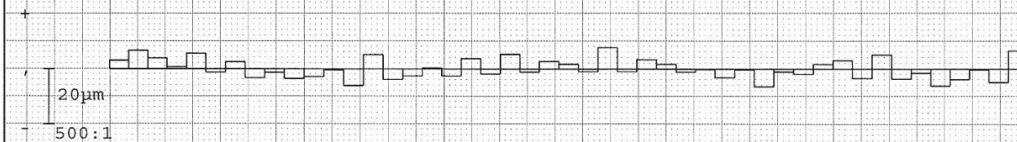
# čelní kolo - rozteče



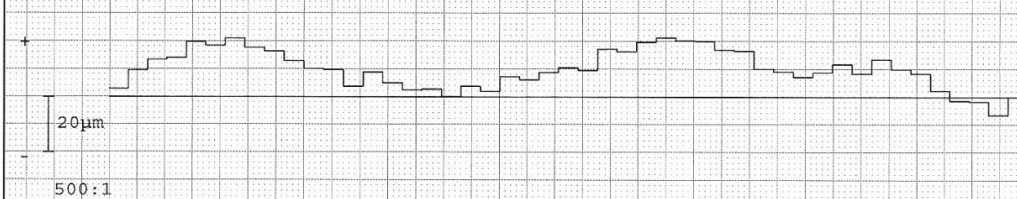
SKODA Auto a.s.

č.prog.:	GST0410u17 0 P26	obsluha:		datum:	
název:	MQ200-1.sch	počet zubů z	47	úhel záběru	20°00'00"
č.výkresu:	02T 311 251 N FH	modul m	1.85mm	úhel sklonu	-28°30'00"
č.zak./série:	0020-A33-HAY-55-NOV.UP.	místo měření:	B5958		
firma/stroj č.:	Zkouška	stav :	freza kal.		

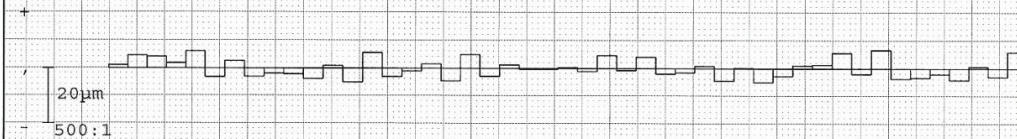
## úchytky obvodových roztečí fp levý bok



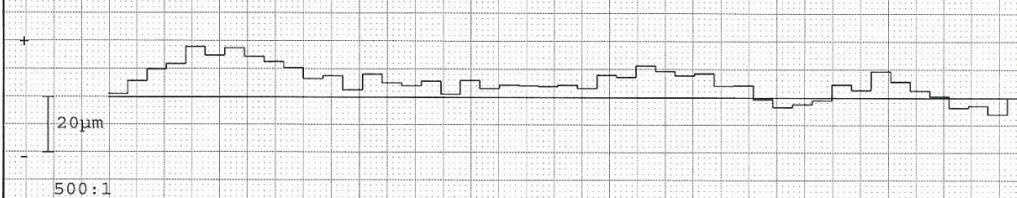
## # / součtové úchytky roztečí Fp levý bok



## úchytky obvodových roztečí fp pravý bok

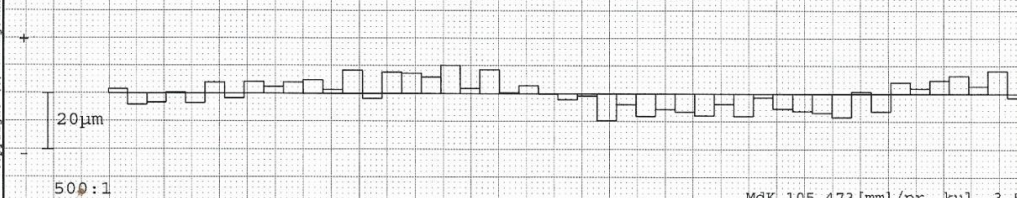


## # / součtové úchytky roztečí Fp pravý bok



měřicí kružnice roztečí: 100.679 z=7.2mm		levý bok / zpět		pravý bok / tah	
max. úch. obvod roztečí	fpt	nam.hodn.	jakost	dov.hodn.	jakost
max. úch. soused. roztečí	fu max	8		7	
kolísání roztečí	Rp	11		11	
součtová úchytky roztečí	Fp	14		12	
součtová úch. roztečí k zubů Fpz/8		28		24	
		26		24	

## # / házení Fr (pr. kuličky = 3.5mm)



obvodové házení ozubení	Fr	20	dov.hodn.
kolísání tloušťky zubu	Ra	16	nam. 105.781 105.796 105.767



Copyright (c) Klingenberg GmbH

Obrázek 5: Protokol měření ozubení - strana 2

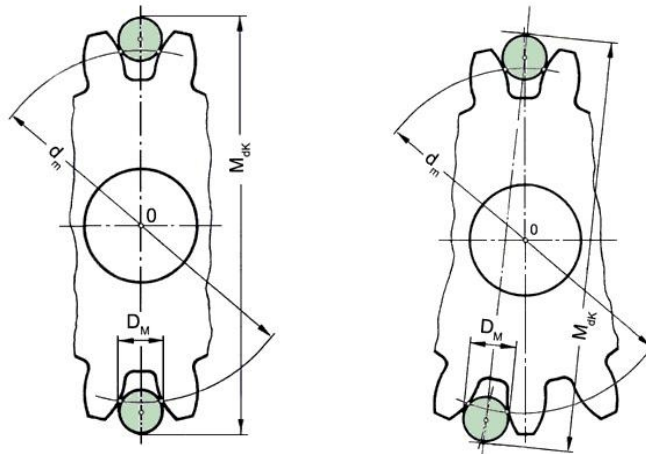


## 7.1 Kontrola tloušťky zubů

Měřením tloušťky zubů se zjišťuje, zda bude při záběru dodržena předepsaná zubová vůle při daných osových parametrech. Dále se pomocí této kontroly určuje, zda byl dodržen správný přídavek pro další technologické operace [15,12]. Ve ŠKODA AUTO a.s., stejně jako v celém automobilovém průmyslu se pro kontrolu tloušťky zubů zpravidla užívá parametru míry přes kuličky  $M_{dk}$ .

### 7.1.1 Kontrola rozměru přes kuličky (válečky) $M_{dk}$

Při kontrole rozměru přes kuličky měříme vlastně vzdálenost dvou zubových mezer, tedy čtyř boků zubů. Měření probíhá za pomoci dvou měřicích tělísek přesně daného průměru, které vkládáme do protilehlých zubových mezer kola (viz obr. 6). Pro normalizovaná ozubení je rozměr měřicích tělísek určen normou dle modulu kola. Při měření kol s lichým počtem zubů je potom naproti prvnímu měřicímu tělísku umístěn zub, a druhé tělísko tak musí být umístěno do kterékoli vedlejší zubové mezery přilehlé k tomuto zubu. Následně změříme vzdálenost mezi měřicími tělísky a odečtenou míru porovnáváme s požadovanými hodnotami [15,16,17,12].



Obrázek 6: Měření rozměru přes kuličky [18]

Obecně je potom pro měření  $M_{dk}$  třeba vybrat tělíska vhodného průměru tak, aby jejich střed ležel co nejbližší k roztečné kružnici měřeného kola. Jejich průměr lze vypočítat z následujícího vzorce:

$$D_M = \frac{d_m \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot z}\right)}{\cos\left(\alpha + \frac{\pi}{2 \cdot z}\right)}$$

Kde:

$z$  je počet zubů kola,

$\alpha$  je úhel záběru kola,

$d_m$  je průměr roztečné kružnice,

$D_M$  je průměr (válečku) kuličky.

Tuto metodu můžeme použít pro měření kol s vnějším i s vnitřním ozubením, a to jak pro kola se sudým, tak i s lichým počtem zubů [16].

Teoretické hodnoty rozměru přes válečky se počítají dle následujících vzorců:

$$M_{dK} = 2 \cdot R_s + D_M.$$

Pro vnější ozubení se sudým počtem zubů.

$$M_{dK} = 2 \cdot R_s \cdot \cos\left(\frac{90}{z}\right) + D_M.$$

Pro vnější ozubení s lichým počtem zubů.

$$M_{dK} = 2 \cdot R_s - D_M.$$

Pro vnitřní ozubení se sudým počtem zubů.

$$M_{dK} = 2 \cdot R_s \cdot \cos\left(\frac{90}{z}\right) - D_M.$$

Pro vnitřní ozubení s lichým počtem zubů.

Kde:

$D_M$  je průměr (válečku) kuličky

$R_s$  je poloměr kružnice od středu kola ke středu válečku (kuličky),

$z$  je počet zubů kola,

$M_{dK}$  je rozměr přes kuličky

### 7.1.2 Měření rozměru přes kuličky na CMM strojích

Ve ŠKODA AUTO a.s. se k určení rozměru přes kuličky kromě klasické metody používají i souřadnicové měřicí stroje.

K určení  $M_{dk}$  klasickým způsobem je třeba vždy dvou tělísek odpovídajícího průměru. Aby mohl CMM stroj určit rozměr přes kuličky s jedním dotykem a navíc jiného, zpravidla menšího průměru, dotkne se postupně protilehlých boků zubů na roztečné kružnici po obvodu kola a následně sám vypočte teoretický rozměr přes kuličky pro předepsaný průměr měřících elementů. Jedná se tedy pouze o vypočtenou hodnotu a měření je prováděno současně i s měřením roztečí ozubeného kola. Především potom u hrubě opracovaných kol, ale může tato nepřímá metoda vést k drobným nepřesnostem a rozdílům naměřených hodnot.

## 7.2 Kontrola profilu zubu

Úchyly profilu zubu postihují odchylky reálného profilu oproti ideální evolventní křivce. Skutečný tvar profilu je ovlivněn nejen nastavenými parametry obrábění ozubení, ale i seřízením obráběcího stroje a stavem nástroje. Je třeba mít na paměti, že ne všechny odchylky od ideální evolventy jsou chyby. Za účelem zvýšení životnosti ozubení nebo akustických optimalizací se často vytvářejí na zubu tzv. korekce, jako například modifikace hlavy zubu a podobně [19,20].

Profily zubů jsou při kontrole ozubení standardně měřeny v celé výšce zubu, ale posuzovány bývají pouze uvnitř vyhodnocované oblasti  $L_\alpha$  [19,20].

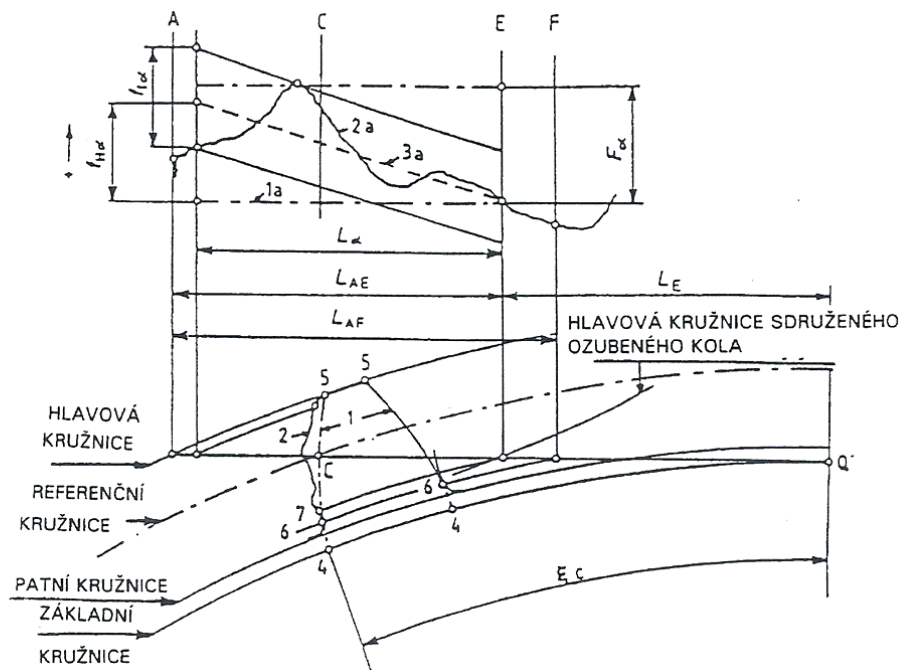
Jednotlivé úchyly profilu jsou potom definovány převážně v čelní rovině kola. Lze je ovšem měřit i v rovině normální a následně naměřené výsledky přepočítat [10].

### 7.2.1 Úchyly profilu zubu

Při kontrole profilu zubu se výsledná křivka dokonalé evolventy zobrazí jako přímka. V praxi jsou ovšem profily kol mnohdy funkčně i technologicky modifikované. Požadovaná hodnota jednotlivých úchylek pak není nulová. U automobilových převodovek se navíc často liší i předpis pro tzv. tažnou stranu, která přenáší plný točivý moment a stranu zpětnou, která je zatížena pouze brzdícím účinkem spalovacího motoru.

#### 7.2.1.1 Celková úchylka profilu zubu $F_\alpha$

Jedná se o souhrnnou odchylku profilu zubu (viz obr. 7), která představuje vzdálenosti mezi dvěma teoretickými (ideálními) evolventními profily boku zubu, opsanými podél skutečného změřeného profilu [10].



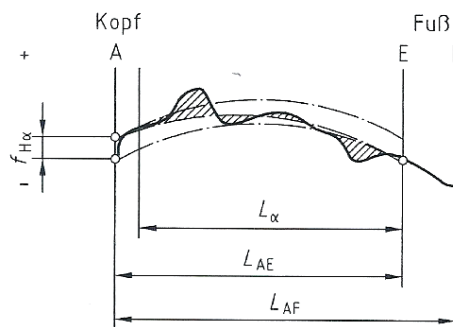
Obrázek 7: Souhrnné zobrazení úchylek profilu zubu [12]

### 7.2.1.2 Tvarová úchylka profilu $f_{f\alpha}$

Dílčí úchylka tvaru profilu je vzdálenost mezi dvěma teoretickými profily (obáčkami), které jsou zakresleny pod stejným úhlem sklonu jako střední křivka reálného profilu (viz obr. 7). Teoretické profily se přitom dotýkají skutečného profilu uvnitř vyhodnocované oblasti  $L_\alpha$  [12,19,21].

### 7.2.1.3 Úhlová úchylka profilu zubu $f_{H\alpha}$

Dílčí úhlová úchylka profilu je vzdálenost mezi dvěma teoretickými profily, které protínají na začátku a na konci vyhodnocovaného úseku stopu středního profilu (viz obr. 8). Tento parametr tedy vyjadřuje přímo úchylku vlastního úhlu záběru ozubeného kola  $\alpha$  [10].



Obrázek 8: Úhlová úchylka profilu zubu  $f_{H\alpha}$  [10]

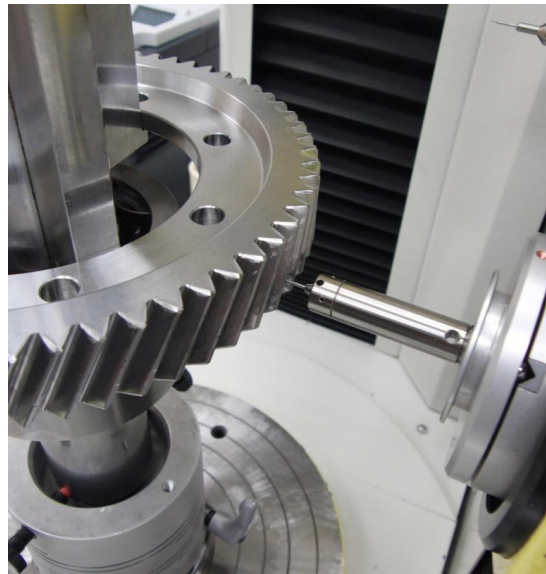
#### 7.2.1.4 Variabilita $f_{H\alpha}$

Parametr variability  $f_{H\alpha}$  vyjadřuje rozpětí naměřených hodnot úhlových úchylek profilů zubů  $f_{H\alpha}$  po celém obvodu kola a zřetelně tak ukazuje stabilitu výroby evolventního profilu daného ozubeného kola [4,21].

### 7.2.2 Měření úchylek profilu zubu

Pro kontrolu evolventy můžeme použít buď optické (bezdotykové) metody, spočívající v porovnání reálného profilu s ideálním tvarem evolventy, nebo je možné využít některou z mechanických kontrolních metod.

Pro mechanickou kontrolu lze užít evolventoměry, respektive univerzální souřadnicové měřicí stroje, nebo speciální CMM stroje určené přímo k měření ozubení. Ve všech případech potom měření probíhá taktálně za pomoci dotyku, který snímá evolventní křivku kola a přístroj následně porovnává reálnou naměřenou křivku zubu s teoretickou (viz obr. 9). Údaje o správné podobě teoretické evolventní křivky pro srovnání získáváme u evolventoměrů mechanickou cestou (odvalováním pravítka po kotouči), u CMM strojů porovnávání (výpočet) provádí program stroje. Ve ŠKODA AUTO a.s. jsou ke kontrole profilu zubů využívány převážně CMM měřicí stroje [10,20,22].



Obrázek 9: Kontrola profilu evolventy ozubení

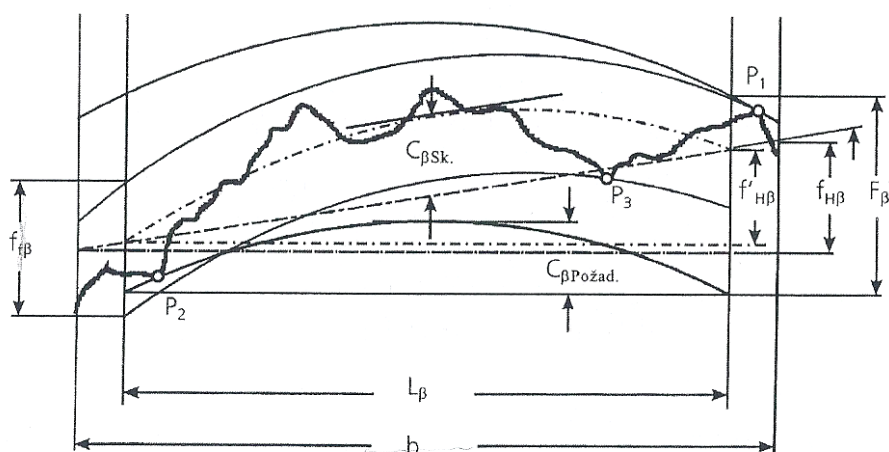
### 7.3 Kontrola sklonu zubů

Sklon zubu představuje řez zubu souosým válcem, zpravidla o průměru roztečné kružnice kola. Úchylky sklonu zubů jsou měřeny v čelní rovině kola a postihují rozdíly mezi teoretickou a skutečnou boční křivkou kola [12].

#### 7.3.1 Úchylky sklonu zubů

##### 7.3.1.1 Celková úchylka sklonu zubu $F_{\beta}$

Celková úchylka sklonu zubu je největší vzdálenost mezi dvěma jmenovitými sklony zubu (viz obr. 10). Do prostoru mezi nimi je přitom vepsán skutečný naměřený sklon zubu. Měření probíhá zpravidla po celé šířce zubu, ale je parametricky vyhodnocováno pouze uvnitř vyhodnocované oblasti  $L_{\beta}$  [12,21].



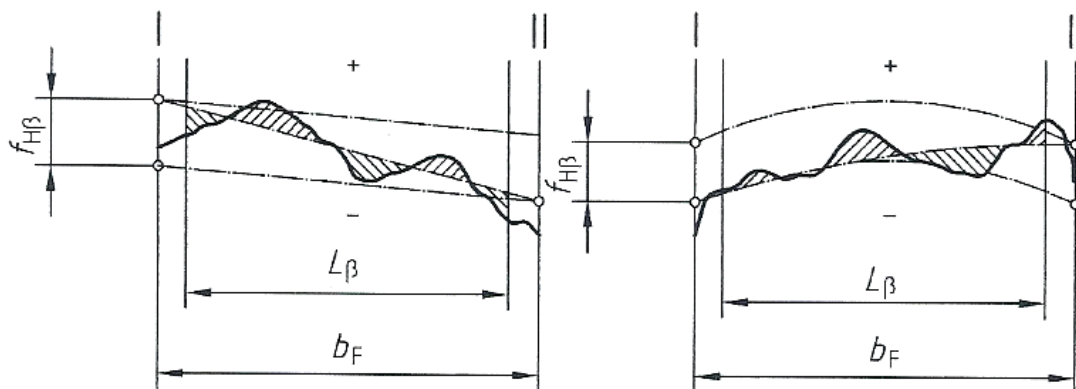
Obrázek 10: Souhrnné zobrazení úchylek úhlu sklonu zubu [5]

### 7.3.1.2 Tvarová úchylka úhlu zubu $f_{f\beta}$

Jedná se o vzdálenost mezi dvěma teoretickými sklony zubů nanesenými pod stejným úhlem jako střední křivka reálného profilu (viz obr. 10), které se dotýkají skutečného boku zubu [21,10].

### 7.3.1.3 Úhlová úchylka sklonu zubu $f_{H\beta}$

Úchylka úhlu sklonu zubu  $f_{H\beta}$  je vzdálenost mezi dvěma jmenovitými sklony zubu, které na konci a na začátku vyhodnocované oblasti  $L_{\beta}$  protínají střední šroubovici skutečného měřeného stoupání (viz obr. 11). Úchylka tedy vyjadřuje chybu (odchylku) vlastního úhlu sklonu zubu  $\beta$  [21].



Obrázek 11: Úhlová úchylka sklonu zubu  $f_{H\beta}$  [21]

#### 7.3.1.4 Variabilita $f_{H\beta}$

Pro hodnocení stability úhlu sklonu zubů  $\beta$  kola se používá často parametr variability  $f_{H\beta}$ , který vyjadřuje rozpětí hodnot naměřených úchylek  $f_{H\beta}$  všech (nebo určitého počtu) zubů po obvodu kola [4,21].

### 7.3.2 Měření úchylek sklonu zubů

Starší metody zjišťování úchylek sklonu zubů byly založeny na měření pomocí dotkových mechanických přístrojů, které pracovaly na obdobném principu jako CMM stroje, nebo pomocí měřicí plochy (tělesa), která byla vložena do mezizubové mezery [23].

Dnes se již úchylky sklonu zubů kontrolují převážně pomocí univerzálních souřadnicových měřicích strojů, resp. CMM strojů. Dotyk s rubínovou kuličkou snímá body pro vyhodnocení úchylek na roztečném válci kola [23].

## 7.4 Kontrola radiálního házení

Radiální házení  $F_r$  je definováno jako největší radiální změna polohy měřicího dotyku, který je postupně vkládán do mezizubových mezer po celém obvodu kola, za jednu otáčku ( $360^\circ$ ). Na výsledky obvodového házení mají výrazný vliv chyby roztečí, excentricita a ovalita kola, chyby šířky boků zubů a chyby evolventního profilu [10,24].

### 7.4.1 Měření radiálního házení

Kontrola radiálního házení je základní zkouškou kinematické přesnosti kola. Měří se pomocí dotyku s měřicím tělískem, který je postupně vkládán do mezizubových mezer. Měřicí tělíska by přitom měla být volena tak, aby k dotyku s bokem zubů docházelo v blízkém okolí roztečného válce. Obdobným způsobem je potom radiální házení měřeno i pomocí CMM souřadnicových strojů ve ŠKODA AUTO a.s. I zde se ovšem jedná pouze o teoreticky vypočtenou hodnotu, která je stejně jako míra přes kuličky  $M_{dk}$  stanovena při použití měřicího elementu jiného, zpravidla podstatně menšího průměru [10,24].

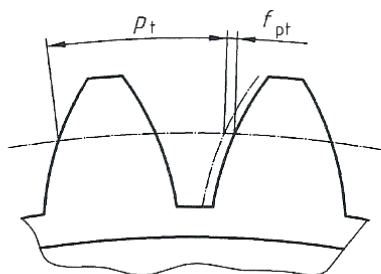
## 7.5 Kontrola roztečí

Měření roztečí slouží k porovnání skutečné a teoretické polohy stejnohých boků zubů po obvodu kola. V praxi rozlišujeme mezi měřením rozteče v základní, normální a čelní rovině. Měření základní rozteče je přitom jediné, které není závislé na ose kola. V praxi se dnes nejčastěji měří úchylky čelní rozteče.

Výrazný vliv na výsledky měření roztečí má excentricita a ovalita kola stejně jako další úchylky boku zubů [21,19,12,25,26].

## 7.5.1 Úchylky roztečí

### 7.5.1.1 Úchylka čelní rozteče $f_{pt}$

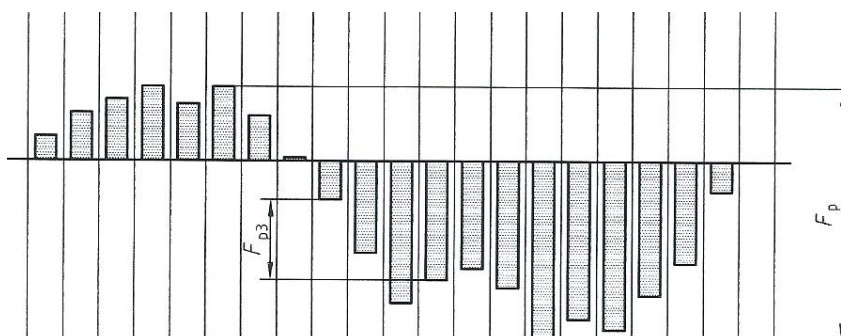


Jedná se o maximální rozdíl mezi skutečnou a teoretickou hodnotou jednotlivých čelních roztečí (viz obr. 12), která je měřena kolmo k ose kola mezi dvěma stejnohlými boky zubů [21].

Obrázek 12: Úchylka čelní rozteče  $f_{pt}$  [21]

### 7.5.1.2 Součtová úchylka roztečí kola $F_p$

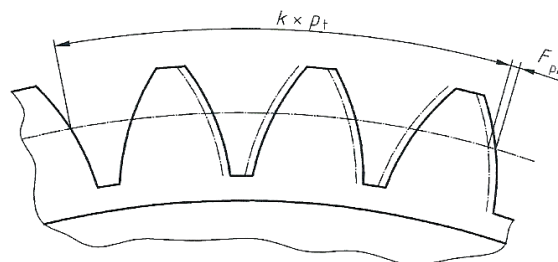
$F_p$  je součtová úchylka roztečí stejnohlých boků zubů (viz obr. 13). Její velikost je rovna algebraickému součtu úchylek všech čelních roztečí po celém obvodu kola. Součtová úchylka roztečí tedy popisuje celkovou kinematickou odchylku všech stejnohlých boků zubů [21,12].



Obrázek 13: Součtová úchylka roztečí kola  $F_p$  [21]

### 7.5.1.3 Úchylky roztečného rozpětí přes 1/8 obvodu kola - $F_{pz/8}$

$F_{pz/8}$  představuje součtovou úchylku čelních roztečí za 1/8 obvodu kola (viz obr. 14). Tato hodnota je ve ŠKODA AUTO a.s. vypočítávána z hodnoty Součtové úchylky roztečí  $F_p$  po celém obvodu kola [21].

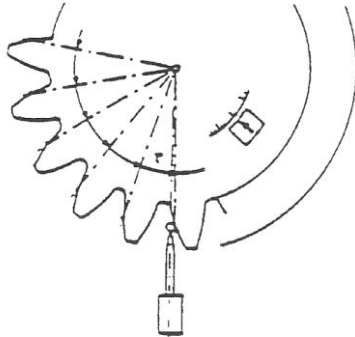


Obrázek 14: Součtová úchylka čelní rozteče za 1/8 zubů kola -  $F_{pz/8}$  [21]



## 7.5.2 Měření čelní rozteče

### 7.5.2.1 Úhlová indexová metoda



Při tomto způsobu měření je použit pouze jediný dotyk, který se pohybuje radiálně do jednotlivých poloh, v nichž je prováděno měření (viz obr. 15). Vzhledem k potřebě pouze jediného dotyku se tohoto způsobu používá při měření roztečí na souřadnicových CMM strojích. Následně je na každém zubu vyhodnocován rozdíl mezi jeho skutečnou a teoretickou polohou [27].

Obrázek 15: Úhlová indexová metoda měření čelních roztečí [26]

### 7.5.2.2 Měření součtové úchylky roztečí kola jednotlivých čelních sektorech

Měření roztečí v jednotlivých čelních sektorech (například za  $1/8$  obvodu kola -  $F_{PZ/8}$ ) lze samozřejmě určit sumarizací jednotlivých dílčích úchylek roztečí po obvodu kola. Při tomto postupu ovšem dochází ke kumulaci chyb měření. V minulosti se proto pro měření těchto parametrů používaly stroje se dvěma dotyky. U moderních CMM přístrojů je ovšem možné tento parametr vyhodnotit pomocí jediného dotyku již při měření součtové úchylky roztečí, kdy stroj může porovnat přesnou vzdálenost libovolných dvou nasnímaných boků zubů vzdálených o určený počet zubů [27,28].

## 8 Návrh experimentu

Pro zjištění kvality výroby převodovky MQ 200 a její porovnání s kvalitou výroby převodovky MQ 100 budou vybrána dvě problémová a zároveň i velikostně podobná ozubená kola. Série tvořené těmito reprezentanty potom budou měřeny po všech výrobních operacích počínaje vytvořením valivého ozubení. Pomocí rozdílů naměřených hodnot před a po každé operaci potom bude možné určit vliv každé výrobní operace na parametry ozubení. U kvalitativně problémových výrobních operací budou stanoveny možné návrhy na zlepšení. V ideálním případě pak budou některé z těchto návrhů realizovány a jejich funkčnost bude ověřena za pomoci dalších sérií kol.

### 8.1 Charakteristika vybraných kol (OCF 311 250 C a 02T 311 251 N)

Pro zjištění kvality výrobního procesu převodovky MQ 200 byla zvolena největší řadicí kola prvního stupně 02T 311 251 N. Díky velkému průměru ozubeného věnce se na kole výrazně projevuje jakékoliv axiální či radiální házení vůči ose kola a zároveň je na takto velkém dílu dobře patrný i vliv tepelného zpracování kola (kalení) na jednotlivé parametry jeho ozubení.



Obrázek 16: Kolo 02T 311 251 N (vlevo) a kolo OCF 311 250 C (vpravo)

Jako ekvivalentní kolo pro porovnání technologie výroby bylo zvoleno řadicí kolo prvního stupně OCF 311 250 C převodovky MQ 100 a to především díky obdobné velikosti ozubeného věnce. Obě vybraná kola jsou zobrazena na obrázku 16.

V následující tabulce jsou uvedeny základní charakteristiky obou ozubených kol:

Tabulka 1: Parametry měřených ozubených kol [4]

Charakteristika	Díl	
	OCF 311 250 C	02T 311 251 N
Převodovka	MQ 100	MQ 200
Opracování centrálního otvoru	Honování	Broušení
Ø centrálního otvoru [mm]	32G6	32G6
z [-]	51	47
$m_n$ [-]	1,7	1,85
$\alpha_n$ [°]	20	20
$\beta$ [°]	-31	-28,5
$d_a$ [mm]	104,8	104,5
Šířka ozubení [mm]	13,5	14,5
Výška kola [mm]	28,04	34,4

Materiály kol jsou perliticko-feritické oceli TL 4521 (pro díly 02T 311 251 N) a TL 4227 (pro díly OCF 311 250 C) s obsahem uhlíku cca 0,2 % legované manganem, chromem a hliníkem [4].

Hlavním konstrukčním rozdílem vybraných ozubených kol je uspořádání synchronního ozubení. U kol 02T 311 251 N je synchronní ozubení vytvořeno na jednom polotovaru s valivým ozubením technologií obrázení, zatímco u kol OCF 311 250 C je synchronní kroužek na ozubené kolo dodatečně navařen.

Svařované, dvojdílné provedení je pracnější, ale nevyžaduje tak velký technologický zápch mezi hlavním a synchronním ozubením nutný pro proces obrázení synchronního ozubení, což umožňuje zkrácení kola až o několik milimetrů. Takto je možno zkrátit délku celé převodové skříně, a tím zmenšit i její hmotnost. Naopak u monoblokového provedení nehrozí ovlivnění synchronního ozubení v důsledku procesu svařování.

## 8.2 Měřené parametry ozubení

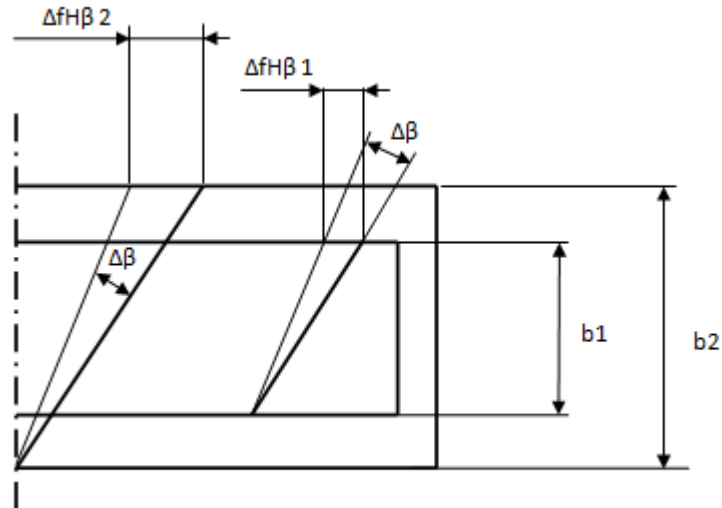
U valivého ozubení obou kol budou sledovány především parametry úchylek úhlu sklonu zubů  $f_{H\beta}$ , variabilita úchyly úhlu sklonu zubů  $\text{Var } f_{H\beta}$ , hodnoty úchylek čelních roztečí  $f_{pt}$ , součtových úchylek čelních roztečí za 1/8 zubů kola  $F_{pz/8}$ , radiální házení kol  $F_r$ , axiální házení věnců kol z horní (strana se synchronním ozubením) i spodní strany, axiální házení nábojek kol a hodnota míry přes kuličky  $M_{dK}$ .

U synchronního ozubení obou kol potom budou sledovány hodnoty úchylek čelních roztečí  $f_{pt}$ , součtových úchylek čelních roztečí kol  $F_p$ , radiální házení synchronního ozubení  $F_r$ , axiální házení synchronního ozubení (pouze u kol OCF 311 250 C, kde je synchronní věneček na kolo navařován) a rozměr přes kuličky  $M_{dK}$ .

Právě tyto parametry jsou nejen dobrým indikátorem vlivu posuzovaných výrobních technologií a kalírenských deformací, ale jedná se rovněž o důležité parametry výsledné kvality ozubených kol.

Vzhledem k faktu, že změna hodnot  $f_{H\beta}$  a rovněž i  $\text{Var } f_{H\beta}$  při jednotlivých technologických operacích probíhá většinou formou úhlové chyby (náklonu), bude nutné pro lepší srovnání

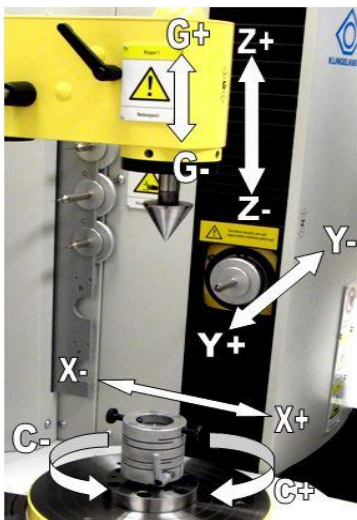
obou pozorovaných kol výsledné hodnoty těchto parametrů u kola OCF 311 251 C přepočítá poměrem šířek věnců obou kol (14,5/13,5), a to po všech sledovaných operacích. Tento princip je znázorněn na následujícím schématu (viz obr. 17). V názvu grafů takto upravených parametrů je potom pro lepší orientaci poznámka: přepočteno.



Obrázek 17: Vliv technologických operací na parametry  $fH\beta$  a  $Var fH\beta$

## 9 Použité měřicí stroje a přístroje

### 9.1 Klingelberg P26



K měření všech parametrů valivého i synchronního ozubení a zároveň i axiálního házení věnců ozubených kol i synchronního ozubení bylo užito CMM souřadnicových strojů Klingelberg P26 kontrolního měrového střediska. Jedná se o měřicí souřadnicový stroj se čtyřmi osami. Měřicí dotyk stroje je umístěn kolmo k ose měřeného dílu a pohybuje se ve třech osách. Čtvrtou osu potom tvoří otáčení měřeného dílu. Jedná se tedy o speciální CNC měřicí stroj, který je uzpůsoben především ke kontrole ozubení (viz obr. 18). Popis jednotlivých os je potom uveden v tabulce 2.

Obrázek 18: Zobrazení os stroje Klingelberg P26

Tabulka 2: Popis os stroje Klingelberg P26

Osa	Popis os
X	Tangenciální měřicí osa
Y	Radiální měřicí osa
Z	Vertikální měřicí osa
C	Otočný pohon obrobku
G	Zvedání a spouštění opěrného hrotu

Stroj se sestává z následujících hlavních částí:

- Základna stroje
  - Lože stroje
  - Systém měřicí hlavy
  - Stojan s opěrným hrotem
  - 4 měřicí osy
  - 3- osý lineární pohon systému měřicí hlavy
  - Otočný pohon obrobku
- CNC řízení
  - Zaznamenávání poloh os a vychýlení měřicí hlavy
  - Řízení otočného pohonu a lineárních pohonů měřicí hlavy
- Aplikační počítač
  - Počítač a příslušenství sloužící k obsluze stroje



Obrázek 19: Stroj Klingelberg P26

Rozložení jednotlivých komponent stroje je patrné z obrázku 19.

Jednotlivé úchytky ozubení jsou zaznamenávány pomocí měřicí hlavy K3D (Klingelberg 3D), která se pohybuje ve čtyřech osách za pomoci lineárních motorů a otočného pohonu měřeného dílu.



Obrázek 20: Uložení talířků stroje Klingelberg P26

Všemi čtyřmi měřicími osami stroje lze pojíždět samostatně i sdruženě. To umožňuje systému měřicí hlavy pohyb po libovolné trajektorii. Měřicí dotyk je umístěn na výměnném talířku. Jeho hmotnost je automaticky kompenzována vyvážením, aby byla přesně zachována středová poloha. Výměna dotyku probíhá automaticky. Talířky s dotyky jsou umístěny ve speciálních boxech (viz obr. 20). Zásobník dotyků obsahuje 6 boxů pro výměnu talířků [29,30,31].

Měřicí síla (moment) ve všech směrech je 0,75 N/mm. Měřicí hlava disponuje rozlišením 0,01  $\mu\text{m}$ . Přesnost stroje při kontrole obvodového a čelního házení dosahuje potom

hodnoty kolem 0,5  $\mu\text{m}$ . Přesnost pro úhlové úchyly profilu zubu  $f_{H\alpha}$  se dle referencí prodejců v běžném provozu pohybuje zhruba okolo  $\pm 1,5 \mu\text{m}$ . Pro parametr úhlové úchyly sklonu zubu  $f_{H\beta}$  byla naměřena přesnost  $\pm 1,5 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$ . Tyto úchyly jsou totiž výsledkem sdružení pohybu několika os stroje. Tomu odpovídá i celková dosažitelná přesnost měření těchto komplexních úchylek.

Při měření celkové úchyly profilu zubu  $F_\alpha$  a celkové úchyly sklonu zubu  $F_\beta$ , potom stroj dosahuje přesnosti  $\pm 2,0 \mu\text{m}$ , resp.  $\pm 2,5 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$  pro parametr  $F_\beta$ . Při měření součtové úchyly roztečí kola  $F_p$  pak Klingelnberg P26 vykazuje celkovou přesnost okolo  $\pm 1,0 \mu\text{m}$  [32].

Při přijímacích zkouškách těchto strojů se rozptyl z 30 opakovaných měření (za ideálních podmínek na etalonovém kole) pohyboval u úchylek sklonu a profilu do 0,3  $\mu\text{m}$ . U kinematických úchylek nepřesáhl rozptyl hranici 0,6  $\mu\text{m}$ .

Stroj Klingelnberg P26 je vhodný ke kontrole ozubení čelních kol, obrážecích a ševingovacích nástrojů, šneků a šnekových kol, odvalovacích fréz, spojkových ozubení, kuželových kol, vnějšího i vnitřního ozubení, drážkování, vaček, rotorů a dalších rotačně symetrických součástí [29,30,31].

Do stroje je možno upnout díl o délce až 600 mm a průměru do 260 mm. Maximální dovolená hmotnost měřeného dílu je 80 kg. Klingelnberg P26 je uzpůsoben k měření kol s modulem v rozpětí 0,5-12 mm [29,30,31,32].

Stroj je vybaven integrovanými teplotními snímači a teplotní kompenzací, což zaručuje adekvátní výsledky kontroly i v hůře klimatizovaných místnostech či v blízkosti výrobního provozu [29,30,31].

Během jediného měření, v závislosti na zvoleném programu, je stroj schopen určit velké množství parametrů ozubení kola. Ať už se jedná o radiální házení, úchyly evolventní křivky kola, sklonu ozubení, úchyly roztečí, tloušťky zubů, ale rovněž i kompletní topografii zubu kola. Program stroje je rovněž schopný dopočítat i některé úchyly, které samy o sobě (díky konstrukci stroje) nemohly být přímo změřeny. Jedná se například o rozměr přes kuličky  $M_{dK}$  a podobně.

Při měření všech úchylek ozubených kol s výjimkou axiálního házení věnce se užívá ve ŠKODA AUTO a.s. dotyk s rubínovou kuličkou o průměru 1 mm a délkou dřívku 10 mm. Pro měření všech úchylek kola synchronu, včetně axiálního házení věnce synchronu a k měření axiálního házení věnců kol byl potom užit dotyk s rubínovou kuličkou o průměru 1,5 mm a dřívkem o celkové délce 20 mm.

## **9.2 Číselníkový úchylkoměr (Pupitas)**

Pro měření axiálního házení nábojky kol, která slouží jako základna pro větší množství technologických operací, nebylo možno vzhledem k přítomnosti mazací drážky užít CMM stroj (riskovalo by se tím poškození dotyku). Proto pro měření nábojky byly využity běžné číselníkové úchylkoměry (viz obr. 21).

Pro díly před kalením (u MQ 200 i MQ 100) bylo užito měřidla Mitutoyo anti magnetic (JTY452). Jeden dílek na stupnici přístroje odpovídá jednomu mikrometru a rozsah měřidla je 0,14 mm [33].

Pro díly po kalení bylo potom při měření axiálního házení nábojek užito obdobného měřidla Mitutoyo anti magnetic (RJH 114). Tento číselníkový úchylkoměr dosahuje menší přesnosti (jeden dílek stupnice odpovídá dvěma mikrometrům), ale může měřit házení v rozpětí až 0,2 mm. Méně přesný úchylkoměr s větším rozpětím byl u kol po kalení zvolen vzhledem k předpokladu větší deformace nábojky po kalení.



Obrázek 21: Mitutoyo anti-magnetic (JTY452)

Při měření byly díly upnuty vždy v upínači UNIMATIC MODELL 3A (viz kapitola 10).

## 10 Použité měřicí trny a upnutí dílů při měření při měření

Při měření na stroji Klingelberg P26 byla kola vždy upnuta za centrální otvor. K jejich upínání byly užívány dva různé typy upínačů.

Při měření kol OCF 311 250 C převodovky MQ 100 byly užity při všech měřeních upínače UNIMATIC MODELL 3A (viz obr. 22).

Jedná se o univerzální upínače, schopné upnout kolo za otvor o průměru 25,4 - 38,1 mm. Kolo je upínačem uchyceno ve třech bodech (přímkách) po 120° kolem obvodu centrálního otvoru kola. Každé konkrétní kolo bylo přítom po každé technologické operaci upínáno na stejném upínači.



Obrázek 22: Upínač UNIMATIC MODELL 3A.

Na stejných upínačích byly upnuty i dvě série kol 02T 311 251 N (po 55 kusech) broušené na novém upínači (viz kapitoly 14.8.4, 14.8.5 a 14.8.6).

Série 110 kusů kol 02T 311 251 N, které byla později rozdělena a broušena na strojích Reinecker a Buderus s použitím původních strojových upínačů, byla upínána na jednom upínači UNIMATIC MODELL 3A stejném, jako při měření kol 0CF 311 250 C, a dvou upínačích jiné, kleštinové konstrukce (viz obr. 23).

Jedná se o upínače složené ze dvou částí. Kolo je při upínání nasazeno za centrální otvor na přesnou kleštinu o průměru  $\text{Ø}31,8$  mm a následně je i s ní nasazeno na kuželový trn  $\text{Ø}30\text{-}40$  mm a řádně upevněno. Kolo je tak při měření upnuto za celý obvod centrálního otvoru a nejen za tři body (přímky), jako je tomu u upínačů UNIMATIC. Tento způsob upnutí by měl tedy být stabilnější, především pak po procesu tepelného zpracování, kdy je centrální otvor zdeformován. I zde byl použit stejný upínač pro každé konkrétní kolo při všech měřeních.



Obrázek 23: Kleštinové upínače pro kola 02T 311 251 N

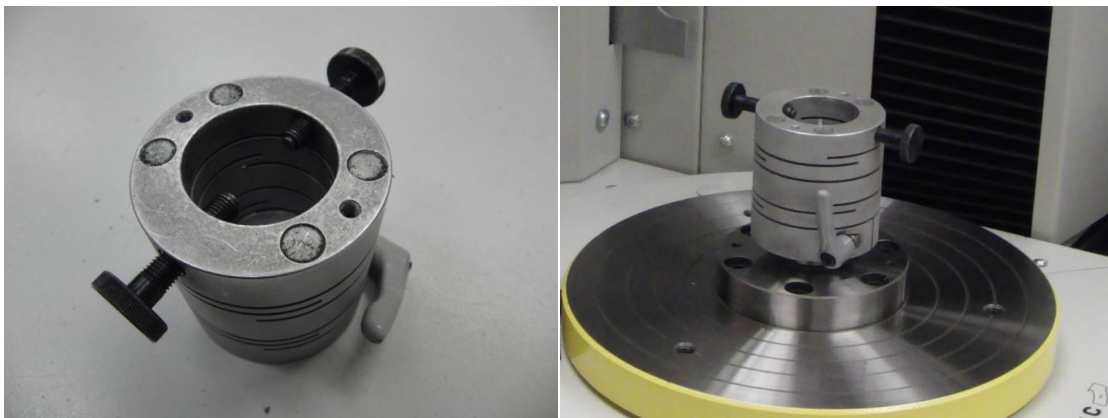


Pro upínání synchronních kroužků (OCF 311 291 B) kol OCF 311 250 C před navařením bylo potom použito podobných kleštinových upínačů, jako pro kola 02T 311 251 N, s trnem o průměru  $\text{Ø}41\text{-}50$  mm nasazeným přes kleštinu o průměru  $\text{Ø}43,96$  mm. V tomto případě byl měřený synchron rovněž upnut za centrální otvor, ale vzhledem k malé výšce synchronního věnečku a požadavku výkresové dokumentace, byl navíc podepřen za spodní plochu nábojky (viz obr. 24).



**Obrázek 24: Kleštinové upínače pro synchronní kroužky OCF 311 291 B**

Všechny upínače byly upnuty při měření mezi hroty stroje a k jejich zajištění byly použity unašeče dodávané ke stroji Klingelnberg (viz obr. 25).



**Obrázek 25: Unašeč P26**

## 11 Přesnost provedených měření

Všechna měření byla provedena pouze za pomoci řádně zkalibrovaných strojů, nástrojů a upínačů. Měření probíhalo v klimatizované metrologické laboratoři při teplotě 20°C. Reálná přesnost strojů tak odpovídá výrobcem deklarované přesnosti.

Všechny používané dotyky stroje Klingelberg P26 byly řádně kvalifikovány a prověřeny na kontrolním kuse vždy po 8 hodinách měření. Měření všech parametrů ozubení, synchronního ozubení i axiálního házení věnců kol po každé operaci proběhlo vždy na jedno upnutí. V případě chybných, či jakkoli zvláštních výsledků bylo kolo proměřeno podruhé po přepnutí a důkladném vyčištění kola i upínače.

Za účelem vyjádření reálné nepřesnosti celého procesu měření (včetně vlivu nepřesnosti upnutí na výsledky měření) bylo při měření každé série kol po každé výrobní operaci změřeno prvních 5 kol na všech upínačích. Takto bylo provedeno více než 50 duplexních a triplexních měření. Maximální a průměrné rozdíly úchylek ozubení při jednotlivých upnutích jsou patrné z následující tabulky:

**Tabulka 3: Nepřesnost měření**

Parametry kola			
Úchylka	Průměrný rozdíl všech opakovaných měření	Maximální naměřený rozdíl všech opakovaných měření	
		Hodnota [ $\mu\text{m}$ ]	Zjištěn po operaci
fH $\beta$ Levá	0,5	4	Kalení
fH $\beta$ Pravá	0,3	2	Kalení, Honování centrálního otvoru
Var fH $\beta$ Levá	2,0	7	Kalení
Var fH $\beta$ Pravá	2,4	8	Kalení
fpt Levá	0,6	3	Kalení
fpt Pravá	0,5	2	Kalení
Fpz/8 Levá	2,7	7	Kalení
Fpz/8 Pravá	2,6	8	Kalení
Fr	2,6	6	Kalení
MdK	2,2	6	Broušení centrálního otvoru
Parametry synchronu			
fpt Levá	0,5	2	Navaření synchronního kroužku
fpt Pravá	0,7	3	Kalení
Fp Levá	2,8	6	Kalení, Soustružení
Fp Pravá	3,1	7	Broušení centrálního otvoru
Fr	3,1	7	Kalení, Broušení centrálního otvoru
MdK	2,1	7	Navaření synchronního kroužku

Jak je z tabulky patrné, průměrné rozdíly mezi jednotlivými upnutími nejsou nikterak vysoké a běžně nepřesahují 3  $\mu\text{m}$ . Větší nepřesnosti v závislosti na upnutí byly potom zaznamenány u charakteristik, které se neměří přímo, ale jsou dopočítávány z několika měření jako například  $\text{Var } f_{H\beta}$ ,  $F_{pz/\beta}$ ,  $F_p$  a  $F_r$ . Zde je chyba způsobena kumulací nepřesností jednotlivých měření, ze kterých byl parametr určen (vypočten). Maximální vliv upnutí na parametry ozubení a nepřesnost měření byla zaznamenána převážně po operacích kalení a opracování centrálního otvoru.

Vzhledem k vysokému počtu měřených kol v jednotlivých sériích (50 až 110 kol) můžeme tedy jak nepřesnost upnutí, tak i nepřesnosti měřících metod považovat za přijatelné.

## 12 Výroba polotovarů ozubených kol

Polotovary ozubených kol ve ŠKODA AUTO a.s. jsou vyráběny z tyčoviny, která je dělena, indukčně ohřáta a následně zápusťkově kována na klikových lisech. Vlastní kování probíhá ve třech operacích:

- Pěchování materiálu
- Předkovací operace
- Finální zápusťkové kování

Během předkování a zápusťkového kování je polotovar formován do přesného tvaru negativu zápusťky (viz obr. 26). Ozubená kola jsou ve ŠKODA AUTO a.s. kována metodou tzv. bezvýronkového kování. Výkovky tedy nemají žádný výronek a veškerá nepřesnost vzniklá při dělení materiálu (přebytky, či nedostatky materiálu) je kompenzována na úkor blány centrálního otvoru kola [5].

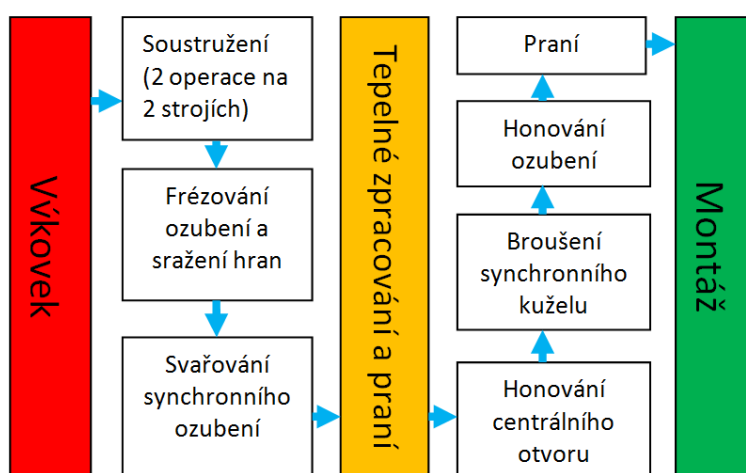


Obrázek 26: Výroba polotovarů ozubených kol ve ŠKODA AUTO a.s. [5]

## 13 Výroba ozubených kol 02T 311 251 N a 0CF 311 250 C

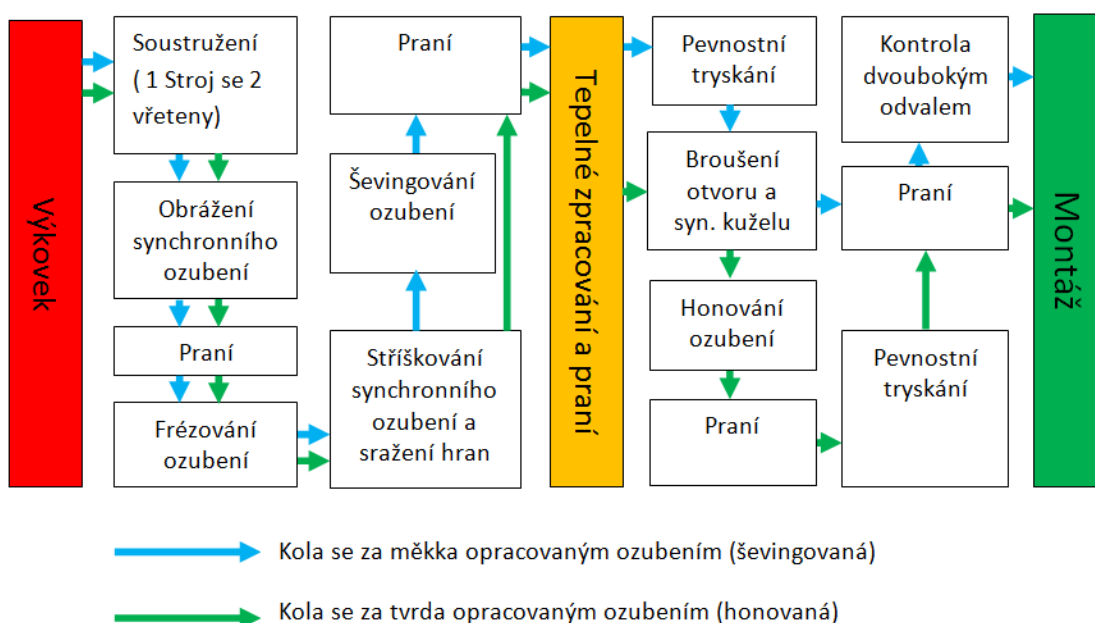
Hlavním rozdílem ve výrobní technologii obou kol je operace kalení, kdy kolo 02T 311 251 N převodovky MQ 200 je kaleno v oleji, zatímco díly převodovky MQ 100 jsou kaleny ve vakuové, tzv. ALD, kalírně (v přetlaku hélia). Druhým výrazným rozdílem při výrobě řadicích kol prvního stupně obou převodovek je potom opracování centrálního otvoru. U kol 02T 311 251 N jsou po zakalení kola centrální otvory broušeny, zatímco u kola 0CF 311 250 C jsou honovány.

Následující schéma zobrazuje přehled všech výrobních operací dílů 0CF 311 250 C:



Obrázek 27: Schéma výroby ozubených kol 0CF 311 250 C

Přehled všech výrobních operací ozubeného kola 02T 311 251 N je znázorněn na následujícím schématu:



Obrázek 28: Schéma výroby ozubených kol 02T 311 251 N (resp. B)

Z výše uvedeného schématu výrobních operací je patrné, že výrobní postup kol 02T 311 251 s ozubením opracovaným za tvrda (kola 02T 311 251 N) se oproti ozubení, u něhož jsou prováděny dokončovací operace ještě před kalením (02T 311 251 B), liší především absencí operace ševingování, která je nahrazena operací honování ozubení na strojích Prävema.

Kola s honovaným, či broušeným ozubením jsou tedy dokončována až po tepelném zpracování, a proto jejich výroba není tak citlivá na tvorbu otlaků a poškození vlivem upnutí a manipulace během výroby. Z tohoto důvodu není u těchto kol zařazena 100% kontrola dvoubokým odvalem.

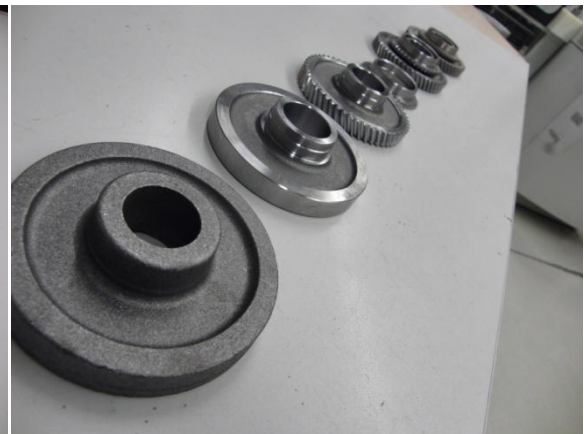
Všechna v práci reálně měřená kola potom byla opracovávána za tvrda, tj. oba díly mají po tepelném zpracování dokončované (honované) ozubení.

## 14 Vliv výrobních operací na kvalitu ozubení

Následující kapitola mapuje výrobní operace zvolených ozubených kol a jejich vliv na kvalitu ozubení (viz obr. 29 a 30).



Obrázek 29: Díly 02T 311 251 N V jednotlivých stádiích výroby



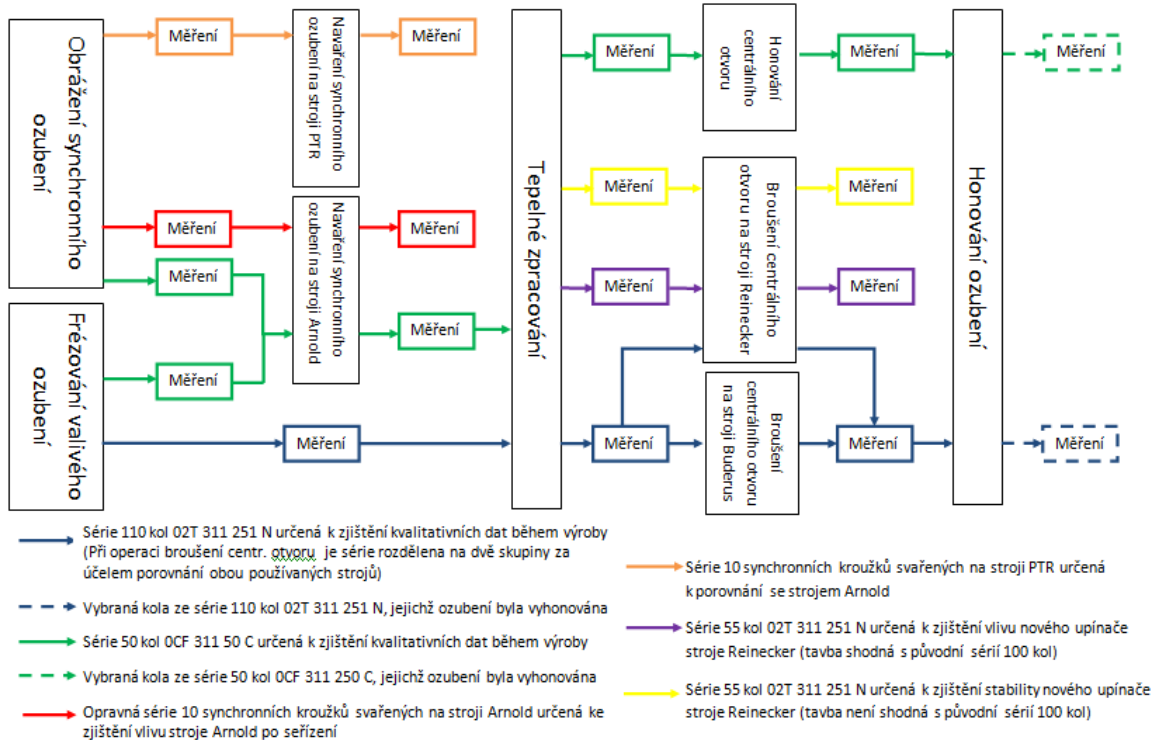
Obrázek 30: Díly 0CF 311 250 C V jednotlivých stádiích výroby

Po vybraných operacích byla na zkušebních sériích kol měřena kvalita ozubení za účelem zjištění vlivu dané operace a vlivu na jednotlivé kvalitativní parametry ozubení.

Při zjištění jakýchkoli kvalitativních nedostatků byly rovněž učiněny návrhy na nápravu, a vybraná řešení mnohdy rovněž odzkoušena na dalších sériích kol. V kapitole jsou rovněž srovnána kvalitativní data ozubených kol převodovky MQ 200 s koly převodovky MQ 100 po operacích, jejichž průběh je u obou ozubených kol technologicky odlišný.

Pro zjištění vlivu jednotlivých operací na kvalitu ozubení kol byly vybrány dvě série, které byly měřeny po všech operacích. Jedná se konkrétně o sérii 110 kol 02T 311 251 N a 50 kol 0CF 311 250 C. Dle potřeby pak byly pro ověření závěrů a navrhovaných řešení přidávány další série kol, které mapovaly vždy jen určitý výrobní úsek.

Kompletní přehled všech měřených sérií kol a jejich rozsahu je zobrazen na následujícím schématu:



Obrázek 31: Přehled jednotlivých sérií ozubených kol

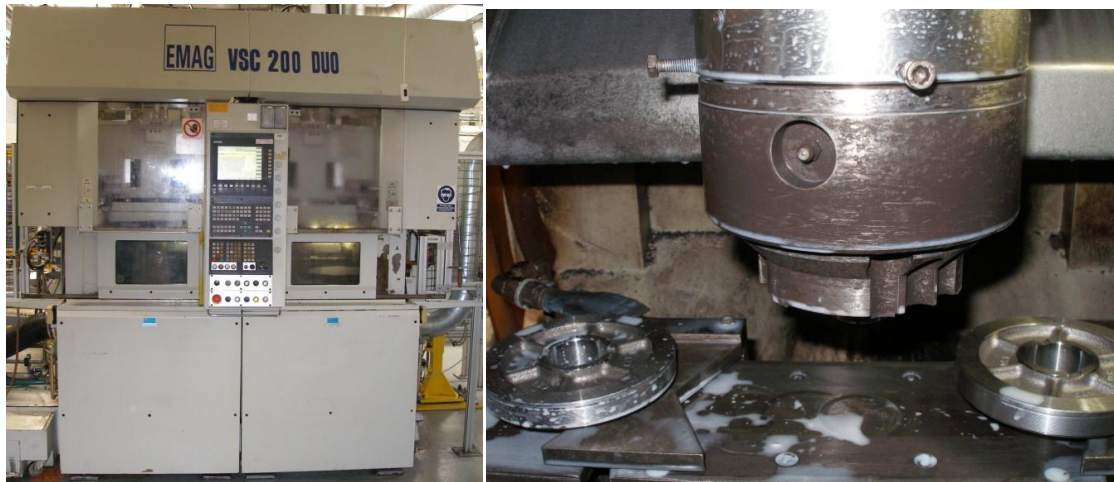
## 14.1 Soustružení ozubených kol

Operace soustružení, byť probíhá ještě před samotným vytvořením ozubení, má zásadní vliv na výslednou kvalitu ozubených kol. Během této operace se totiž vytváří technologické základny pro následující operace výroby a opracování ozubení. Je třeba si uvědomit, že návazné operace už většinou nejsou schopny vyřešit chyby vzniklé při prvotních operacích a jen je dále kopírují, ne-li zhoršují.

Soustružením na čisto lze přitom běžně dosáhnout přesnosti až IT 9-11 při drsnosti povrchu Ra 1,6-12,5 μm [34,35].

### 14.1.1 Soustružení ozubených kol 02T 311 251 N (MQ 200)

Soustružení kol 02T 311 251 N probíhá na dvě upnutí v jednom dvouřetenovém stroji EMAG VSC 200 Duo (viz obr. 32). V první operaci je kolo upnuto za předkovaný průměr 105,6 mm (hlavová kružnice) a podepřeno za horní stranu věnce kola (strana, na které bude vyhotoveno synchronní ozubení). V této operaci je soustružena spodní strana ozubeného věnce kola, sražení hlavové kružnice na spodní straně kola, nábojka kola a její sražení a centrální otvor včetně sražení u předkovaného odlehčení. Otáčky se během této operace pohybují v rozmezí 140-230 ot/min a posuvy potom dosahují hodnot od 0,1 do 3 mm/ot [36].



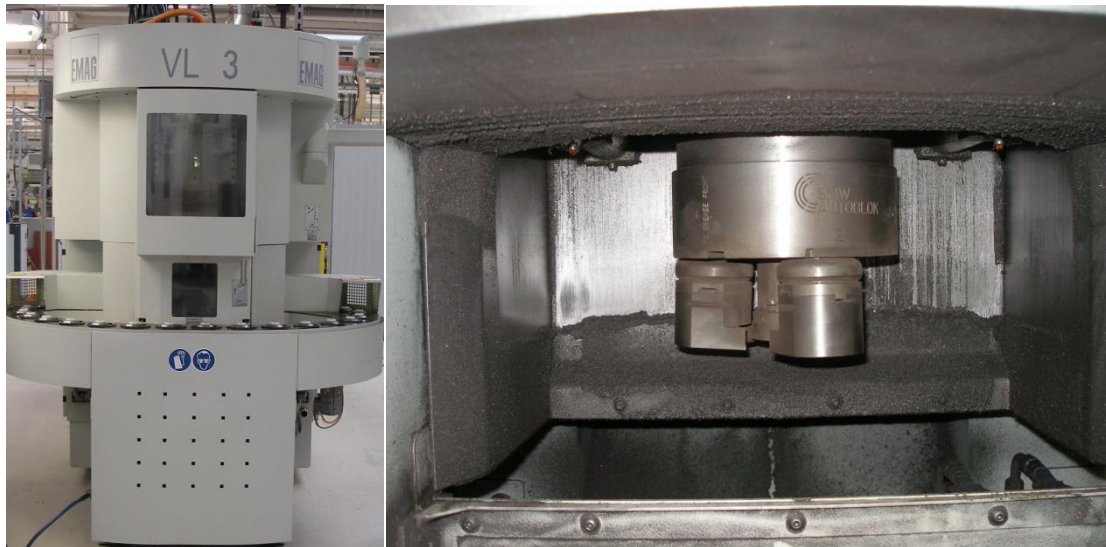
Obrázek 32: Stroj EMAG VSC 200 Duo a upnutí během soustružení [4]

Následně je obrobek ve stroji přepnut a upnut za centrální otvor a nábojku kola na jeho spodní straně. Během této operace je vysoustružen synchronní kužel včetně všech sražení, zápichů a vybrání, průměr, na kterém bude v dalších operacích vytvořeno synchronní ozubení, a zápich mezi ním a kolem, horní plocha věnce budoucího synchronního ozubení, horní plocha věnce kola a hlavový průměr kola a jeho sražení. Během druhé operace dosahují otáčky hodnot 150-320 ot/min a posuvy 0,1-1 mm/ot [36].

#### 14.1.2 Soustružení ozubených kol OCF 311 250 C (MQ 100)

Soustružení dílů OCF 311 250 C probíhá rovněž na dvě upnutí ovšem na dvou strojích. V první operaci je soustružen centrální otvor, spodní strana kola (nábojka i věnec) včetně sražení u předkovaného odlehčení a hlavový průměr kola se sražením na spodní straně kola. Během této operace je kolo upnuto za předkovaný průměr 44 mm (průměr pro navaření synchronního ozubení) a podepřeno za horní stranu nábojky (stranu, na kterou bude v dalších operacích navařeno synchronní ozubení). Operace probíhá na stroji EMAG VL3 při otáčkách v rozmezí 190-350 ot/min a posuvech 0,2-1,5 mm/ot [36].

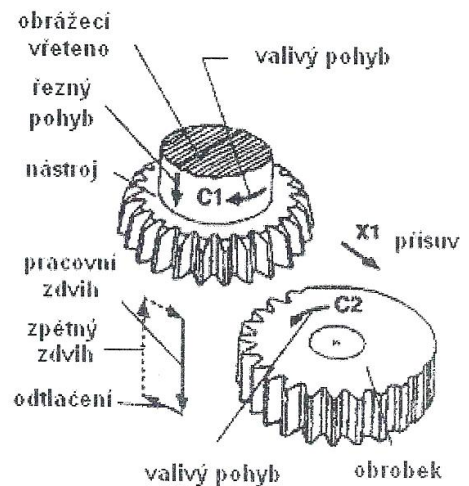
Následuje upnutí obrobku do druhého stroje EMAG VL3 (viz obr. 33). Kolo je během této operace upnuto za centrální otvor (průměr 31,82-31,84 mm) a podepřeno za spodní stranu nábojky. Při druhé operaci jsou osoustruženy vrchní strana nábojky se sražením u centrálního otvoru, vrchní plocha věnce kola včetně sražení hlavy, sražení hran u předkovaného odlehčení a průměr, na který bude v dalších operacích navařen synchronní kroužek. Během této operace je dosahováno hodnot posuvu v rozmezí 0,1- 1 mm/ot a otáček v rozmezí 230-380 ot/min [36].



Obrázek 33: Stroj EMAG VL3 a upnutí během soustružení [4]

## 14.2 Obrázení synchronního ozubení

Synchronní ozubení je v případě řadičeho kola prvního stupně převodovky MQ 200 (02T 311 251 N) vyráběno technologií obrázení. Jedná se o jednu z nejuniverzálnějších metod při výrobě ozubení (viz obr. 34). Obrázcím nástrojem je obrázcí kolo, jehož hlavní řezný pohyb je realizován pomocí lineární oscilace. Nástroj koná současně rotační i lineární posuvný pohyb a během nich dochází k vzájemnému valivému pohybu obrobku vůči nástroji. Obrázení obrobku je přitom realizováno jen při tzv. pracovním zdvihu, zatímco tzv. zpětný zdvih je uskutečněn bez kontaktu s obrobkem. Kvalita výrobků je ovlivněna nejen geometrií nástroje, ale i správným upnutím, seřízením stroje a řízením pohybů v jednotlivých osách [37].

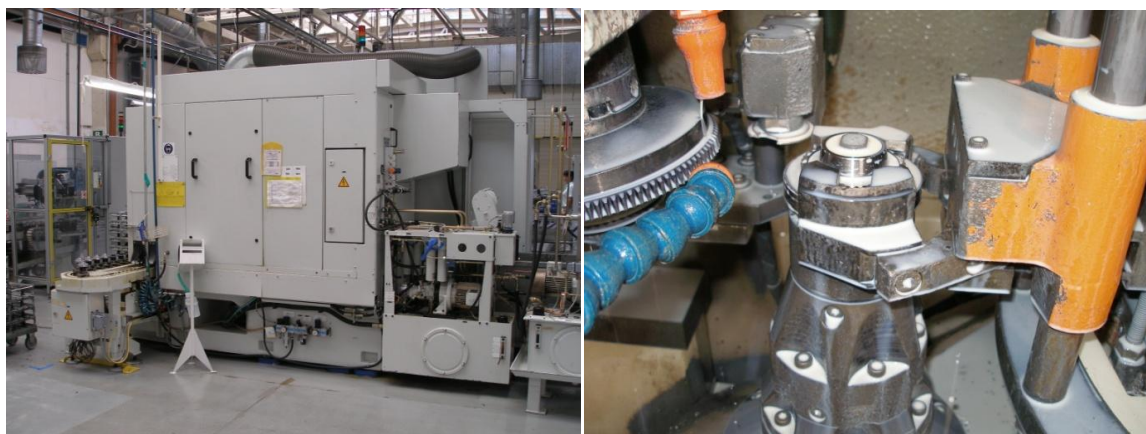


Obrázek 34: Obrázení ozubených kol [37]

### 14.2.1 Obrázení synchronního ozubení kol 02T 311 251 N (MQ 200)

Obrázení synchronního ozubení pro kola 02T 311 251 N Převodovky MQ 200 se provádí na strojích Pfauter a Lorenz LS 122 (viz obr. 35). Kolo je upnuto za centrální otvor a spodní stranu ozubeného věnce. Obrázcím nástrojem je obrázcí kolo s vnějším průměrem 179,34 mm a 110 zuby. Po dokončení obrázení jsou ještě automaticky odstraněny otřepty [36].





Obrázek 35: Stroj Lorenz LS 122 a upnutí během obrábění synchronního ozubení [4]

Po obrábění synchronního ozubení byly naměřeny následující parametry a úchytky synchronního ozubení:

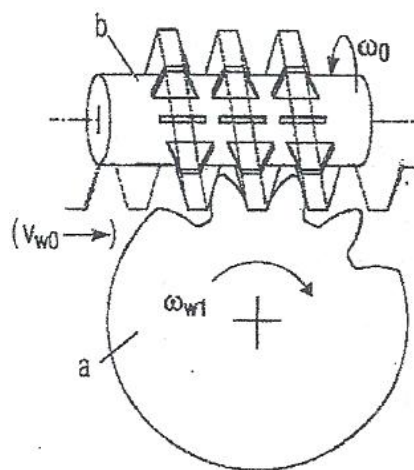
Tabulka 4: Úchytky synchronního ozubení po obrábění (série 110ks dílů 02T 311 251 N)

Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
fpt Levá [ $\mu\text{m}$ ]	8	19	4	2	6
fpt Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	10	20	4	3	9
Fp Levá [ $\mu\text{m}$ ]	21	37	11	5	30
Fp Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	22	34	12	5	21
Fr [ $\mu\text{m}$ ]	22	33	11	6	31
MdK [mm]	72,925	72,985	72,891	0,016	-

### 14.3 Frézování valivého ozubení kol

Výroba evolventního ozubení se šikmými zuby je u dílů 02T 311 251 N převodovky MQ 200 a zároveň i u dílu 0CF 311 250 C realizována pomocí odvalovacího frézování.

Odvalovací frézování je velmi rozšířenou metodou výroby ozubených kol (viz obr. 36). Nástrojem je při této operaci mnohobřítá odvalovací fréza, která tvoří s obráběným kolem pomyslné šnekové soukolí. Podélné drážky na odvalovací fréze přerušují závit šneku a vytvářejí tak břity nástroje. Každý břit odvalovací frézy potom odvaluje bok zuba. Kvalita evolventního ozubení je potom silně závislá na počtu těchto obálkových řezů. Při frézování kol se šikmým ozubením je třeba navíc potočit osu otáčení odvalovací frézy o úhel sklonu zubů  $\beta$  [37].



Obrázek 36: Odvalovací frézování [37]

### 14.3.1 Frézování ozubení kol 02T 311 251 N (MQ 200)

Frézování valivého ozubení dílů 02T 311 251 N převodovky MQ 200 probíhá odvalovacím způsobem na strojích OFA 32 od firmy TOS Čelákovice (viz obr. 37). Kolo je během operace upnuto za centrální otvor a podepřeno z horní i spodní strany ozubeného věnce. Během operace jsou rovněž sraženy hrany ozubení. Axiální posuv je během operace nastaven na hodnotu 2,2 mm/ot a otáčky frézy dosahují 810 ot/min [36].



Obrázek 37: Stroj OFA 32 a upnutí během frézování ozubení [4]

Při měření 110 frézovaných kol 02T 311 251 N bylo naměřeno následující rozložení jednotlivých úchylek ozubení.

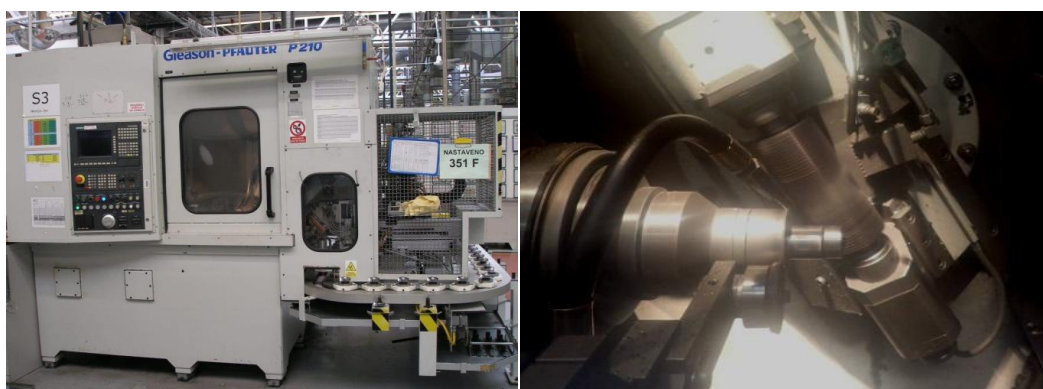
Tabulka 5: Úchylky ozubení po frézování (série 110ks dílu 02T 311 251 N)

Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Průměrná odchylka	Rozptyl
fHβ Levá [μm]	9	14	4	2	4
fHβ Pravá [μm]	3	9	-2	2	5
Var fHβ Levá [μm]	7	18	1	4	13
Var fHβ Pravá [μm]	7	17	0	4	15
fpt Levá [μm]	6	10	4	1	1
fpt Pravá [μm]	6	8	5	1	1
Fpz/8 Levá [μm]	15	27	6	5	23
Fpz/8 Pravá [μm]	16	27	6	5	21
Fr [μm]	32	58	10	11	114
MdK [mm]	105,709	105,724	105,696	0,004	-
Ax. házení horní strany věnce [μm]	23,3	40,5	9,2	6,4	40,8
Ax. házení spodní strany věnce [μm]	9,4	28,8	3,8	4,0	15,7
Ax. házení nábojky [μm]	5,7	26	0	4,9	23,8

### 14.3.2 Frézování ozubení kol 0CF 311 250 C (MQ 100)

Frézování ozubení kol 0CF 311 250 C probíhá rovněž způsobem odvalovacího frézování na strojích Pfauter 210 HiC (viz obr. 38). Během frézování ozubení je díl upnut za centrální otvor a podepřen za spodní stranu věnce kola.

Valivé ozubení kol je frézováno ve dvou krocích. V prvním kroku je ozubení vyfrézováno na hrubo a v kroku druhém potom na čisto pouze s přídavkem pro broušení, či honování. Mezi prvním a druhým krokem je potom ozubení rovněž odjehleno a jsou zároveň sraženy podélně hrany ozubení. V obou krocích je ozubení frézováno souběžným axiálním posuvem o velikosti 2,7 mm/ot pro krok 1 a 3,3 mm/ot v případě kroku 2. Řezná rychlost potom dosahuje hodnoty 190 m/min v prvním kroku a 270 m/min v kroku druhém [36].



Obrázek 38: Stroj Pfauter 210 HiC a upnutí během frézování ozubení [4]

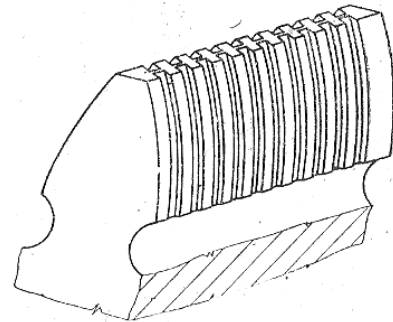
Po ofrézování 50 kol 0CF 311 250 C byly naměřeny následující hodnoty jednotlivých parametrů a úchylek, které poslouží jako výchozí hodnoty k určení vlivu navazující operace:

Tabulka 6: Úchylky ozubení po frézování (série 50ks dílu 0CF 311 250 C)

Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
fHβ Levá [μm]	9	11	6	1	1
fHβ Pravá [μm]	16	18	14	1	1
Var fHβ Levá [μm]	6	16	1	3	11
Var fHβ Pravá [μm]	6	16	1	3	9,
fpt Levá [μm]	7	9	5	1	1
fpt Pravá [μm]	9	11	7	1	1
Fpz/8 Levá [μm]	12	22	5	3	10
Fpz/8 Pravá [μm]	13	21	7	3	9
Fr [μm]	37	60	25	6	35
MdK [mm]	105,178	105,189	105,170	0,004	-
Ax. házení vrchní strany věnce [μm]	35,3	148,7	17,4	20,7	427,4
Ax. házení spodní strany věnce [μm]	14,9	30,3	5,8	5,4	29,6
Ax. házení nábojky [μm]	2,1	13	0	2,3	5,3

#### 14.4 Ševingování ozubených kol

Přestože ani jedno ze sledovaných kol není ševingováno, některá řadicí kola převodovky MQ 200 ševingována jsou (Konkrétně se jedná například o řadicí kola 1. rychlosti 02T 311 251 B.). Výrobní operace kol se ševingovaným ozubením jsou většinou totožné a broušení jejich centrálních otvorů je dokonce prováděno běžně na strojích Reinecker ISAA 200, na kterých se rovněž mohou vyrábět díly 02T 311 251 N, a jehož upínač byl v této práci jedním z porovnávaných způsobů upnutí. Proto je přínosné charakterizovat i tuto technologii a porovnat ji s alternativou honování nebo broušení ozubení.



Obrázek 39: Ševingovací deska [38]

Ševingování je technologická operace sloužící ke zlepšení kvality ozubení. Obráběcím nástrojem je ševingovací kolo, někdy také označované jako ševingovací deska (viz obr. 39). Jedná se o nástroj tvaru ozubeného kola, který má na bocích drážky směřující od hlavy zubu k jeho patě. Tyto drážky mají nabroušené hrany a vytváří tak jednotlivé břity. Při procesu ševingování pak dochází k záběru nástroje s obráběným kolem. Ševingovací kolo je při záběru poháněno a má s obrobkem kontakt na obou bocích zubu. Aby byl záběr s ozubením se šikmými zuby proveditelný, je nutné, aby ševingované kolo a nástroj měly vzájemně mimoběžné osy. Aby nastal požadovaný ševingovací účinek, jsou jejich osy dále vychýleny o  $3 - 20^\circ$ . Zkřížení osy nástroje a obrobku má potom za následek vzájemný posuv mezi boky zubů. Takto dochází k úběru materiálu po malých třískách. Každý břit nástroje přitom odebírá materiál pouze v malé oblasti. Celý proces ševingování se uskutečňuje pod olejem, který zajišťuje mazání a rovněž i odvod třísek. Ševingováním se běžně dosahuje drsnosti  $Ra < 0,4 \mu\text{m}$  [37,38].

Problémem této metody je, že ozubení opracované metodou ševingování není zpravidla po zakalení již dále upravováno. Zatímco ozubení kol, která nejsou ševingována, je po zakalení dále broušeno nebo honováno. Ševingovaná kola tedy mohou mít v důsledku kalírenských deformací finálně horší kvalitu než kola s ozubením dokončovaným po tepelném zpracování.

Vzhledem k podstatě práce je ovšem nutno poukázat na fakt, že při operaci broušení centrálního otvoru kola, při které je kolo upnuto právě za kalírnou zdeformované ozubení, budou tato kola dosahovat lepších výsledků, neboť v této fázi výroby je jejich ozubení přesnější.

#### 14.5 Svařování synchronů ozubených kol

U dílů 0CF 311 250 C převodovky MQ 100 není synchronní ozubení pevnou součástí vlastního ozubeného kola a je tedy třeba ho dodatečně přivařit. Proces svařování přitom probíhá u tohoto dílu ještě před jeho tepelným zpracováním.

Cílem tohoto úseku práce je zjistit vliv svařování na kvalitativní parametry synchronního ozubení, zhodnotit jej a zároveň i porovnat jednotlivé technologie svařování ozubených kol OCF 311 250 C.

Svařování synchronního ozubení se provádí buď pomocí laserového paprsku na stroji Arnold, nebo elektronovým paprskem na starším stroji PTR. Pro svaření dílů zkušební série 50 kol OCF 311 250 C byl vybrán stroj Arnold díky své konstrukci, která umožňuje spárovat kolo se zvoleným synchronem a tak zjistit vliv nepřesnosti konkrétního kola na následně navařený synchronní kroužek. Na stroji PTR bylo potom navařeno na kola dalších 10 synchronních kroužků za účelem porovnání obou technologií.

#### 14.5.1 Svařování kol laserovým paprskem

Při svařování laserovým paprskem je svařovaný díl vystaven vlivu monochromatického koherentního světelného paprsku s malou divergencí, který vzniká v důsledku stimulované emise záření. V případě stroje Arnold se jedná o plynový CO<sub>2</sub> laser, jehož aktivní prostředí je tvořeno molekulami oxidu uhličitého. Tyto lasery dosahují obvykle výkonu až 45 kW a vysoké účinnosti 8-15%. Laser emituje infračervené záření o vlnové délce 10,6 μm [39,40].

##### 14.5.1.1 Svařovací stroj Arnold

Stroj Arnold je plně automatický svařovací stroj uzpůsobený k nalisování synchronních kroužků na ozubená kola, jejich následnému svaření a konečné kontrole (viz obr. 40). Proces svařování je v celém průběhu kontrolován a neshodné díly jsou automaticky vyřazovány pomocí ultrazvukové kontroly. Takt stroje se pohybuje v rozmezí 16-22 sekund [40].



Obrázek 40: Svařovací stroj Arnold

#### 14.5.2 Svařování kol elektronovým paprskem

Elektronové svařování je proces, jenž využívá k vytvoření svaru teplo vzniklé v důsledku bombardování povrchu svazkem elektronů s vysokou kinetickou energií. Elektrony jsou emitovány z povrchu katody tepelnou emisí a jsou dále urychlovány napětím až několika stovek kilovoltů. Elektrony ve svazku tak dosahují rychlosti až 70% rychlosti světla.

Elektronový svazek je dále vlivem elektromagnetického pole, vytvořeného soustavou elektromagnetických cívek, fokusován, čímž se vytvoří úzký paprsek s vysokou plošnou hustotou energie svazku ( $10^5 - 10^9 \text{ Wcm}^{-2}$ ). Při dopadu elektronového paprsku na povrch svařované součásti tak téměř okamžitě dochází k jejímu natavení. Celý proces přitom probíhá ve vakuu vyšším než  $10^{-5} \text{ Pa}$  [41,42,43].

#### 14.5.2.1 Svařovací stroj PTR

Svařovací stroj od firmy PTR byl vyroben na zakázku a je tedy plně uzpůsoben k nalisování a následnému přivaření synchronních kroužků na ozubená kola. Fotografie stroje nalezneme na obrázku 41. Stejně jako stroj Arnold, i PTR disponuje automatickou kontrolou svařenců [4].



Obrázek 41: Svařovací stroj PTR [4]

#### 14.5.3 Laserové svařování synchronních věnečků ozubených kol OCF 311 250 C (MQ 100)

Před svařováním jsou kola i synchronní kroužky vyprány, opláchnuty, ofoukány a osušeny horkým vzduchem. Následně jsou synchronní kroužky nalisovány na kola lisovací silou, která je předepsána v rozmezí 40 až 60 kN. Následuje samotné svařování. Proces svařování probíhá v následujících krocích:

Tabulka 7: Proces svařování na stroji Arnold [36]

Operační úsek	Výseč svařování	Výkon laseru	Svařovací rychlost
Náběh předsvařování	10°	500-2000 W	10 000 m/min
Předsvařování	360°	2000 W	10 000 m/min
Dokončení předsvařování	10°	2000 W	10 000 m/min
Náběh na svařování	10°	2850 W	1300 m/min
Svařování	360°	2850 W	1300 m/min
Dokončení svařování -1	10°	2000 W	2000 m/min
Dokončení svařování -2	10°	1500 W	3000 m/min
Dokončení svařování -3	10°	1000 W	3500 m/min

Jak je z předešlé tabulky patrné, startovací výkon laseru je 500 W a během procesu svařování dosahuje maxima 2 850 W (generátor poskytuje maximální výkon až 3000 W). Dokončení svařování probíhá ve třech krocích, během kterých postupně klesá výkon laseru, aby se snížilo tepelné ovlivnění materiálu. Frekvence laseru činí 5 000 Hz. Svar je proveden do hloubky zhruba 4,5 mm. Po svařování následuje kontrola svaru ultrazvukem [4,36].

Před navařením na kola byly vybrané parametry synchronních kroužků OCF 311 291 B proměřeny, aby se dal určit vliv procesu svařování na parametry synchronního ozubení. Hodnoty jednotlivých parametrů synchronního ozubení před svařením jsou uvedeny v následující tabulce:

**Tabulka 8: Úchyly synchronního ozubení před navařením (série 50ks dílu OCF 311 250 C)**

Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
fpt Levá [ $\mu\text{m}$ ]	4	11	2	1	2
fpt Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	4	10	3	1	1
Fp Levá [ $\mu\text{m}$ ]	25	42	10	7	43
Fp Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	32	51	21	7	43
Fr [ $\mu\text{m}$ ]	24	39	9	6	33
MdK [mm]	76,462	76,502	76,431	0,016	-
Ax. házení synchronu [ $\mu\text{m}$ ]	41,1	60,2	22,2	11,0	121,3

Po navaření byly potom naměřeny následující hodnoty parametrů synchronního ozubení:

**Tabulka 9: Úchyly synchronního ozubení po navaření na stroji Arnold (série 50ks dílu OCF 311 250 C)**

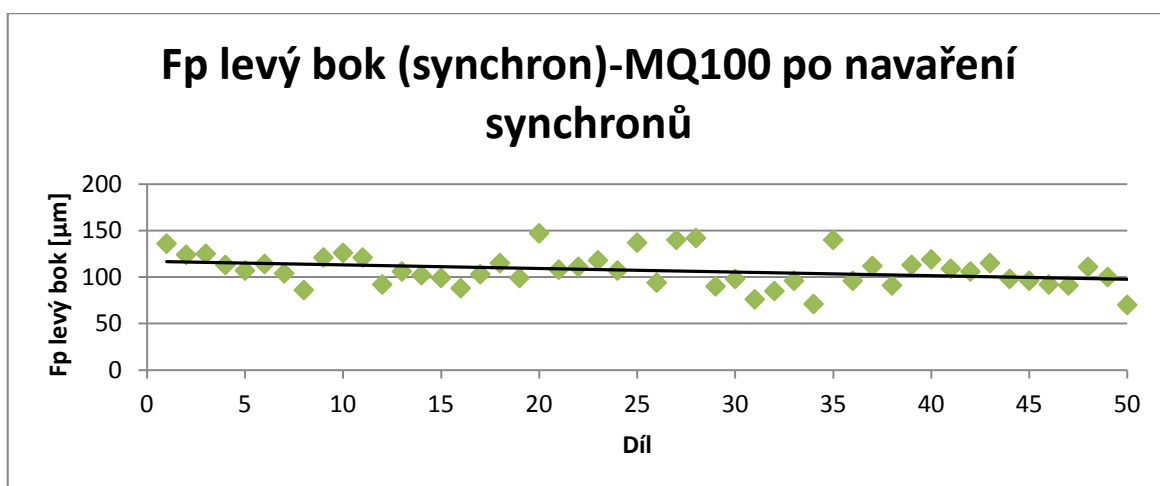
Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
fpt Levá [ $\mu\text{m}$ ]	13	16	9	2	3
fpt Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	10	14	7	2	3
Fp Levá [ $\mu\text{m}$ ]	107	147	70	18	315
Fp Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	97	151	55	21	427
Fr [ $\mu\text{m}$ ]	74	111	39	16	243
MdK [mm]	76,421	76,445	76,392	0,015	-
Ax. házení synchronu [ $\mu\text{m}$ ]	52,3	110,4	30,6	20,9	435,1

Následující tabulka potom znázorňuje vliv vlastního procesu svařování na jednotlivé parametry kola:

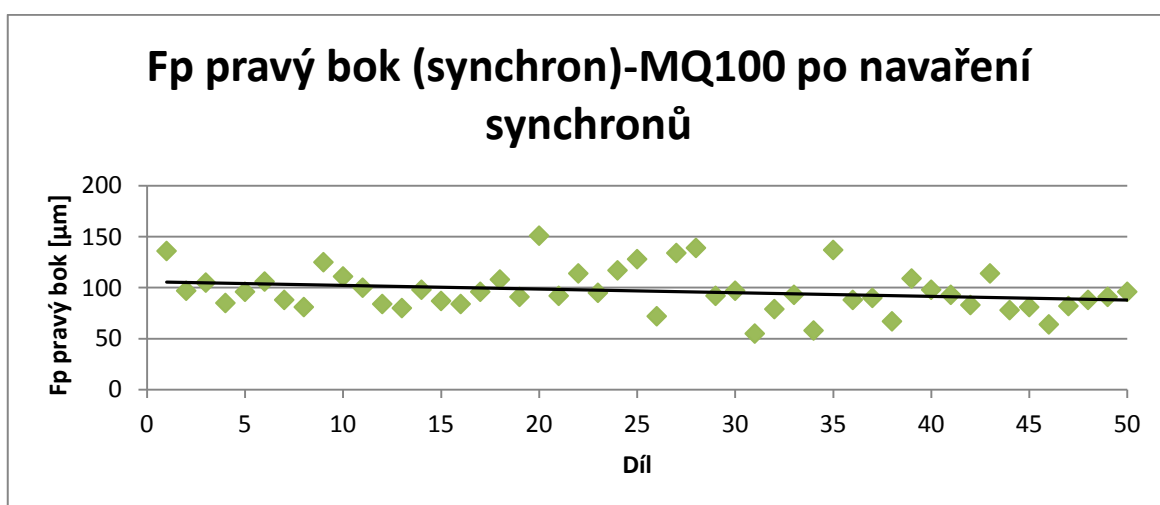
Tabulka 10: Vliv svařování na stroji Arnold (série 50ks dílu OCF 311 250 C)

Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
$\Delta f_{pt}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	9	13	2	2	4
$\Delta f_{pt}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	6	10	1	2	4
$\Delta F_p$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	83	120	41	19	347
$\Delta F_p$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	65	125	23	22	488
$\Delta Fr$ [ $\mu\text{m}$ ]	50	92	13	19	279,7
$\Delta MdK$ [mm]	-0,041	-0,008	-0,073	0,011	-
$\Delta Ax.$ házení synchronu [ $\mu\text{m}$ ]	12,0	66,3	-20,2	23,6	555,3

Jak je patrné z následujících grafů, svařování synchronního ozubení na stroji Arnold má velmi negativní vliv, především potom na úchytky roztečí kola. Na následujících grafech je znázorněna hodnota roztečí po  $F_p$  operaci svařování (viz obr. 42 a 43).



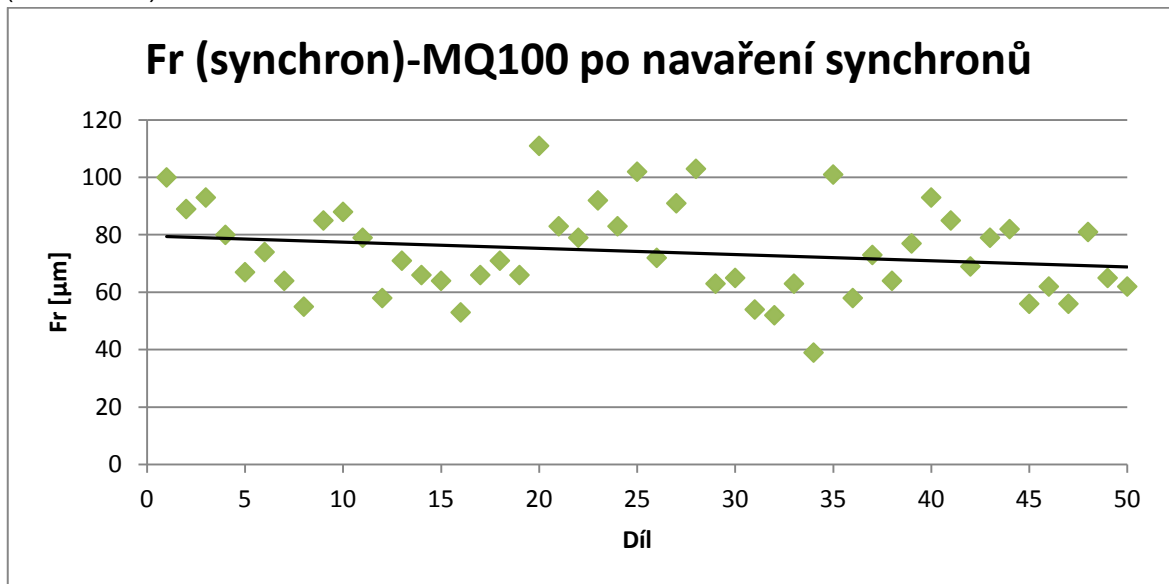
Obrázek 42: Hodnota součtové úchytky roztečí (levý bok) po navaření na stroji Arnold - (série 50ks dílu OCF 311 250 C)



Obrázek 43: Hodnota součtové úchytky roztečí (pravý bok) po navaření na stroji Arnold - (série 50ks dílu OCF 311 250 C)



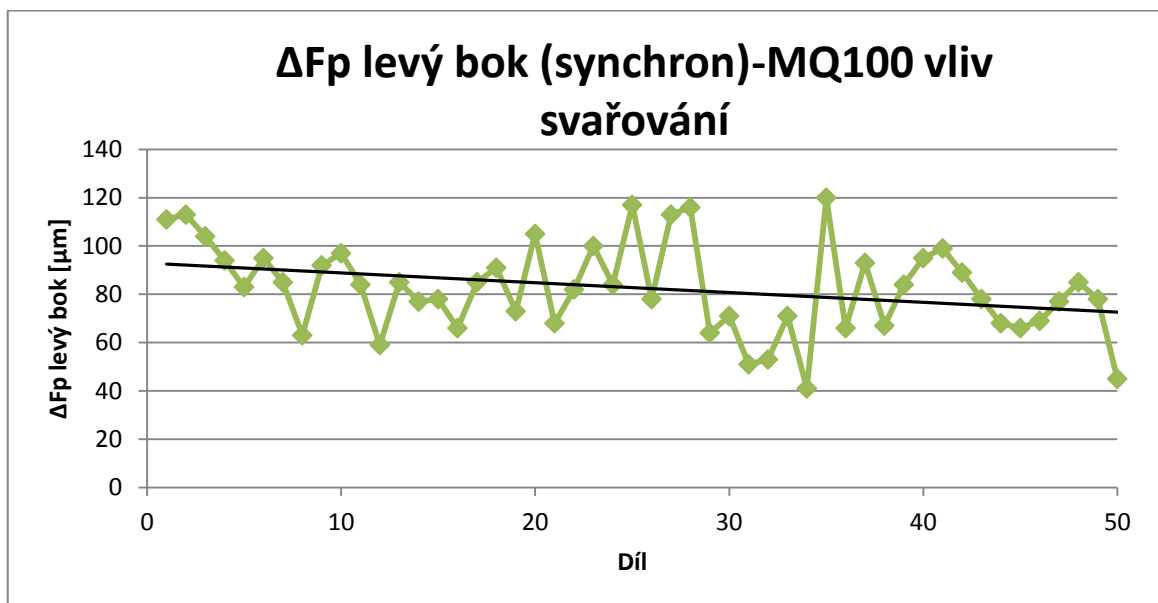
Navýšení roztečí se rovněž negativně projevuje na hodnotách radiálního házení (viz obr. 44).



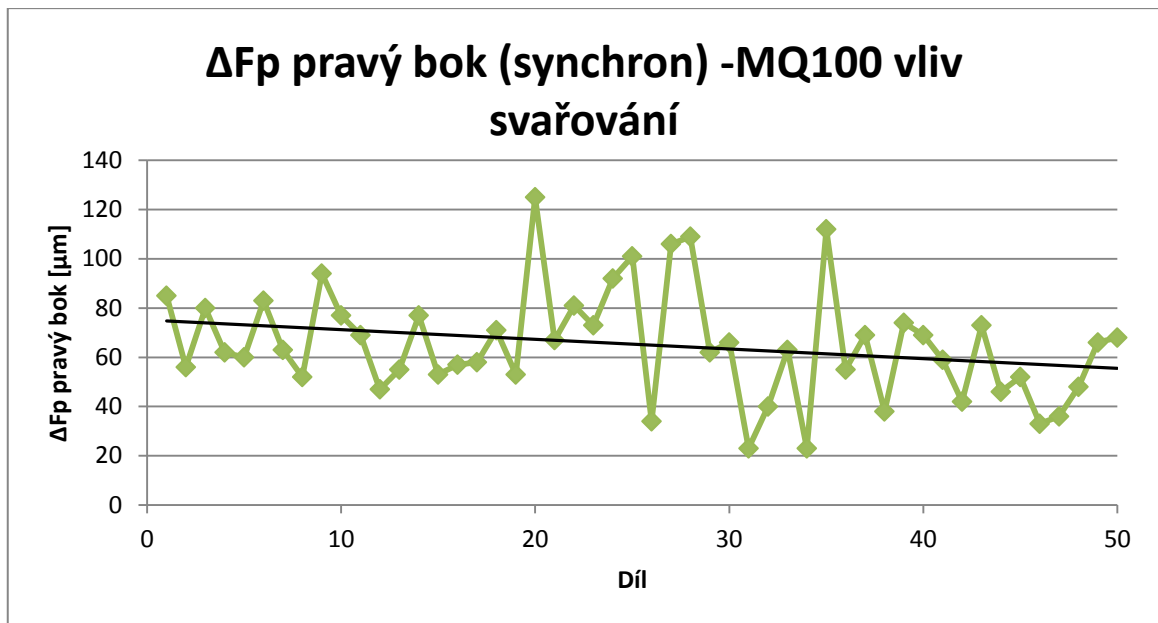
Obrázek 44: Hodnota radiálního házení po navaření na stroji Arnold - (série 50ks dílu 0CF 311 250 C)

Úchylky součtových roztečí obou boků zubů se po operaci svařování pohybují na hranici 100  $\mu\text{m}$  a radiální házení synchronního kroužku má průměrnou hodnotu 80  $\mu\text{m}$ .

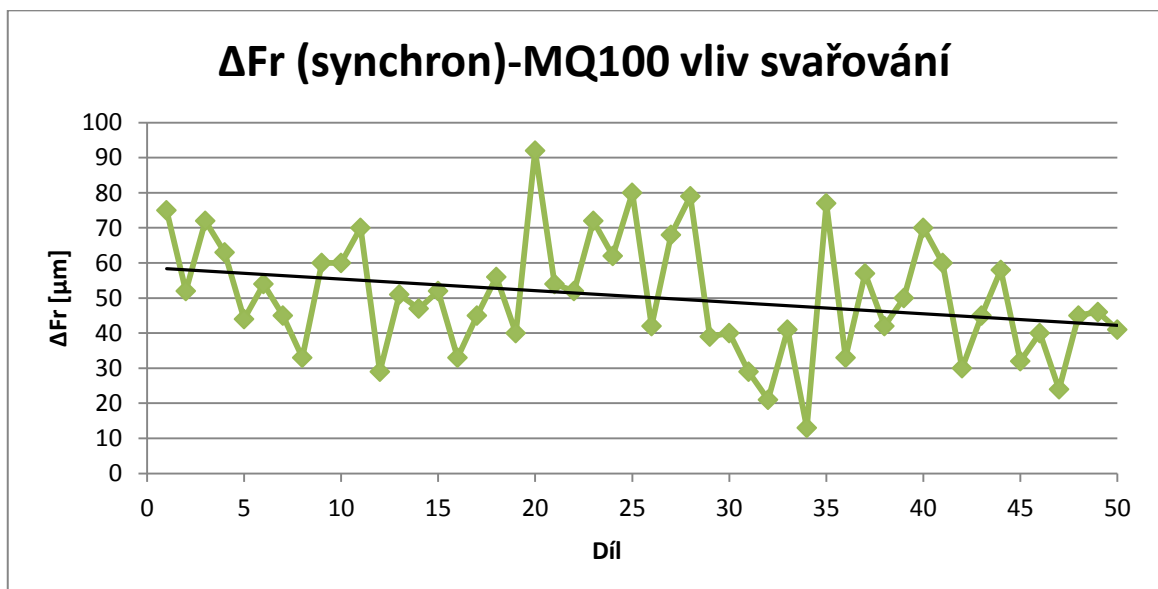
Následující grafy již detailně představují vliv samotné operace svařování na tyto rizikové parametry synchronního ozubení:



Obrázek 45: Vliv svařování na stroji Arnold na úchylky součtových roztečí (levý bok) - (série 50ks dílu 0CF 311 250 C)



Obrázek 46: Vliv svařování na stroji Arnold na úchytky součtových roztečí (pravý bok) - (série 50ks dílu 0CF 311 250 C)



Obrázek 47: Vliv svařování na stroji Arnold na radiální házení synchronního ozubení - (série 50ks dílu 0CF 311 250 C)

Jak je z grafů vlivu svařování patrné, tato operace je zodpovědná za enormní nárůst úchytek roztečí a radiálního házení. Při hledání příčiny zhoršení kvality byla objevena výrobní softwarová chyba stroje, kdy poloha předsvařování a hlavního svařování byly korigovány opačným směrem. To způsobilo, že poloha předsvařování byla oproti ose synchronu a kola vyosená o 0,6 mm. Při svařování tak nebyly díly řádně uchyceny. Vlivem ohřevu během svařování pak došlo k teplotnímu roztažení synchronních věnečků, které se bez zajištění (které by řádné předsvaření poskytlo) vychýlily oproti ose kol, na které byly navařovány.

Software stroje byl následně upraven a pro zjištění dopadu svařování na kvalitu ozubení bylo na kola 0CF 311 250 C navařeno dalších 10 synchronních kroužků.

Výsledné hodnoty úchylek synchronního ozubení těchto 10 synchronních kroužků před svařováním, po svařování a vliv svařování na jednotlivé úchytky ozubení je uveden v následujících tabulkách:

**Tabulka 11: Hodnoty úchylek synchronního ozubení před navařením na stroji Arnold po seřízení (série 10ks dílu 0CF 311 250 C)**

Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
fpt Levá [ $\mu\text{m}$ ]	5	8	3	1	2
fpt Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	4	5	3	1	0
Fp Levá [ $\mu\text{m}$ ]	19	25	15	3	10
Fp Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	20	29	14	4	15
Fr [ $\mu\text{m}$ ]	15	22	8	4	16
Mdk [mm]	76,494	76,5	76,489	0,003	-
Ax. házení synchronu [ $\mu\text{m}$ ]	22,5	31,7	11,5	6,7	44,3

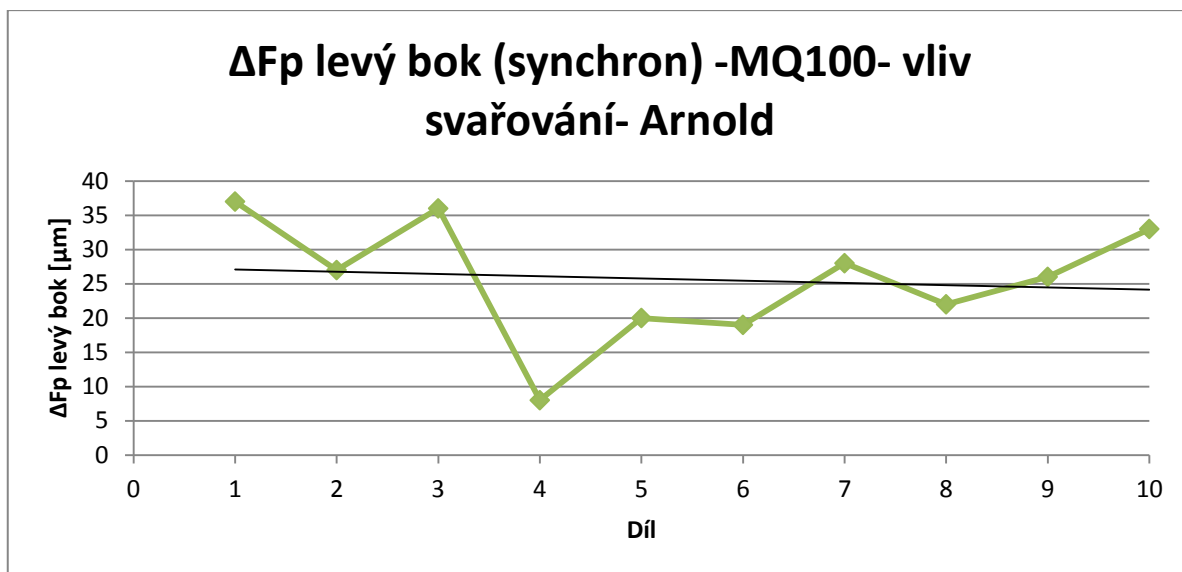
**Tabulka 12: Hodnoty úchylek synchronního ozubení po navaření na stroji Arnold po seřízení (série 10ks dílu 0CF 311 250 C)**

Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
fpt Levá [ $\mu\text{m}$ ]	6	5	8	1	1
fpt Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	5	3	6	1	8
Fp Levá [ $\mu\text{m}$ ]	45	33	55	6	51
Fp Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	37	21	49	7	51
Fr [ $\mu\text{m}$ ]	27	17	33	6	29
Mdk [mm]	76,458	76,448	76,466	0,006	-
Ax. házení synchronu [ $\mu\text{m}$ ]	32,2	16,8	42,5	8,0	63,0

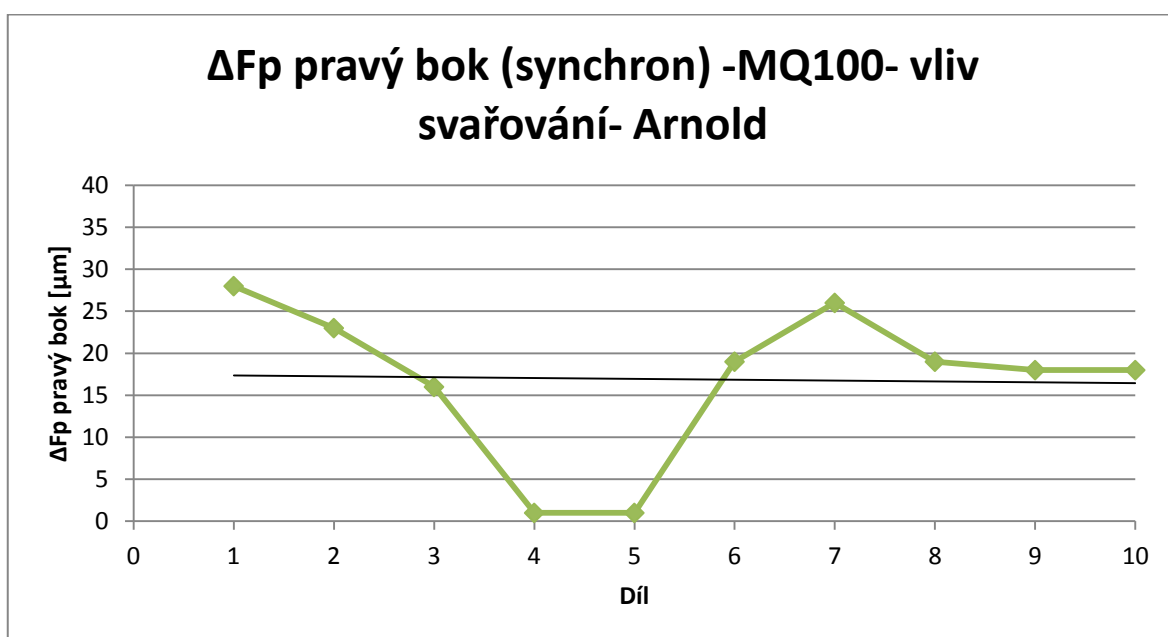
**Tabulka 13: Vliv navaření na stroji Arnold po seřízení na úchytky synchronního ozubení (série 10ks dílu 0CF 311 250 C)**

Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
$\Delta$ fpt Levá [ $\mu\text{m}$ ]	1	3	-11	1	2
$\Delta$ fpt Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	1	2	-1	1	1
$\Delta$ Fp Levá [ $\mu\text{m}$ ]	26	32	8	8	70
$\Delta$ Fp Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	17	28	1	9	76
$\Delta$ Fr [ $\mu\text{m}$ ]	12	17	0	5	22
$\Delta$ Mdk [mm]	-0,036	-0,03	-0,042	0,004	-
$\Delta$ Ax. házení synchronu [ $\mu\text{m}$ ]	9,7	30	-9,6	12,0	144,7

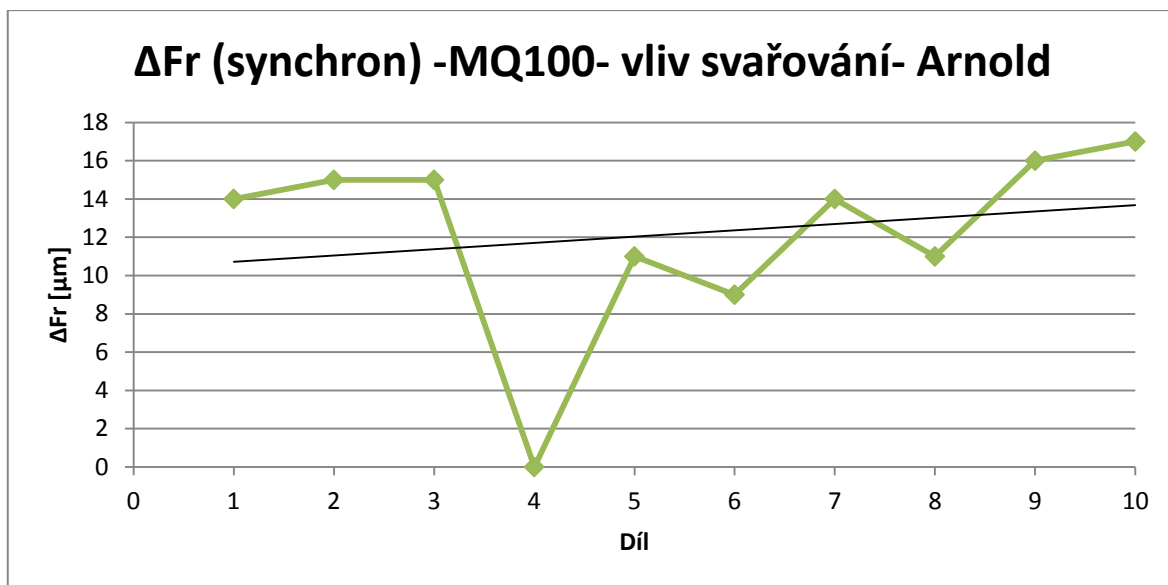
Z následujících grafů je patrné, že oprava polohy předsvaření splnila svůj účel a že při správně provedeném předsvaření kleslo ovlivnění roztečí a radiálního házení o více než polovinu původní hodnoty.



Obrázek 48: Vliv svařování na stroji Arnold (po seřízení) na úchytky součtových roztečí (levý bok) - (série 10ks dílu 0CF 311 250 C)



Obrázek 49: Vliv svařování na stroji Arnold (po seřízení) na úchytky součtových roztečí (pravý bok) - (série 10ks dílu 0CF 311 250 C)



Obrázek 50: Vliv svařování na stroji Arnold (po seřízení) na hodnotu radiálního házení - (série 10ks dílu 0CF 311 250 C)

Vliv procesu svařování na součtové úchytky roztečí synchronního ozubení činí po seřízení zhruba 20-25 μm. Radiální házení v důsledku svařování vzroste nyní pouze o 10-15 μm. Při porovnání vlivu na hodnoty součtových úchylek roztečí a radiálního házení před a po seřízení stroje je zcela patrná důležitost správného předsvaření synchronů na výslednou kvalitu parametrů synchronního ozubení.

#### 14.5.4 Elektronové svařování synchronních věnečků ozubených kol 0CF 311 250 C (MQ 100)

Za účelem porovnání laserového svařování synchronního ozubení se svařováním elektronovým paprskem bylo vybráno 10 synchronních kroužků 0CF 311 291 B, které byly stejně jako v případě kroužků navařených na stroji Arnold proměřeny před a po navaření na ozubená kola. Svařování tentokrát proběhlo na stroji PTR.

Před svařováním na stroji PTR jsou ozubená kola i synchronní věnečky vyprány, ofoukány a osušeny horkým vzduchem, stejně jako je tomu při svařování na stroji Arnold. Před nalisováním synchronních kroužků jsou ovšem ještě kola ohřáta na teplotu 100°C. Synchronní kroužky jsou na ozubená kola následně nalisovány silou 35 kN. Proces svařování probíhá ve vakuu při tlaku  $3,5 \cdot 10^{-2}$  barů. V tabulce 14 jsou uvedeny procesní parametry předsvařování a svařování na stroji PTR:

Tabulka 14: Parametry procesu svařování na stroji PTR [36]

Operační úsek	Proud paprsku	Proud fokusu	Svařovací rychlost	Výseč svařování	Náběh	Výběh	Překrytí
Předsvaření	20 mA	550 mA	82 mm/s	360°	5,1 mm	5,1 mm	0,1 mm
Svařování	52-62 mA	550 mA	60 mm/s	360°	15,1 mm	15,1 mm	0,1 mm

Po svařování jsou díly ochlazeny do vodní lázně a kvalita svarů je zkontrolována pomocí ultrazvuku. Následně jsou díly osušeny a povrch svaru je vykartáčován.

Následující tabulky obsahují hodnoty úchylek synchronního ozubení naměřené před svařováním, po svařování a rovněž vyhodnocení vlivu svařování na stroji PTR:

**Tabulka 15: Hodnoty úchylek synchronního ozubení před navařením na stroji PTR (série 10ks dílu OCF 311 250 C)**

Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
fpt Levá [ $\mu\text{m}$ ]	6	16	3	4	16
fpt Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	4	5	3	1	0
Fp Levá [ $\mu\text{m}$ ]	28	33	21	4	14
Fp Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	32	36	26	4	14
Fr [ $\mu\text{m}$ ]	26	33	19	4	18
MdK [mm]	76,457	76,468	76,439	0,008	-
Ax. házení synchronu [ $\mu\text{m}$ ]	47,2	85,1	32,7	14,1	197,8

**Tabulka 16: Hodnoty úchylek synchronního ozubení po navaření na stroji PTR (série 10ks dílu OCF 311 250 C)**

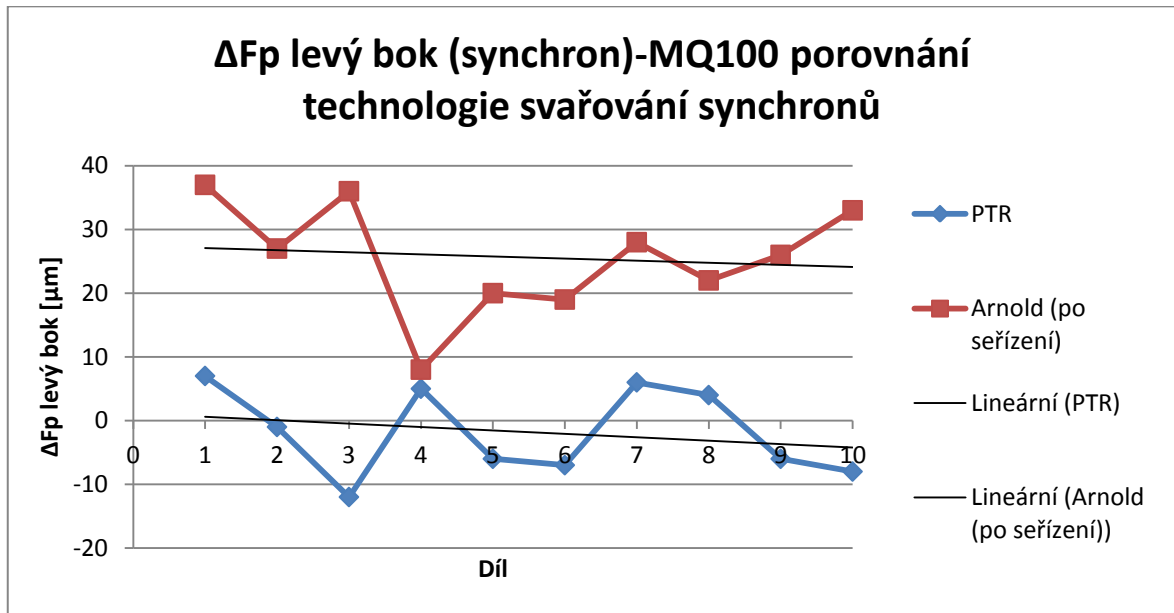
Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
fpt Levá [ $\mu\text{m}$ ]	4	6	3	1	1
fpt Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	4	5	3	0	0
Fp Levá [ $\mu\text{m}$ ]	26	35	20	5	27
Fp Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	31	41	23	6	34
Fr [ $\mu\text{m}$ ]	26	33	21	4	17
MdK [mm]	76,439	76,452	76,423	0,009	-
Ax. házení synchronu [ $\mu\text{m}$ ]	40,3	50,2	23,7	8,7	74,9

**Tabulka 17: Vliv navaření na stroji PTR na úchyly synchronního ozubení (série 10ks dílu OCF 311 250 C)**

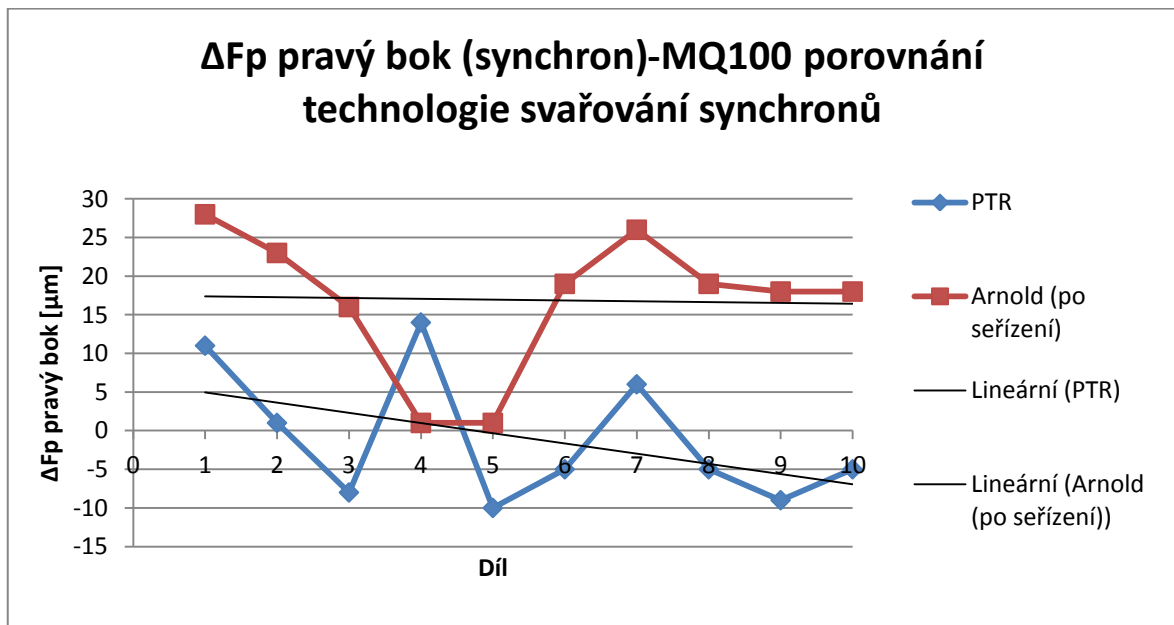
Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
$\Delta$ fpt Levá [ $\mu\text{m}$ ]	-2	1	-12	4	14
$\Delta$ fpt Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	0	1	-1	1	1
$\Delta$ Fp Levá [ $\mu\text{m}$ ]	-2	7	-12	7	42
$\Delta$ Fp Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	-1	14	-10	8	66
$\Delta$ Fr [ $\mu\text{m}$ ]	-1	8	-8	6	41
$\Delta$ MdK [mm]	-0,018	-0,008	-0,033	0,006	-
$\Delta$ Ax. házení synchronu [ $\mu\text{m}$ ]	-6,9	10,7	-61,4	20,0	399,0

Z uvedených tabulek je zřejmé, že svařování elektronovým paprskem na stroji PTR nemá nikterak výrazný vliv na hodnoty úchylek roztečí ani na radiální házení synchronního ozubení.

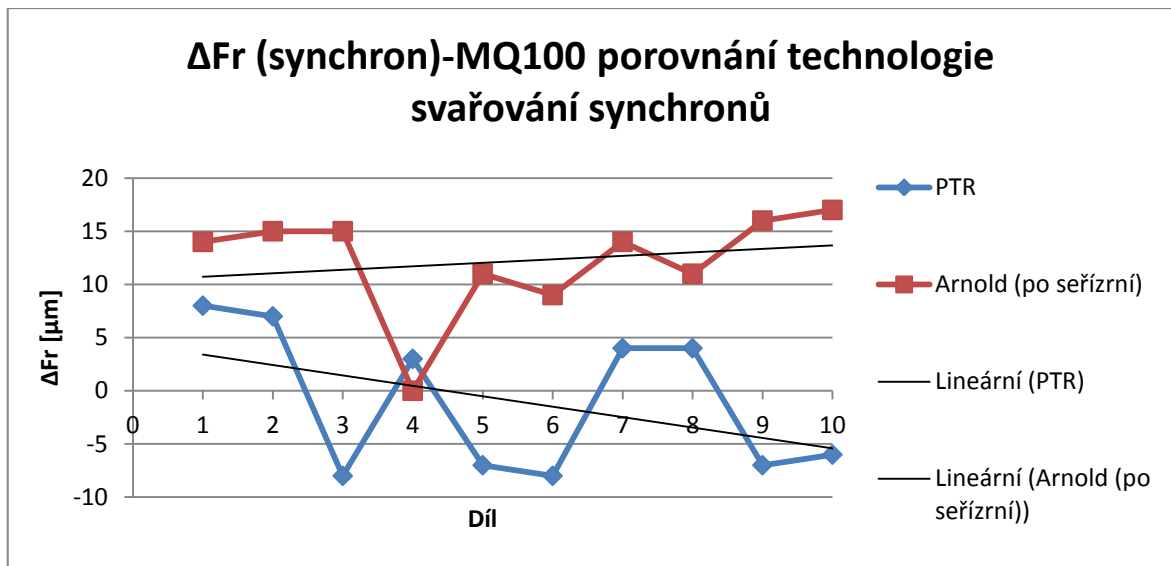
Při porovnání vlivu obou technologií svařování je potom jasně patrné, že elektronový svařovací stroj PTR vykazuje podstatně nižší vliv na parametry synchronního ozubení než laserový svařovací stroj Arnold (viz obr. 51, 52 a 53).



Obrázek 51: Porovnání vlivu technologií svařování na hodnoty součtových úchylek roztečí (levý bok)



Obrázek 52: Porovnání vlivu technologií svařování na hodnoty součtových úchylek roztečí (pravý bok)



Obrázek 53: Porovnání vlivu technologií svařování na hodnoty radiálního házení

Na výše uvedených grafech můžeme vidět, že zatímco stroj Arnold zhoršuje součtové úchytky roztečí o průměrně 20 až 25  $\mu\text{m}$  a hodnotu radiálního házení zhruba 12  $\mu\text{m}$ , navaření synchronů na stroji PTR tyto úchytky v průměru nezvyšuje vůbec.

#### 14.6 Zhodnocení vlivu technologie svařování na kvalitu synchronního ozubení

Jak prokázala předešlá měření, vliv procesu svařování na kvalitativní parametry synchronního ozubení je značný. Přesto se ukazuje, že správná volba technologie spolu se řádným seřízením stroje mohou tento vliv výrazně minimalizovat.

Je obtížné odhadnout, zda znatelně lepší výsledky stroje PTR oproti stroji Arnold jsou dosaženy rozdílem technologie svařování, nebo se na nich částečně podílí i vlivy rozdílného nalisování synchronního kroužků na kola a rozdílné parametry procesu svařování. V každém případě se stroj PTR při současném nastavení procesních parametrů prokázal být z pohledu kvality pro tuto operaci vhodnějším.

Provedená měření rovněž ukázala nebezpečí v podobě špatného seřízení stroje, které může výrazně zhoršit kvalitu ozubení.

Vzhledem k vítanému snížení výšky kola a s ním spojeným zkrácením celé převodové skříně (a snížením hmotnosti celé převodovky) je z technického i ekonomického pohledu svařovaná konstrukce řadicích kol preferována. Navaření synchronního kroužku na ozubené kolo je ale technologická operace možným výrazně negativním vlivem na kvalitu synchronního ozubení. Jedná se navíc o technologii náchylnou k chybám seřízení svářecího stroje a volbě procesních parametrů. Z tohoto důvodu je vždy třeba zajistit pravidelnou údržbu svářecích strojů stejně jako adekvátní výstupní kontrolu svařenců.



## 14.7 Kalení ozubených kol

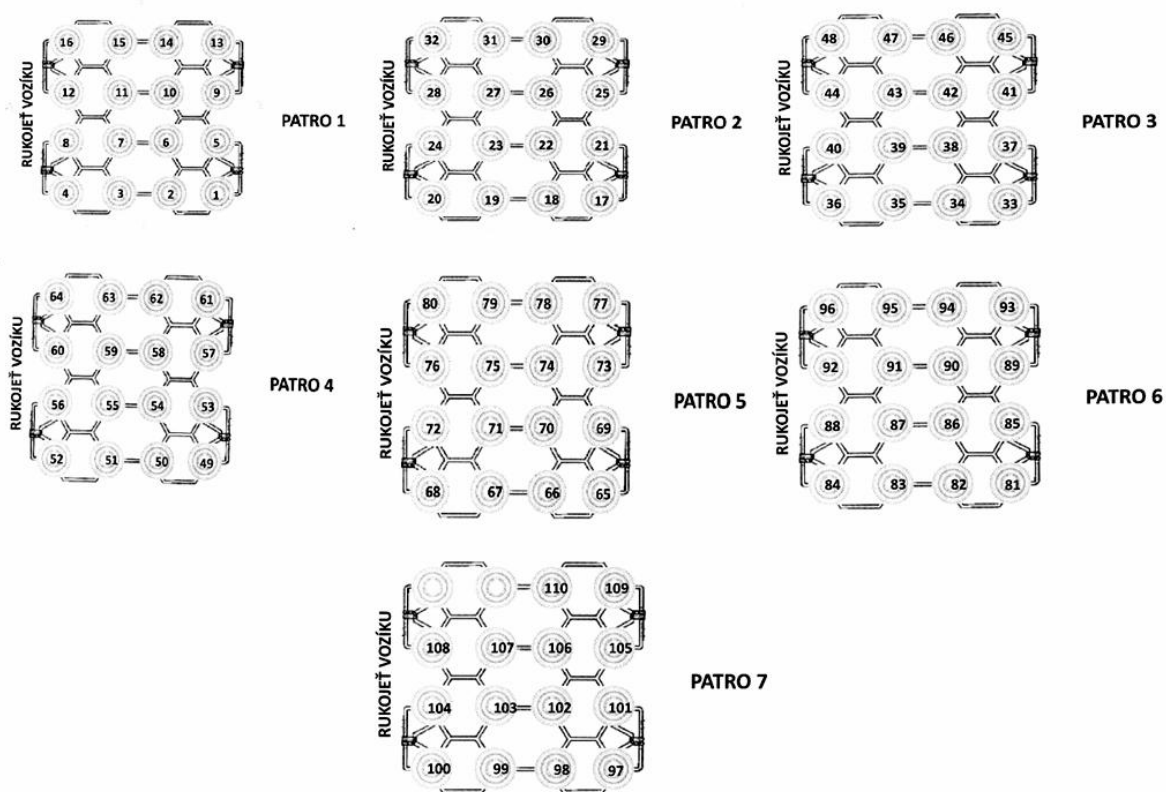
Kalení všech řadicích ozubených kol převodovky MQ 200 je prováděno v klasické olejové kalírně ve 4 průběžných pecích od firmy Aichelin. Olej je v kalicí lázni míchán proměnnou intenzitou a proudí vždy odspodu nahoru, tj. proti směru ponořování kalicího roštu.

Kola OCF 311 250 C jsou naproti tomu kalena v plynové, tzv. ALD kalírně v přetlaku helia. Vystává tedy otázka, která technologie tepelného zpracování bude mít výraznější vliv na kvalitu ozubení.

### 14.7.1 Kalení ozubených kol 02T 311 251 N (MQ 200) v oleji

Díly 02T 311 251 N jsou nejdříve ohřáty na teplotu zhruba 900°C a nitrocementovány do hloubky 0,5-0,8 mm po dobu 15 minut. Následně jsou díly zakaleny z teploty 830°C do oleje o teplotě 90°C. Doba kalení je 5 minut. Po zakalení má materiál výslednou bainiticko-martenzitickou strukturu se zbytkovým feritem, která dosahuje přibližně tvrdosti HV30=700 na povrchu a HV30=480 v jádře paty zubu.

Během tepelného zpracování kol kontrolní série byla rovněž sledována poloha všech kol na kalicím roštu, aby se dal určit její vliv na parametry ozubení. Rozložení kol na roštu je znázorněno na následujícím obrázku:



Obrázek 54: Rozmístění zkušební série kol 02T 311 251 N na kalicím roštu [4]

110 kol 02T 311 251 N zkušební série vystačilo k vyplnění celé kalírenské vsázky o 7 patrech po 16 kolech (poslední dvě pozice zůstaly nevyplněny).

Po operaci kalení byly naměřeny následující hodnoty parametrů valivého a synchronního ozubení:

Tabulka 18: Hodnoty úchylek ozubení po operaci kalení (série 110ks dílu 02T 311 251 N)

Parametry kola					
Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
fHβ Levá [μm]	-31	-18	-53	8	63
fHβ Pravá [μm]	13	37	-1	9	80
Var fHβ Levá [μm]	16	43	2	8	67
Var fHβ Pravá [μm]	17	43	2	8	57
fpt Levá [μm]	9	15	6	2	4
fpt Pravá [μm]	9	14	6	2	3
Fpz/8 Levá [μm]	29	65	12	11	113
Fpz/8 Pravá [μm]	26	65	12	9	88
Fr [μm]	38	67	14	12	139
MdK [mm]	105,758	105,777	105,721	0,014	-
Ax. házení vrchní strany věnce [μm]	40,6	89,1	13,8	15,5	241,5
Ax. házení spodní strany věnce [μm]	34,6	75	11,3	13,9	192,4
Ax. házení nábojky [μm]	12,7	36	6	4,9	24,4

Parametry synchronu					
fpt Levá [μm]	9	19	5	2	6
fpt Pravá [μm]	10	20	4	3	8
Fp Levá [μm]	26	48	10	9	73
Fp Pravá [μm]	26	51	10	8	63
Fr [μm]	27	55	13	7	47
MdK [mm]	72,969	73,028	72,948	0,01	-

O vlivu operace kalení na kvalitu parametrů ozubení potom vypovídá následující tabulka:

Tabulka 19: Vliv operace kalení na hodnoty úchylek ozubení (série 110ks dílu 02T 311 251 N)

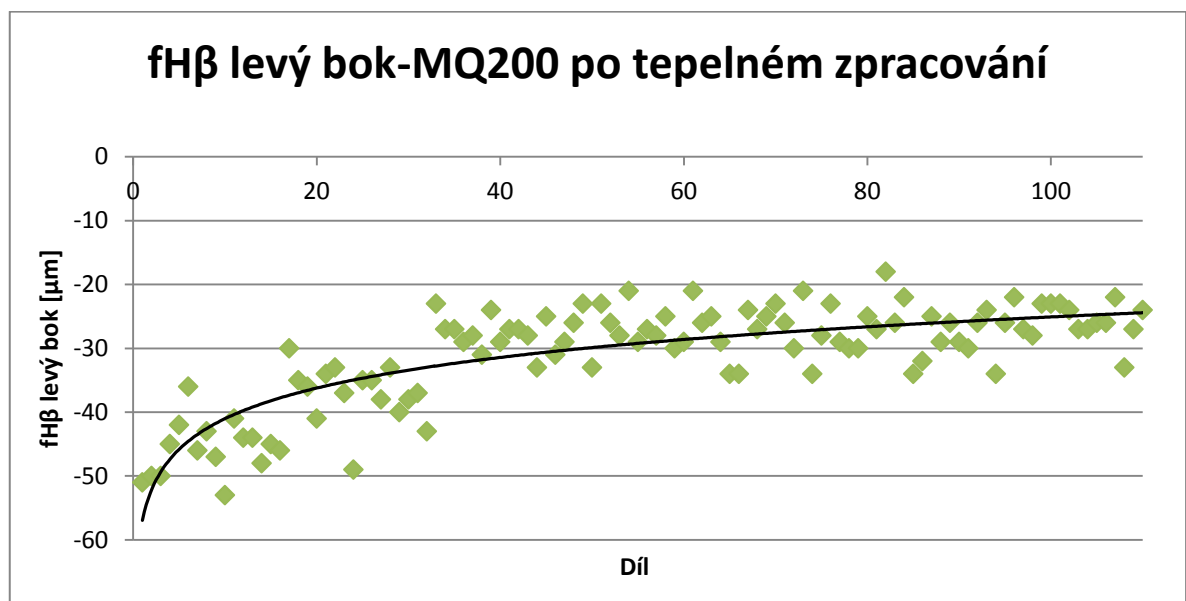
Parametry kola					
Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
ΔfHβ Levá [μm]	-40	-28	-63	8	68
ΔfHβ Pravá [μm]	11	34	-5	9	80
ΔVar fHβ Levá [μm]	9	30	-15	9	78
ΔVar fHβ Pravá [μm]	9	30	-7	8	68
Δfpt Levá [μm]	3	8	-1	2	4
Δfpt Pravá [μm]	2	8	-1	2	3
ΔFpz/8 Levá [μm]	14	48	-7	10	109
ΔFpz/8 Pravá [μm]	11	47	-7	9	86
ΔFr [μm]	5	31	-10	8	59
ΔMdK [mm]	0,049	0,071	0,011	0,014	-

$\Delta Ax$ . házení vrchní strany věnce [ $\mu m$ ]	17,4	66,7	-17,2	16,5	273,5
$\Delta Ax$ . házení spodní strany věnce [ $\mu m$ ]	25,3	64,7	-4,5	14,3	205,7
$\Delta Ax$ . házení nábojky [ $\mu m$ ]	6,9	24	-18	6,8	45,7

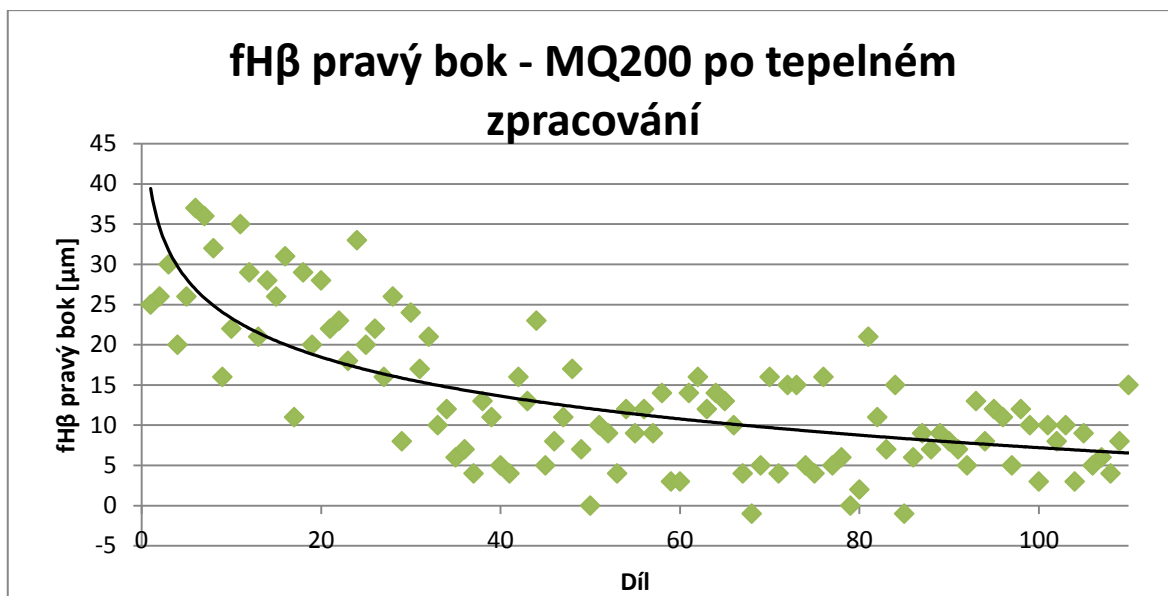
**Parametry synchronu**

$\Delta f_{pt}$ Levá [ $\mu m$ ]	1	5	-2	1	2
$\Delta f_{pt}$ Pravá [ $\mu m$ ]	1	5	-11	2	4
$\Delta F_p$ Levá [ $\mu m$ ]	5	30	-10	9	75
$\Delta F_p$ Pravá [ $\mu m$ ]	4	27	-13	8	59
$\Delta Fr$ [ $\mu m$ ]	5	25	-13	6	42
$\Delta MdK$ [mm]	0,044	0,058	0,033	0,005	-

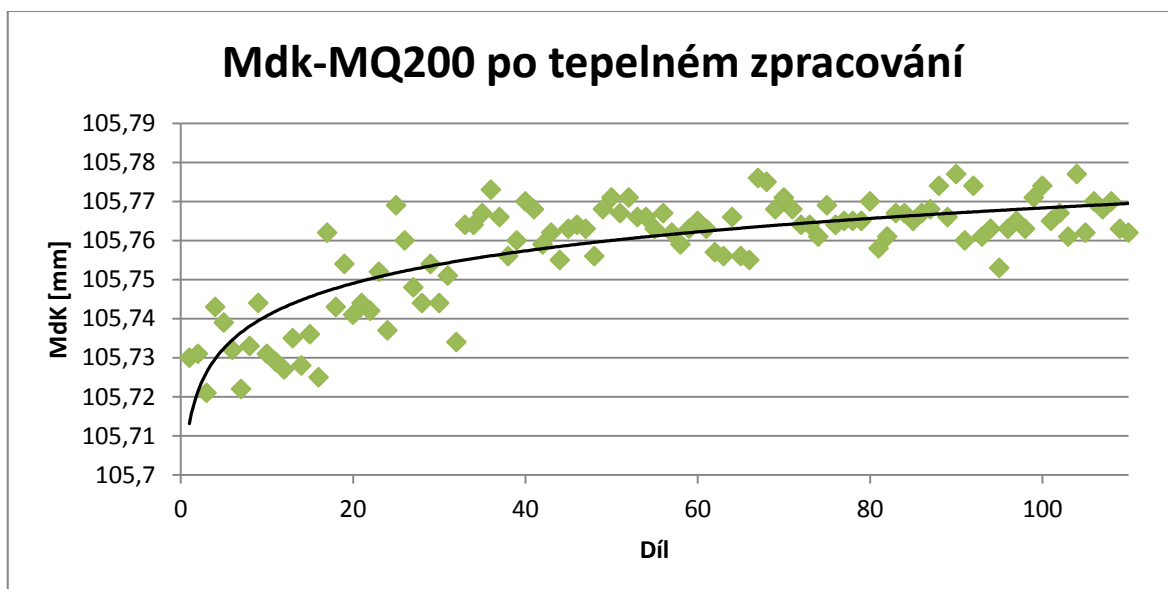
Na výsledných grafech úchylek sklonu zubů  $f_{H\beta}$  a rozměru přes kuličky vliv  $M_{dK}$  můžeme zřetelně vidět změnu průběhu jednotlivých úchylek v závislosti na patrech roštu (viz obr. 55,56 a 57).



**Obrázek 55: Hodnoty úchylek sklonu zubů (levý bok) po operaci kalení (série 110ks dílu 02T 311 251 N)**

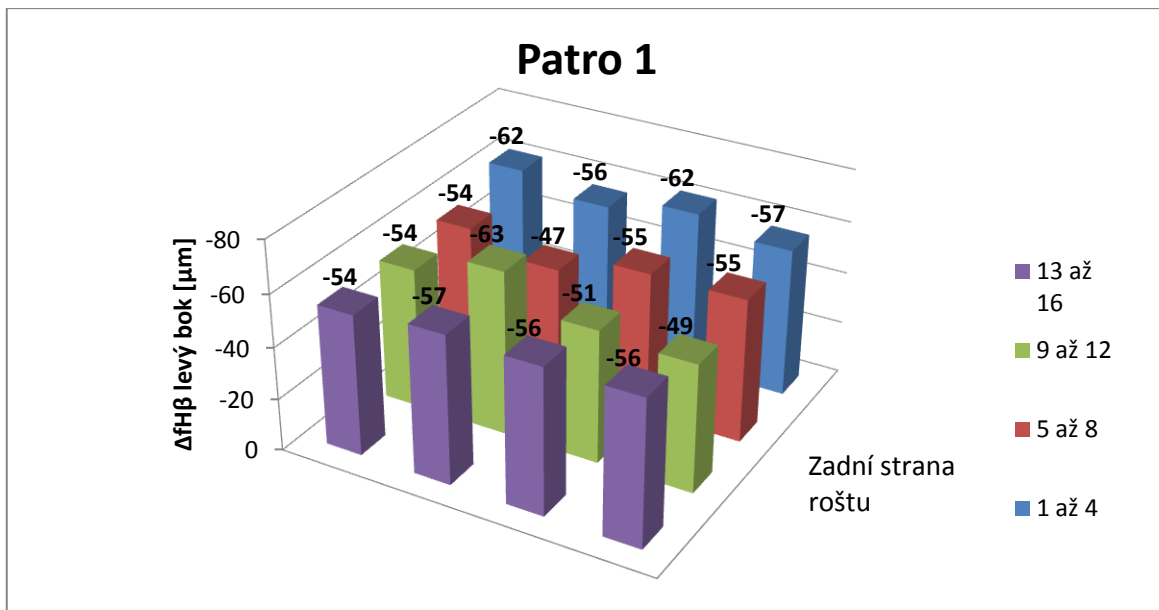


Obrázek 56: Hodnoty úchylek sklonu zubů (pravý bok) po operaci kalení (série 110ks dílu 02T 311 251 N)

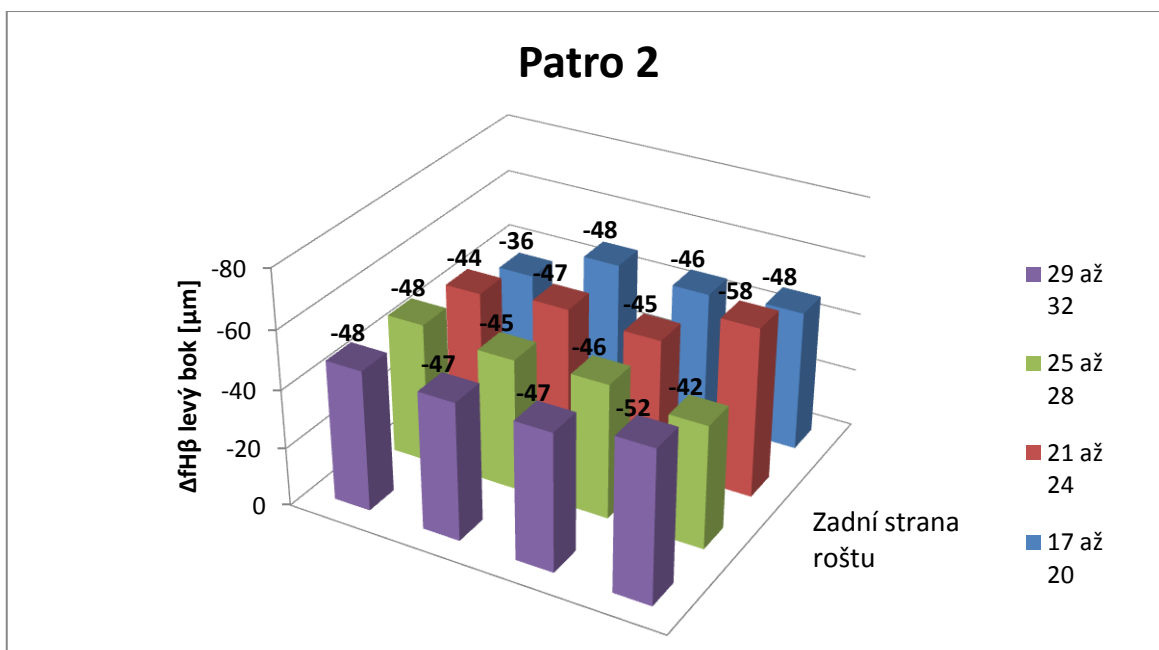


Obrázek 57: Hodnoty rozměru přes kuličky Mdk po operaci kalení (série 110ks dílu 02T 311 251 N)

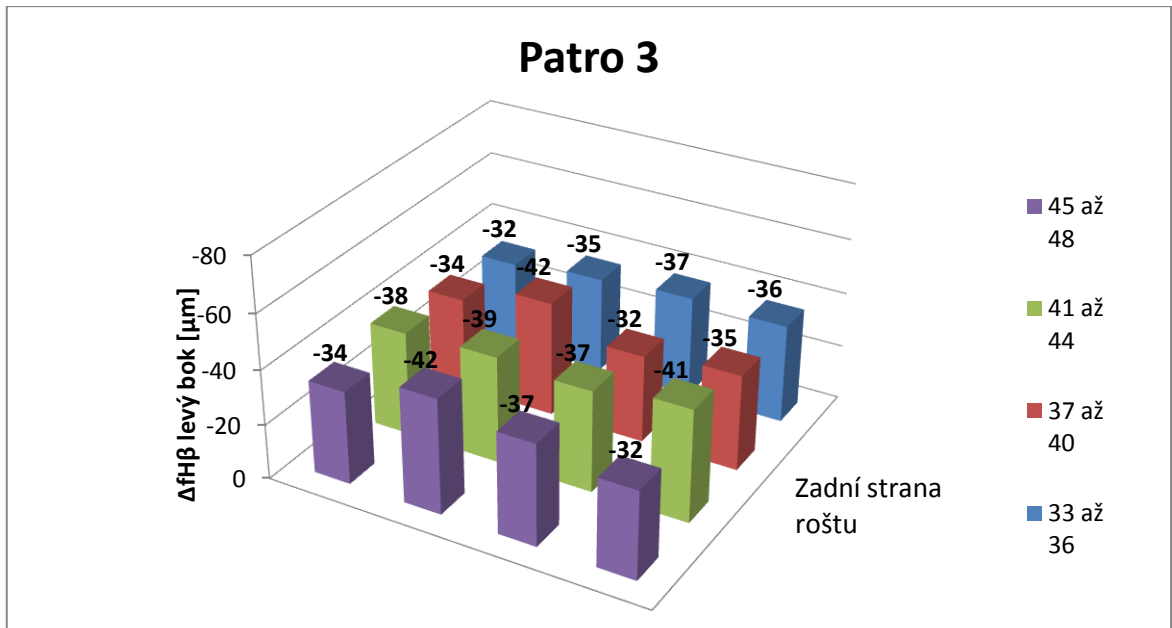
Tento „patrový efekt“ můžeme pozorovat i na grafech vlivu kalení na valivé ozubení pro jednotlivé pozice na roštu (viz obr. 58 – 64).



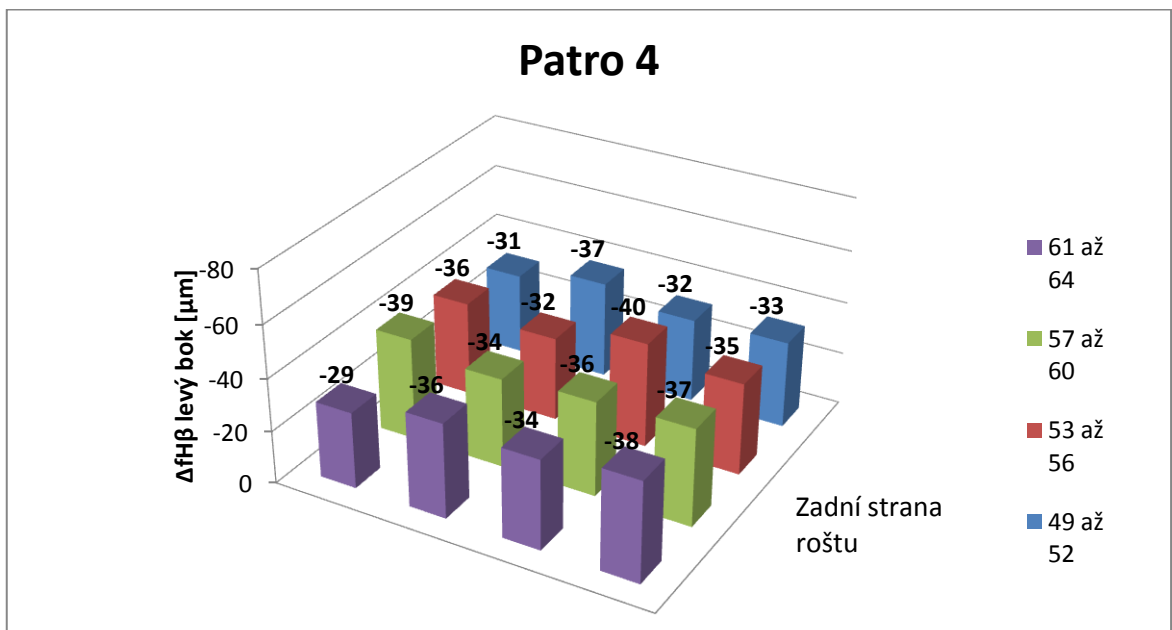
Obrázek 58: Vliv tepelného zpracování na úchytky sklonu zubů (levý bok) - Patro 1 (série 110ks dílu 02T 311 251 N)



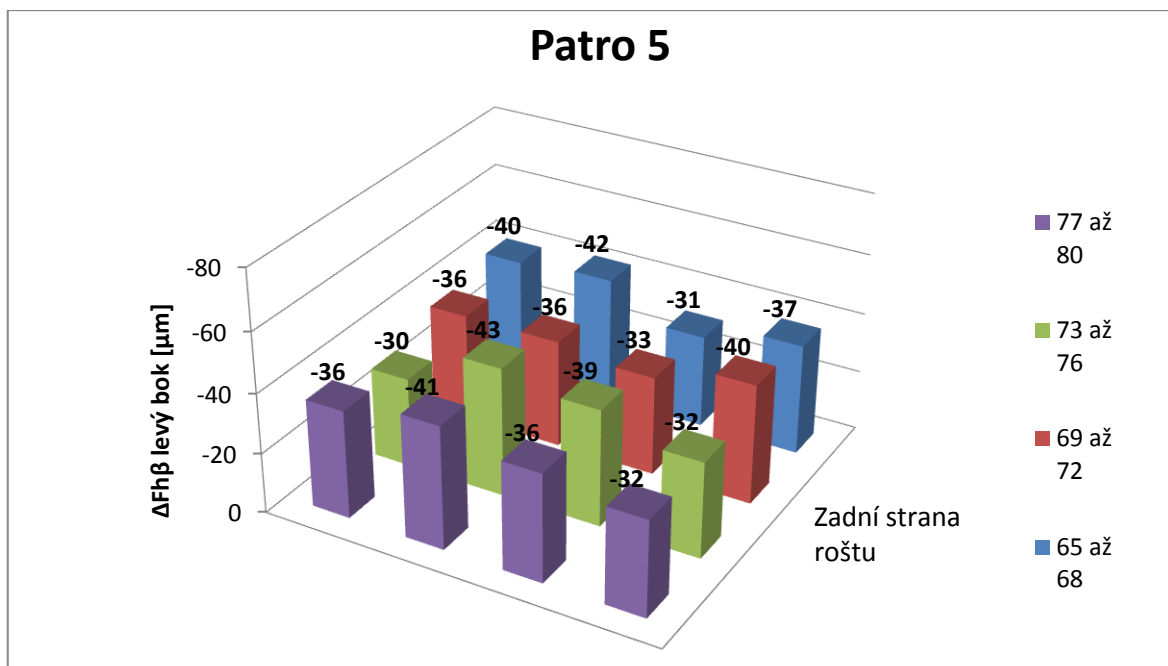
Obrázek 59: Vliv tepelného zpracování na úchytky sklonu zubů (levý bok) - Patro 2 (série 110ks dílu 02T 311 251 N)



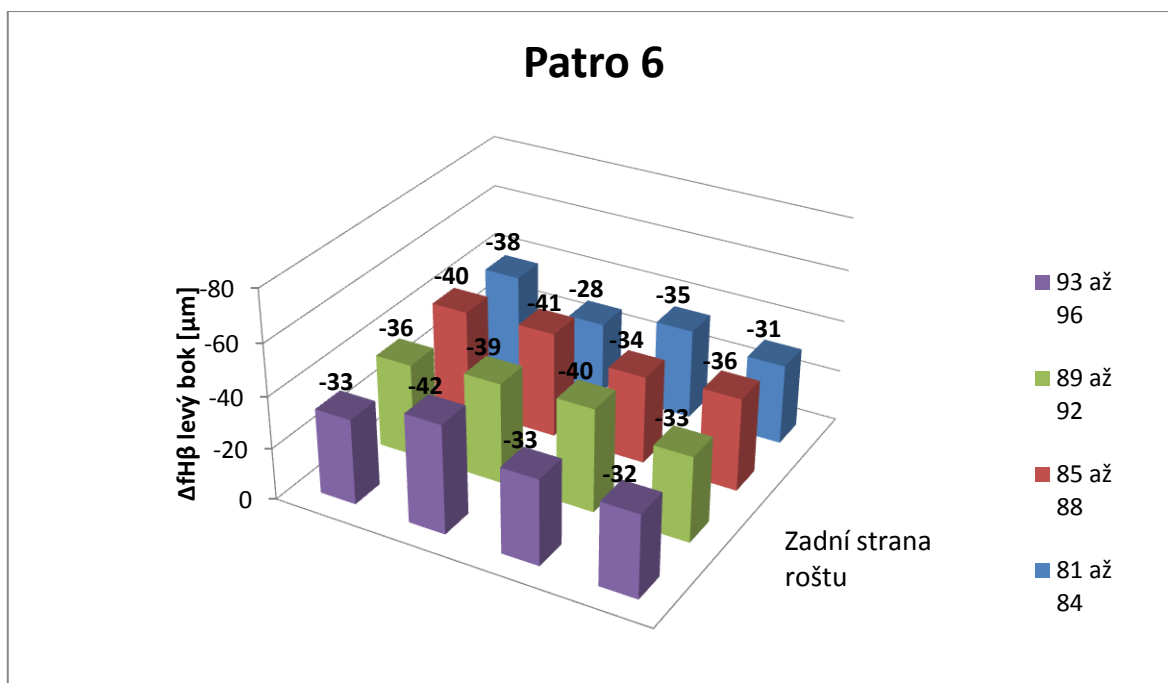
Obrázek 60: Vliv tepelného zpracování na úchytky sklonu zubů (levý bok) - Patro 3 (série 110ks dílu 02T 311 251 N)



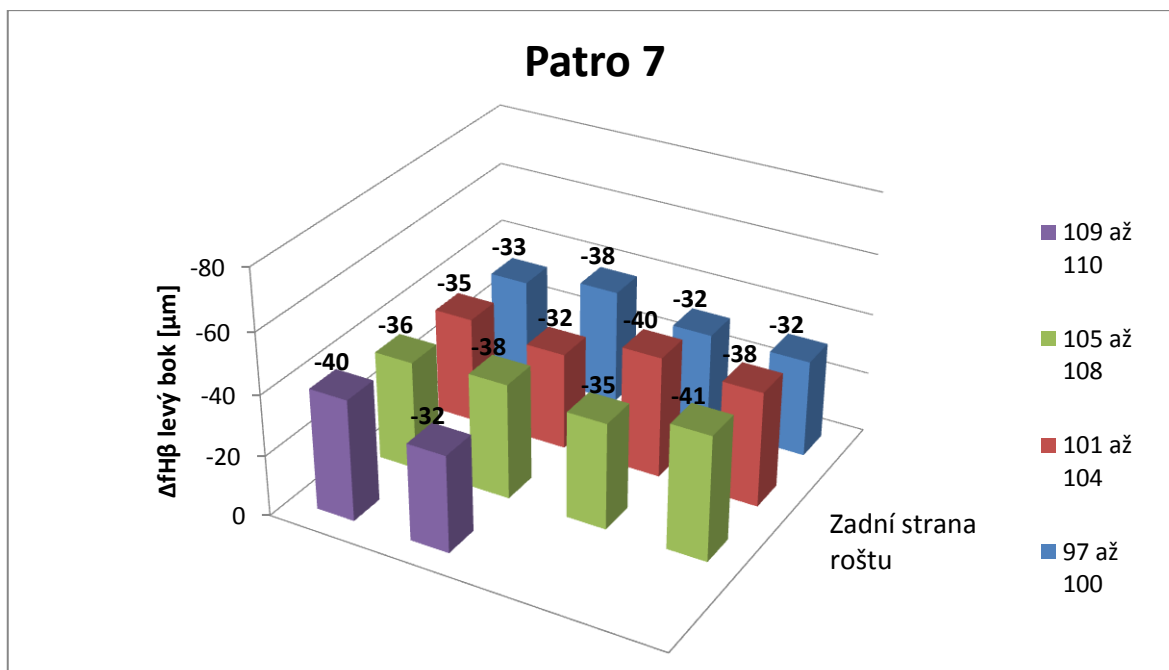
Obrázek 61: Vliv tepelného zpracování na úchytky sklonu zubů (levý bok) - Patro 4 (série 110ks dílu 02T 311 251 N)



Obrázek 62: Vliv tepelného zpracování na úchyly sklonu zubů (levý bok) - Patro 5 (série 110ks dílu 02T 311 251 N)



Obrázek 63: Vliv tepelného zpracování na úchyly sklonu zubů (levý bok) - Patro 6 (série 110ks dílu 02T 311 251 N)



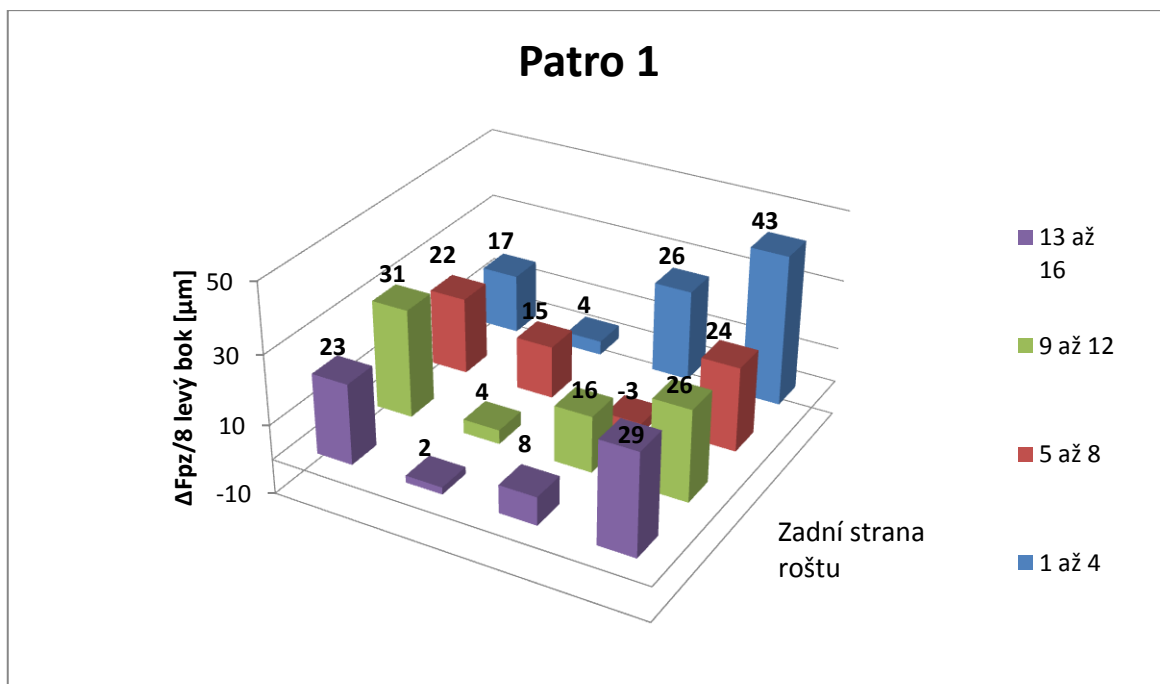
**Obrázek 64: Vliv tepelného zpracování na úchylny sklonu zubů (levý bok) - Patro 7 (série 110ks dílu 02T 311 251 N)**

Vliv tepelného zpracování na parametry  $f_{H\beta}$  pravé strany a  $M_{dK}$  je potom uveden v přílohách 8 a 9.

Toto výrazné ovlivnění prvních pater roštu je způsobeno obrovským teplotním gradientem, kterému jsou ohřátá kola v nich vystavena při ponoření do výrazně chladnějšího oleje. V době ponoru vyšších pater dochází již k intenzivnímu ohřátí odspodu proudícího oleje a tím i k tvorbě parních polštářů, které výrazně snižují ochlazovací schopnost kalícího oleje. Teplotní gradient zde tedy není už tak vysoký, a to se projevuje i na velikosti a charakteru kalírenských deformací.

Mimo výrazného patrového vlivu na parametry  $f_{H\beta}$  a  $M_{dK}$  můžeme pozorovat i stranové ovlivnění způsobené prouděním oleje. Tento vliv ovšem nebyl zaznamenán u všech úchylek a není rovněž patrný ve všech patrech. Dobře ho ale můžeme sledovat například na vybraných grafech vlivu procesu kalení na úchylny součtových roztečí  $F_{pz/B}$  (viz obr. 65).





**Obrázek 65: Vliv tepelného zpracování na úchytky součtových roztečí - Patro 1 (série 110ks dílu 02T 311 251 N)**

Rozdílný vliv kalírný na úchytky sklonu zubů  $f_{H\beta}$  levé a pravé strany je zapříčiněn náklonem (natočením) celého boku zubu v důsledku proudění oleje v mezizubových mezerách šikmého ozubení. Jedna strana boků zubů je potom u šikmého ozubení chráněna (stíněna) proti vertikálnímu proudu oleje, zatímco na druhou je olej hnán a tato strana je potom ochlazována velmi intenzivně. Výsledkem je potom rozdílné pnutí, a tedy i rozdílné deformace pravého a levého boku zubu. Tento jev je zcela evidentní při porovnání vlivu tepelného zpracování na parametr  $f_{H\beta}$  levých (obr. 58-64) a pravých boků zubů (uvedeno v příloze 8).

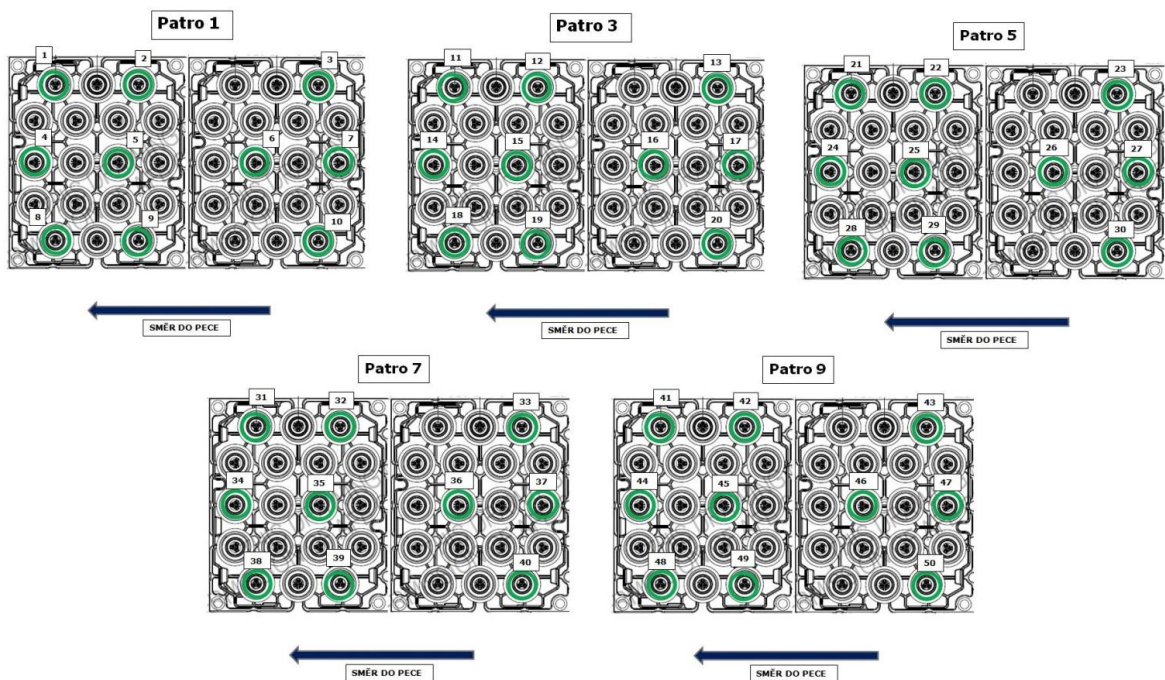
#### 14.7.2 Kalení kol ozubených OCF 311 250 C (MQ 100) v přetlaku helia

Proces plynového kalení dílů OCF 311 250 C probíhá ve vakuových pecích v přetlaku helia. Toto zařízení od firmy ALD se nazývá Modul Therm. Jedná se o automaticky řízený systém devíti pecí. Nejprve probíhá proces cementace, který obnáší ohřev dílů na teplotu 960 - 1000° C ve vakuu a následně nasycení povrchu uhlíkem ( $C_2H_2$ ) do hloubky 0,5 – 0,8 mm. Jedná se o proces tzv. pulzní cementace. Počet pulzů se volí dle požadované hloubky cementace dílu. Mezi každým pulzem je díl opláchnut dusíkem. Následuje přesun dílů do kalicí pece. Kalení je prováděno v přetlaku helia od 0,6 do 1,8 MPa. Směr proudění plynu lze nastavit dle potřeby a požadavků dané součásti. Během běžné výroby se ovšem směr cyklicky mění a plyn tak proudí nejprve shora dolů a posléze v opačném směru. Proces kalení trvá necelé 3 minuty. Následuje proces popouštění, který sníží vnitřní pnutí materiálu a povrchovou tvrdost po kalení. Popouštění probíhá v popouštěcí peci o teplotě 170° C po dobu dvou hodin. Poslední fází tepelného zpracování je ochlazení dílů na vzduchu [4, 44].

Výhodou této technologie jsou nižší tepelné deformace oproti kalení v oleji a vysoká recyklovatelnost helia. Ve ŠKODA AUTO a.s. se recykluje až 99,9% použitého plynu. Další nespornou výhodou této technologie tepelného zpracování je fakt, že zakalené díly už není nutné po tepelném zpracování dále otryskávat ani jinak čistit [4, 44].

Výsledná tvrdost na povrchu součásti po zakalení dosahuje zhruba HV10=750. Tvrdost jádra zubu potom činí HV30=400-450 [4].

Při tepelném zpracování 50 kol OCF 311 250 C byla opět sledována poloha kola na roštu za účelem určení vlivu operace na kvalitu ozubení kol. Vzhledem k nižšímu počtu kol v sérii v kombinaci s větším kalírenským roštem ALD kalírny nebylo ovšem možné vyplnit tento rošt pouze zkuškovými kusy. Kola zkušební série tedy byla rozmístěna na rošt spolu se sériovými díly. Rozmístění zkuškových kol na roštu je patrné z obrázku 66.



Obrázek 66: Rozmístění zkušební série kol OCF 311 250 C na kalicím roštu [4]

Po zakalení kol byly naměřeny následující parametry ozubení:

Tabulka 20: Hodnoty úchylek ozubení po operaci kalení (série 50ks dílu OCF 311 250 C)

Úchylka	Parametry kola				
	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
fHβ Levá [μm]	-3	8	-19	6	31
fHβ Pravá [μm]	8	28	-3	7	49
Var fHβ Levá [μm]	20	43	1	10	108
Var fHβ Pravá [μm]	19	44	1	11	130
fpt Levá [μm]	10	16	7	2	6
fpt Pravá [μm]	13	22	8	3	9
Fpz/8 Levá [μm]	35	65	17	13	180
Fpz/8 Pravá [μm]	34	72	11	15	218

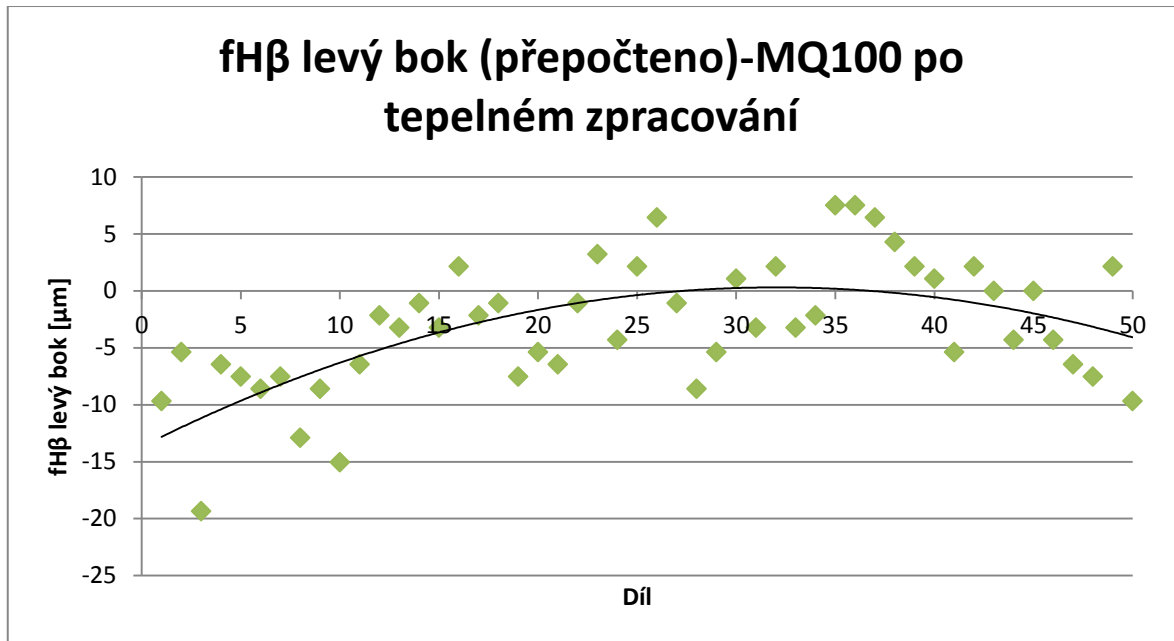
Fr [ $\mu\text{m}$ ]	47	74	20	14	200
MdK [mm]	105,212	105,224	105,192	0,007	-
Ax. házení vrchní strany věnce [ $\mu\text{m}$ ]	55,4	128,4	18,5	24,4	597,0
Ax. házení spodní strany věnce [ $\mu\text{m}$ ]	44,3	86,3	16,2	17,8	317,2
Ax. házení nábojky [ $\mu\text{m}$ ]	10,1	24,0	2,0	5,2	27,0
<b>Parametry synchronu</b>					
fpt Levá [ $\mu\text{m}$ ]	15	11	20	2	5
fpt Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	11	7	16	2	5
Fp Levá [ $\mu\text{m}$ ]	122	75	181	23	517
Fp Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	107	46	168	27	712
Fr [ $\mu\text{m}$ ]	80	34	121	18	323
MdK [mm]	76,390	76,360	76,422	0,016	-
Ax. házení synchronu [ $\mu\text{m}$ ]	56,5	25,3	85,2	17,7	311,7

Následující tabulka potom postihuje samotný vliv procesu kalení na parametry valivého a synchronního ozubení kol:

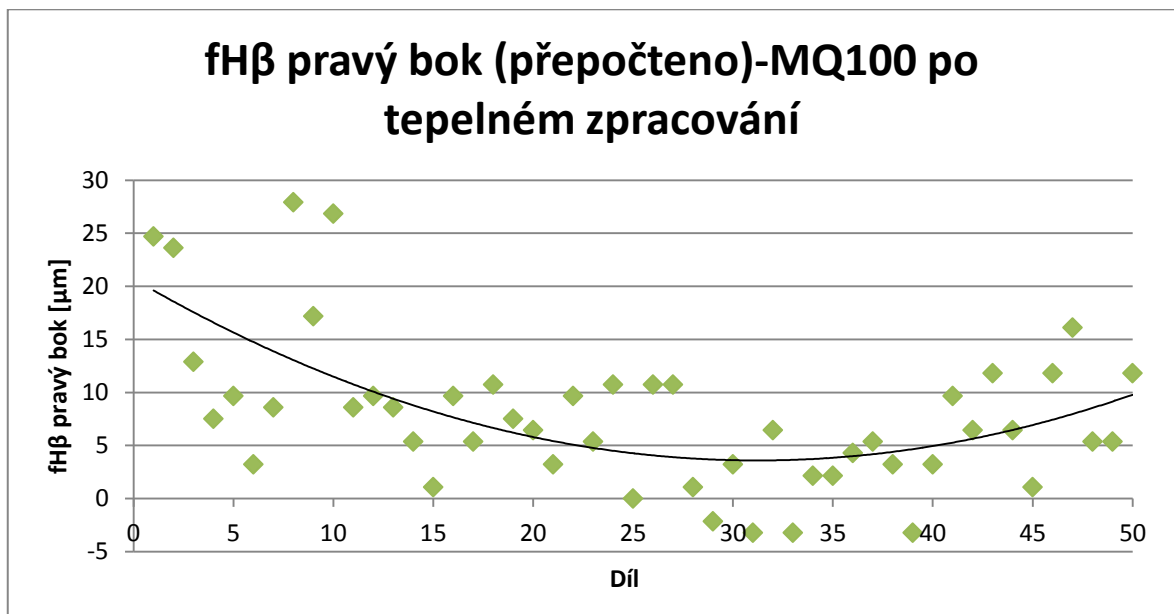
**Tabulka 21: Vliv operace kalení na hodnoty úchylek ozubení (série 50ks dílu OCF 311 250 C)**

<b>Parametry kola</b>					
Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
$\Delta f_{H\beta}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	-12	-1	-28	5	30
$\Delta f_{H\beta}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	-9	13	-19	7	53
$\Delta \text{Var } f_{H\beta}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	14	41	-10	11	112
$\Delta \text{Var } f_{H\beta}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	13	39	-4	11	112
$\Delta f_{pt}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	3	10	1	2	5
$\Delta f_{pt}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	4	13	0	3	7
$\Delta F_{pz/8}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	23	54	5	14	189
$\Delta F_{pz/8}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	22	61	-2	15	220
$\Delta Fr$ [ $\mu\text{m}$ ]	10	41	-19	14	214
$\Delta \text{MdK}$ [mm]	0,034	0,043	0,02	0,006	-
$\Delta \text{Ax. házení vrchní strany věnce}$ [ $\mu\text{m}$ ]	20,1	63,7	-23,4	21,5	463,9
$\Delta \text{Ax. házení spodní strany věnce}$ [ $\mu\text{m}$ ]	29,3	67,6	-7	19,3	372,5
$\Delta \text{Ax. házení nábojky}$ [ $\mu\text{m}$ ]	8,0	23	-2	5,5	30,6
<b>Parametry synchronu</b>					
$\Delta f_{pt}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	2	7	-1	2	4
$\Delta f_{pt}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	1	4	-3	2	3
$\Delta F_p$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	14	60	-24	15	215
$\Delta F_p$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	10	63	-32	17	298
$\Delta Fr$ [ $\mu\text{m}$ ]	6	42	-18	12	144
$\Delta \text{MdK}$ [mm]	-0,031	-0,018	-0,043	0,006	-
$\Delta \text{Ax. házení synchronu}$ [ $\mu\text{m}$ ]	3,4	23,4	-36,9	20,4	416,7

I zde můžeme jasně pozorovat rozdílný vliv kalírenských deformací v závislosti na patru roštu, ale vzhledem k cyklické změně mezi horním a spodním přívodem helia je rozložen mezi horní a spodní patra a navíc není tak intenzivní jako v případě kalení do oleje (viz obr. 67 a 68).

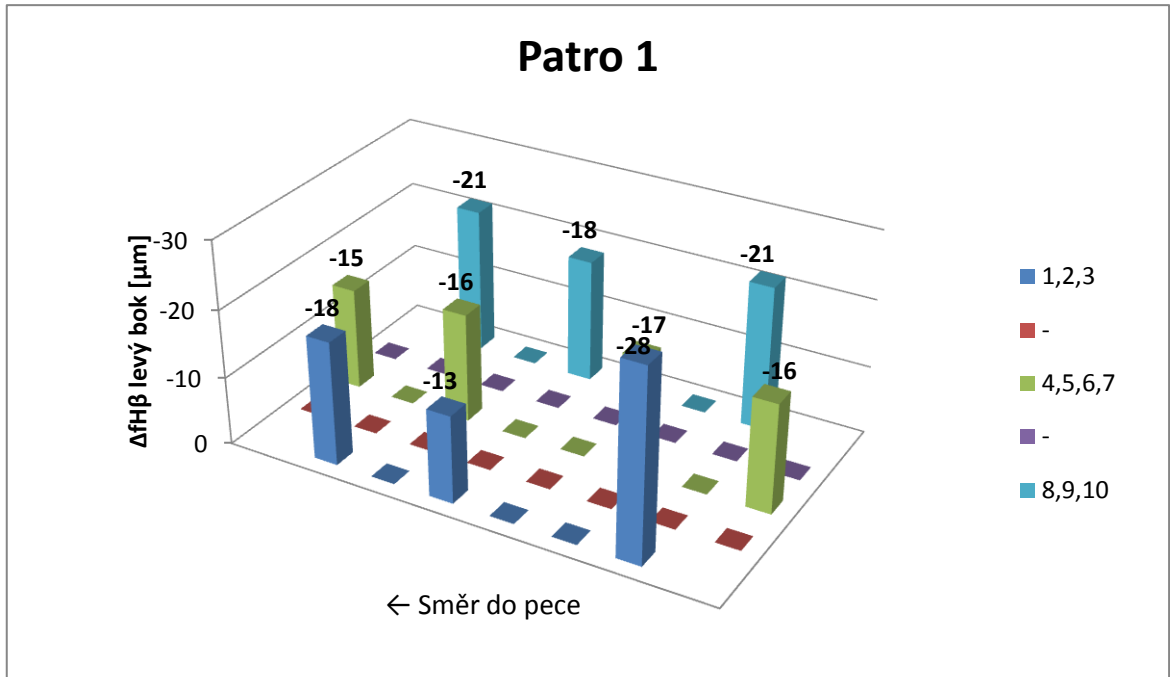


Obrázek 67: Hodnoty úchylek sklonu zubů (levý bok) po operaci kalení (série 50ks dílu OCF 311 250 C)

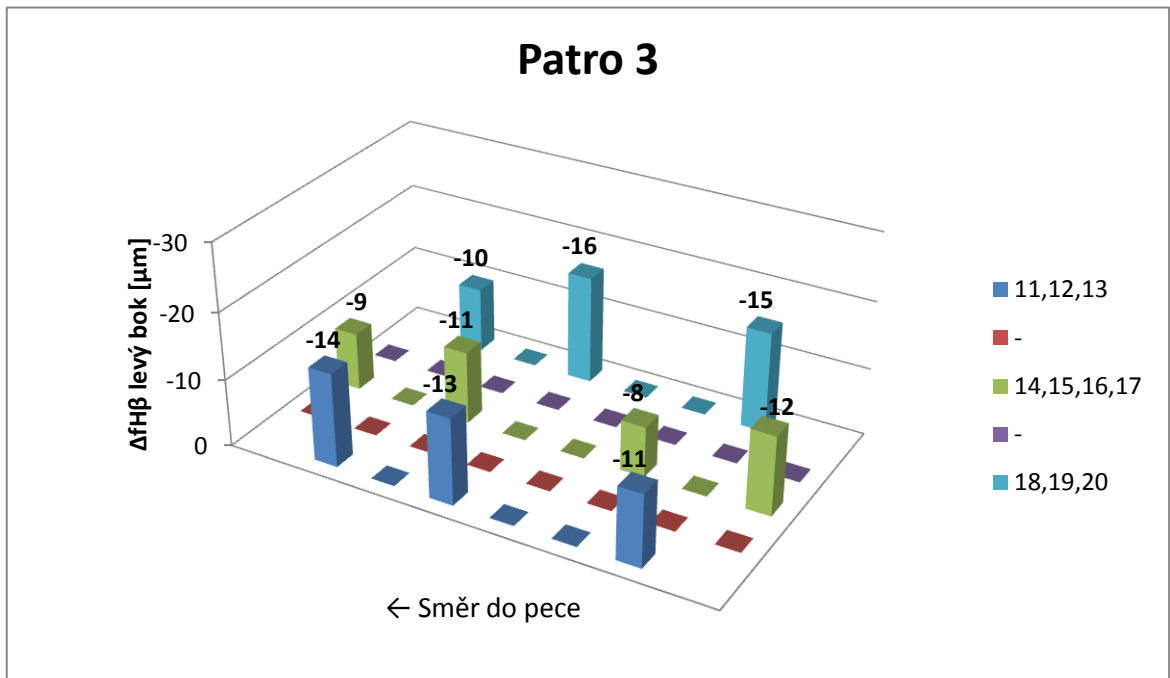


Obrázek 68: Hodnoty úchylek sklonu zubů (pravý bok) po operaci kalení (série 50ks dílu OCF 311 250 C)

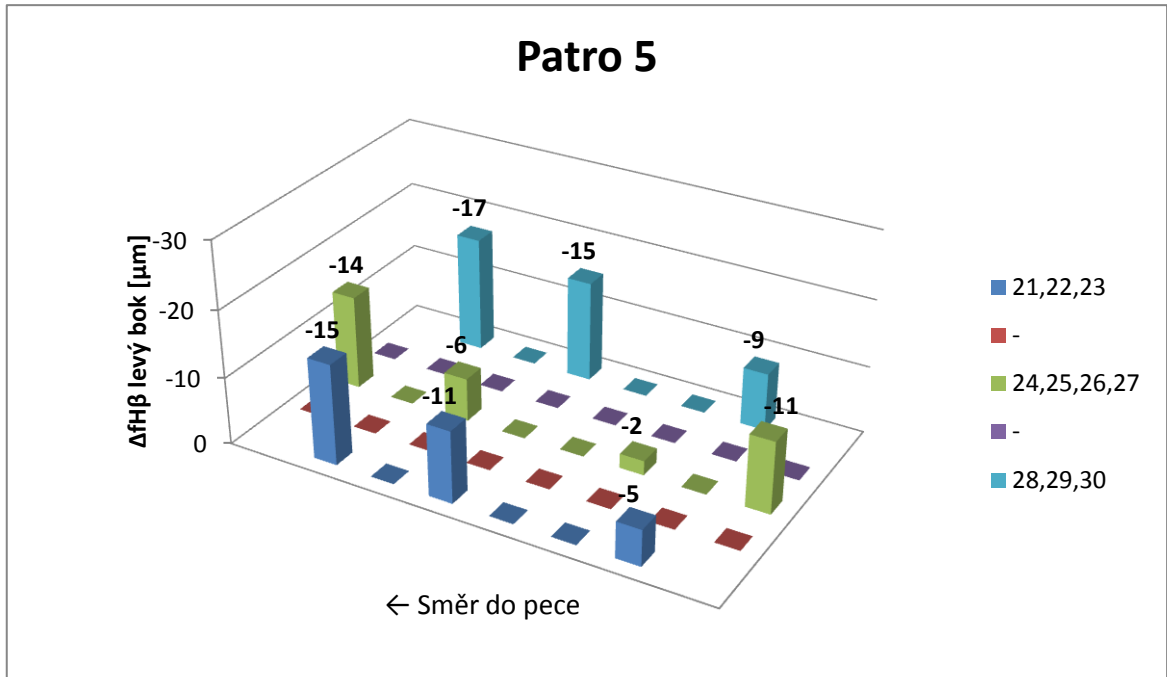
Na grafech vlivu kalení na valivé ozubení v závislosti na poloze v kalicím roštu potom můžeme sledovat, že více než patrový efekt se u tohoto způsobu kalení projevuje efekt stranový, kdy vnitřní kola jsou proti vlivu kalicího plynu chráněna (stíněna) koly vnějšími (viz obr. 69-72).



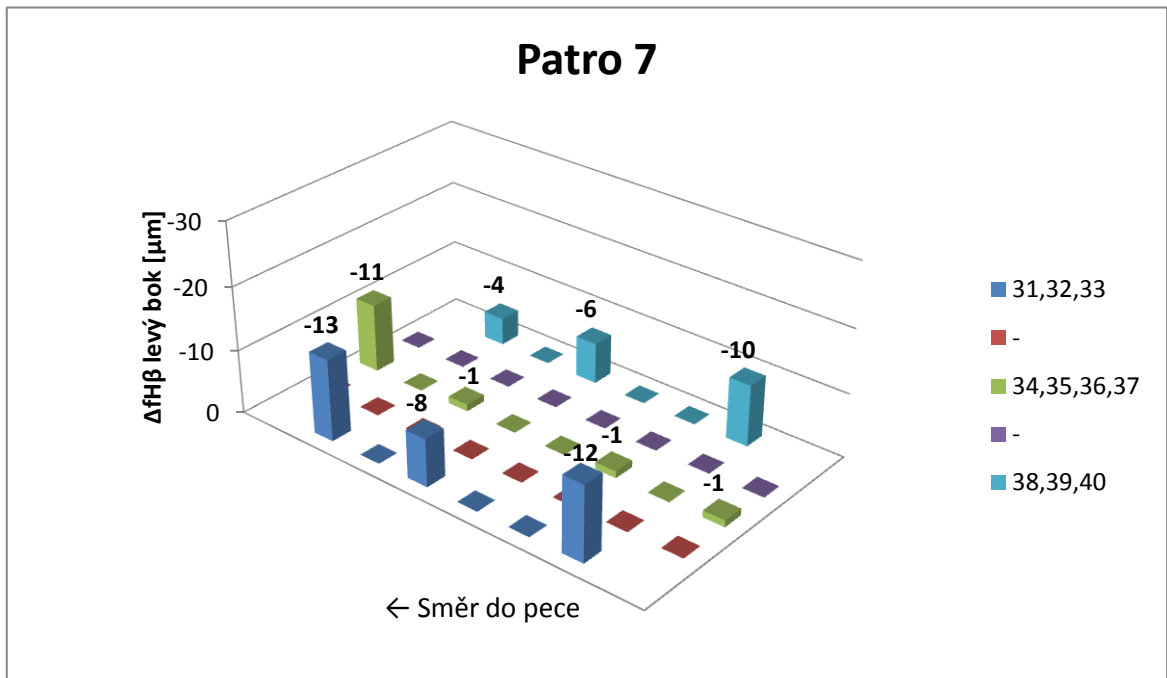
Obrázek 69: Vliv tepelného zpracování na úchytky sklonu zubů (levý bok) - Patro 1 (série 50ks dílu 0CF 311 250 C)



Obrázek 70: Vliv tepelného zpracování na úchytky sklonu zubů (levý bok) - Patro 3 (série 50ks dílu 0CF 311 250 C)



Obrázek 71: Vliv tepelného zpracování na úchytky sklonu zubů (levý bok) - Patro 5 (série 50ks dílu 0CF 311 250 C)



Obrázek 72: Vliv tepelného zpracování na úchytky sklonu zubů (levý bok) - Patro 7 (série 50ks dílu 0CF 311 250 C)

Grafy znázorňující rozložení vlivu kalení na parametr  $f_{H\beta}$  pravé strany je uveden v příloze 10.

### 14.7.3 Porovnání technologií tepelného zpracování ozubení kol 02T 311 251 N a 0CF 311 250 C

V následující tabulce jsou porovnány průměrné hodnoty vlivu obou technologií kalení na zkoumaná kola a stejně tak i rozdíly v rozpětí jejich vlivu:

Tabulka 22: Porovnání technologií tepelného zpracování

Úchylka	Vliv ALD kalírny [μm]		Vliv olejové kalírny [μm]	
	Průměrný vliv	Maximální vliv	Průměrný vliv	Maximální vliv
fHβ Levá	12	28	40	63
fHβ Pravá	9	19	11	34
Var fHβ Levá	14	41	9	30
Var fHβ Pravá	13	39	9	30
Fpz/8 Levá	23	54	14	48
Fpz/8 Pravá	22	61	11	47
Fr	10	41	5	31
MdK	0,034	0,043	0,049	0,071

Zelené údaje v tabulce znázorňují nižší vliv ALD kalírny oproti olejové kalírně. Červeně zbarvené údaje naopak ukazují horší vliv operace kalení v plynu na daný parametr kola oproti kolům kaleným v oleji.

Z tabulky je patrné, že vliv olejové kalírny na parametry Var fHβ, roztečí a radiální házení je mírně nižší, než je tomu u plynové kalírny. Tento jev se dá vysvětlit nezbytným navýšením prokalitelnosti základního materiálu, kterou tento způsob tepelného zpracování vyžaduje. Chladicí výkon a tepelná kapacita plynu totiž nejsou schopny ani při vysokém tlaku helia (až 1,8 MPa) zcela vyrovnat ochlazovací schopnost proudícího oleje. Pro dosažení požadované tvrdosti v jádře zubu mají tedy díly určené pro kalení v přetlaku helia ve ŠKODA AUTO a.s. předepsanou zvýšenou prokalitelnost J10 základního materiálu o 4 HRC. Takovýto materiál má ovšem nejen vyšší prokalitelnost, ale je i více náchylný ke vzniku vnitřního pnutí a kalírenských deformací během procesu tepelného zpracování.

Je třeba také dodat, že kola 0CF 311 250 C mají při porovnání s kolem 02T 311 251 N mírně větší průměr, jsou rovněž užší a nemají ani žebrování na spodní straně ozubeného věnce. Vliv kalírny na ně je tedy větší. Při měření série 50 kol 0CF 311 250 C převodovky MQ100 kalené v plynu nebyl rovněž zarovnán celý rošt zkouškovými kusy. Většina měřených dílů byla umístěna na krajích roštu. V úvahu je třeba tedy brát i rozdílný vliv tohoto způsobu kalení na krajní díly. Dá se předpokládat, že prostřední díly, které většinou měřeny nebyly, by mohly dosahovat lepších průměrných výsledků než měřené díly a zlepšovat tak průměrný vliv kalení v přetlaku helia na jednotlivé parametry kola. Celkový vliv ALD kalírny by se díky těmto vlivům mohl zlepšit o několik mikrometrů (v závislosti na konkrétních parametrech).

Tabulka je tedy spíše orientační a je třeba porovnávat nejen zlepšení nebo zhoršení vlivu na ozubení v závislosti na použité technologii, ale i konkrétní hodnoty rozdílů jednotlivých parametrů.

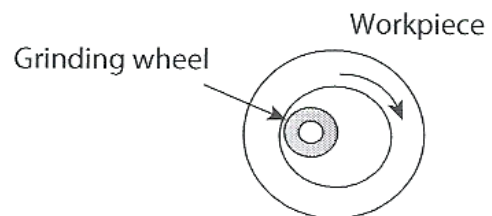
Největším problémem tepelného zpracování při kalení do oleje je pak samozřejmě náklon zubů prvních pater roštu a s ním spojená výrazná změna úchytky úhlu sklonu zubů  $f_{H\beta}$ . Byť tento vliv olejové kalírny způsobuje zhoršení parametru  $f_{H\beta}$  v průměru o necelých 29  $\mu\text{m}$  vyšší než je tomu u ALD kalírny, kola ve spodním roštu jsou ovlivněna dvojnásobně než jakékoli kolo zakalené v plynu. Vysoké ovlivnění úchytky úhlu sklonu zubů  $f_{H\beta}$  v dolních patrech kalírenského roštu olejové kalírny je zde přitom kritické a mohlo by (více než navýšení kteréhokoli jiného parametru kol) vést ke vzniku neshodných dílů.

Kalení v oleji se tedy ukázalo jako kvalitativně horší varianta, a to i přesto, že u některých parametrů ozubení je jeho vliv i nižší než při kalení v plynu (Především se jedná o parametry roztečí.).

Pro zlepšení kvality je tedy nutné kalení větších dílů, u kterých se dá předpokládat větší vliv na parametr  $f_{H\beta}$ , přesunout do ALD kalírny. Případně je také možné spodní dva rošty olejové kalírny zaplnit zmetkovými obrobky. V tomto případě ovšem musíme počítat se ztrátami energie (a tedy i financí) v důsledku jejich zahřívání i celkové kapacity kalírny.

#### 14.8 Broušení centrálního otvoru ozubených kol

Broušení centrálního otvoru probíhá pomocí brusného kotoučku tvořeného brusivem spojeným pojivem. Brusný kotouč koná planetární pohyb uvnitř otvoru a tím obrušuje jeho stěny (viz obr. 73). Tomuto způsobu broušení se říká vnitřní cylindrické broušení. Způsob upnutí se přitom liší dle zvoleného upínače. Tímto způsobem lze dosáhnout přesnosti rozměrů IT 5 až IT 7 při drsnosti  $R_a = 0,2-0,8 \mu\text{m}$  [45].



Obrázek 73: Vnitřní cylindrické broušení [45]

Broušení centrálního otvoru kol se u převodovky MQ 200 provádí na strojích Reinecker ISAA 200 a Buderus CNC 235. Každý stroj má přitom zcela jiný koncept upnutí ozubených kol během operace.

Pro broušení centrálního otvoru dílů 02T 311 251 N se užívá brusný kotouč s průměrem v rozmezí 20-26 mm. Rychlost posuvu během broušení nabývá hodnoty 3 mm/min. Obvodová rychlost broušení potom činí 30 m/s [36].

Zároveň spolu s broušením centrálního otvoru je broušen i synchronní kužel. To je provedeno brusným kotoučem o průměru 400 mm s obvodovou rychlostí broušení 62 m/s [36].



Série 110 kol byla po operaci kalení rozdělena na dvě skupiny. Centrální otvory ozubených kol každé z nich potom byly broušeny na jiném stroji. Vzhledem k výraznému kvalitativnímu rozdílu kol po zakalení v rozdílných patrech kalícího roštu nebyla kola do skupin rozdělena dle číselného pořadí, ale do každé skupiny byla zařazena jedna polovina vertikálně rozděleného roštu. Vzhledem k rozložení kol na roštu tak v jedné skupině je o 2 kola méně.

#### **14.8.1 Broušení otvorů a systém upnutí ozubených kol 02T 311 251 N (MQ 200) na stroji Reinecker ISAA 200**

Stroj Reinecker je pětiosá cylindrická bruska pro vnitřní i vnější broušení (viz obr. 74). Osa obrobku je během broušení uložena horizontálně. Reinecker ISAA 200 je schopný brousit kola o průměrech od 10 mm do 250 mm otáčkami až 1000 ot/min [46,47].



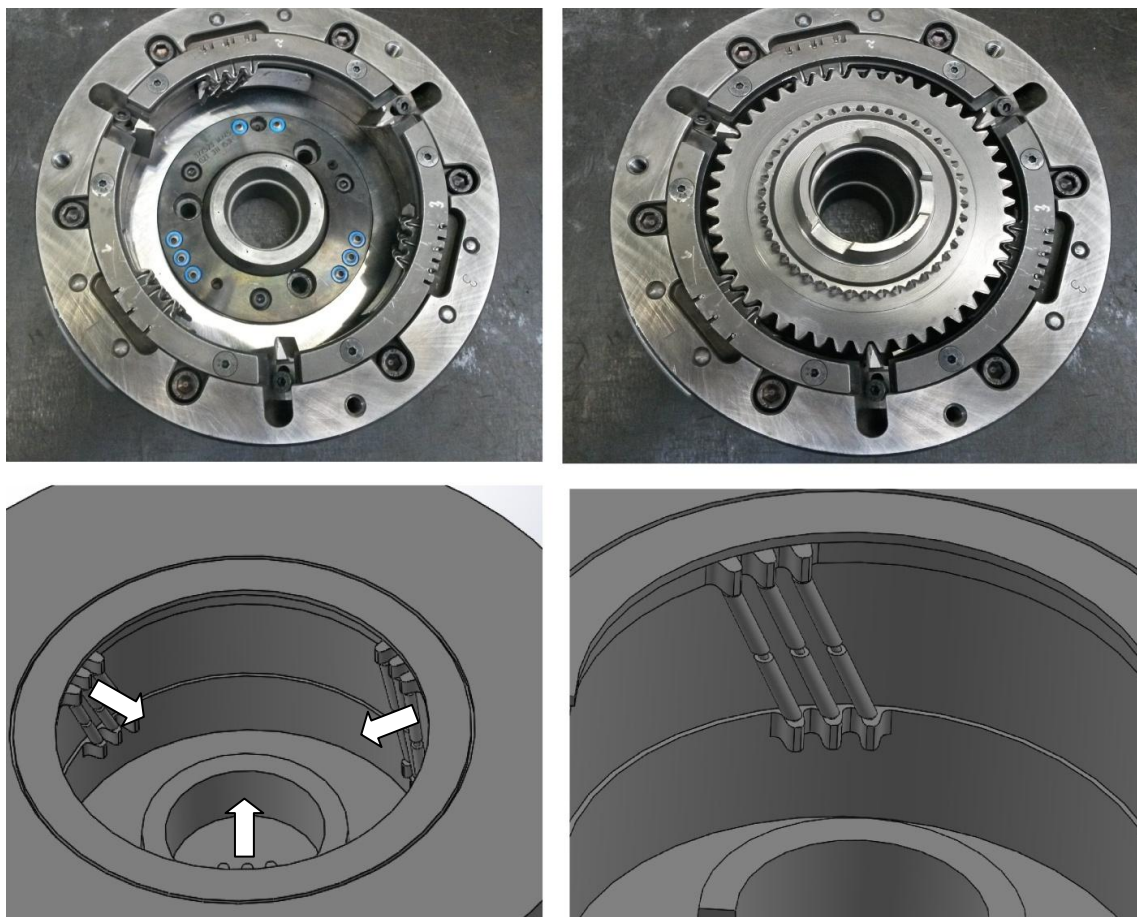
Obrázek 74: Stroj Reinecker ISAA 200 [4]

Konkrétní použitý stroj Reinecker byl uveden do provozu již v roce 1999. Jedná se tedy o starší stroj, zvláště pak v porovnání se strojem Buderus.

##### 14.8.1.1 Systém upnutí stroje Reinecker

Stroj Reinecker je opatřen upínací hlavou od firmy Röhm, která je ve stroji uložena horizontálně. Viz obr. 75. Kolo je do upínače zavedeno pomocí tří navaděčů umístěných po 120° na vnitřním obvodu upínače a doraženo na nábojku kola. K samotnému upnutí slouží soustava tří trojic upínacích elementů rozmístěných po 120° kolem upínaného kola. Jednotlivé upínací elementy se sestávají ze dvou válečků umístěných na drátkách skloněných pod úhlem sklonu ozubení  $\beta$ .

Při upnutí kola dochází k posunutí všech tří upínacích elementů směrem k ose upínaného kola, a tím i k jeho radiálnímu, a vzhledem k šikmému ozubení kola, i axiálnímu zajištění.



Obrázek 75: Upínací systém stroje Reinecker (CAD modely byly vytvořeny v programu SolidWorks)

#### 14.8.1.2 Kvalitativní data po obroušení centrálních otvorů kol

Po obroušení centrálních otvorů byly naměřeny následující hodnoty úchylek valivého a synchronního ozubení:

Tabulka 23: Hodnoty úchylek ozubení po operaci broušení centrálního otvoru na stroji Reinecker (série 110ks dílu 02T311 251 N)

Parametry kola					
Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
fHβ Levá [μm]	-31	-18	-49	8	61
fHβ Pravá [μm]	13	37	-2	10	92
Var fHβ Levá [μm]	22	53	4	9	88
Var fHβ Pravá [μm]	22	50	10	9	90
fpt Levá [μm]	9	15	6	2	4
fpt Pravá [μm]	9	14	4	2	4
Fpz/8 Levá [μm]	28	64	12	10	100
Fpz/8 Pravá [μm]	26	44	11	8	62
Fr [μm]	28	47	14	8	67

MdK [mm]	105,759	105,781	105,718	0,015	-
Ax. házení vrchní strany věnce [μm]	53,3	119	18,9	23,3	543,9
Ax. házení spodní strany věnce [μm]	52,2	127	14,7	24,2	585,8
Ax. házení nábojky [μm]	12,8	40	4	6,7	45,3

#### Parametry synchronu

fpt Levá [μm]	10	16	5	2	6
fpt Pravá [μm]	12	19	6	3	7
Fp Levá [μm]	44	90	15	17	292
Fp Pravá [μm]	45	91	17	17	287
Fr [μm]	45	84	20	15	212
MdK [mm]	72,964	73,022	72,939	0,016	-

Vliv obrobení centrálního otvoru na stroji Reinecker ISAA 200 je pak uvede v tabulce 24.

Tabulka 24: Vliv operace broušení centrálního otvoru na stroji Reinecker (série 110ks dílu 02T311 251 N)

#### Parametry kola

Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
ΔfHβ Levá [μm]	0	3	-5	1	1
ΔfHβ Pravá [μm]	0	2	-4	1	1
ΔVar fHβ Levá [μm]	6	28	-28	10	96
ΔVar fHβ Pravá [μm]	5	26	-32	10	103
Δfpt Levá [μm]	0	5	-5	2	4
Δfpt Pravá [μm]	0	3	-5	2	3
ΔFpz/8 Levá [μm]	-3	21	-39	10	110
ΔFpz/8 Pravá [μm]	-2	18	-32	9	88
ΔFr [μm]	-11	14	-35	12	155
ΔMdK [mm]	0,000	0,006	-0,005	0,003	-
ΔAx. házení vrchní strany věnce [μm]	12,1	79,8	-60,3	30,0	728,9
ΔAx. házení spodní strany věnce [μm]	17,5	99,6	-41,2	25,9	671,0
ΔAx. házení nábojky [μm]	0	26	-28	8,0	64,4

#### Parametry synchronu

Δfpt Levá [μm]	1	5	-2	2	2
Δfpt Pravá [μm]	1	6	-2	2	3
ΔFp Levá [μm]	18	62	-23	18	320
ΔFp Pravá [μm]	18	68	-12	16	261
ΔFr [μm]	18	57	-19	15	217
ΔMdK [mm]	-0,004	0,01	-0,014	0,006	-

#### 14.8.2 Broušení otvorů a systém upnutí ozubených kol 02T 311 251 N (MQ 200) na stroji Buderus CNC 235

Stroj Buderus CNC 235 je vertikální brusné centrum s vertikálně položeným vřetenem (viz obr. 76). Stroj může být použit k vnitřnímu i vnějšímu broušení a to i současně. Je rovněž možno ho vybavit dvěma vřeteny pro zrychlení výroby. Stroj může brousit do maximálního průměru 200 mm při maximální výšce obrobku 150 mm. Otáčky hlavy stroje potom dosahují hodnoty až 1000 ot/min [48].



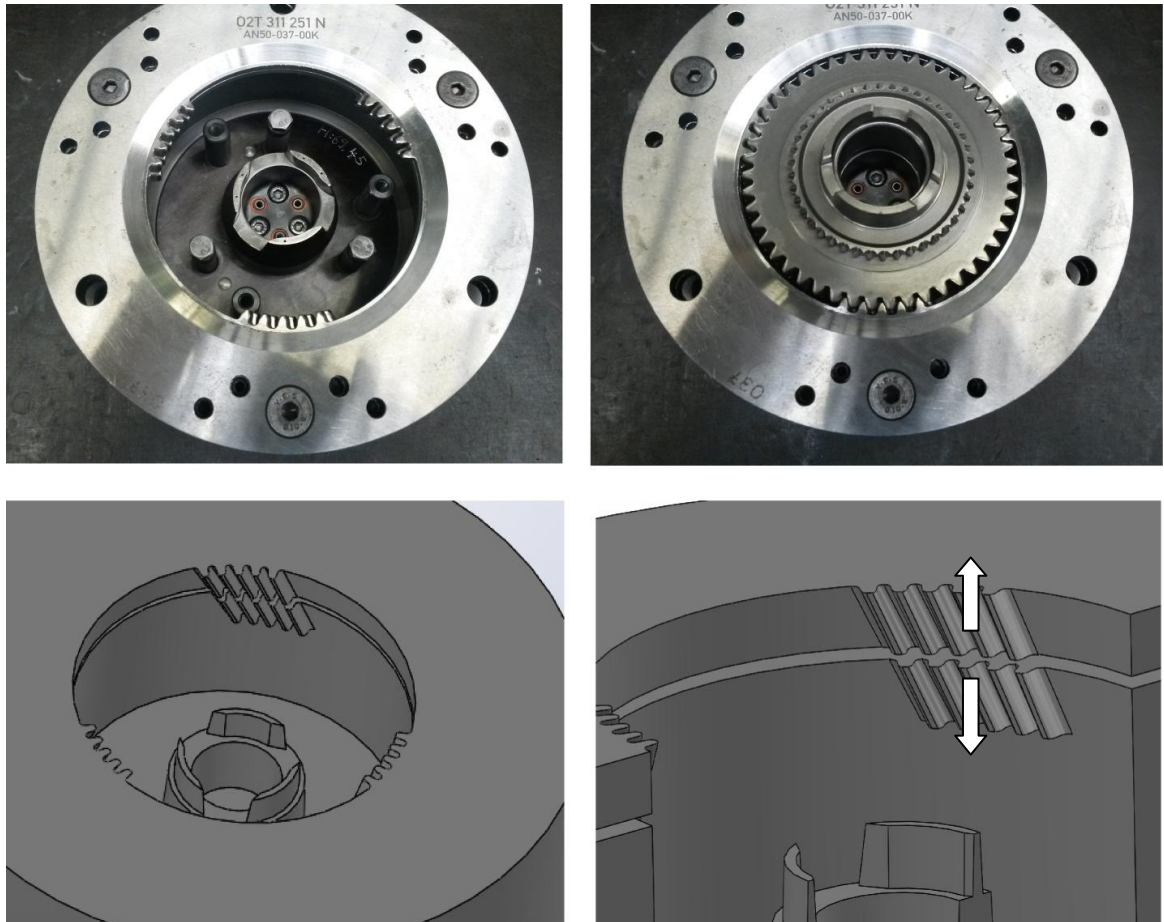
Obrázek 76: Stroj Buderus CNC 235 [4]

Použitý stroj Buderus byl uveden do provozu roku 2009 a je tedy o deset let mladší než stroj Reinecker.

##### 14.8.2.1 Systém upnutí Buderus

Ve stroji Buderus jsou kola upnuta pomocí soustavy šesti skupin upínacích elementů umístěných ve dvou vrstvách po 120° po obvodu kola. Každá skupina elementů je tvořena pěticí negativů ozubení kol, vytvořených na vnitřním průměru dvou nad sebou umístěných tenkých desek ve tvaru mezikruží.

Při upínání je kolo nasunuto do upínacích elementů a doraženo na nábojku. Následně dojde k vzájemnému axiálnímu posunutí obou desek upínače, aniž by zároveň došlo k jejich vzájemnému pootočení. Díky tomu dochází k vymezení vůle mezi ozubeným kolem a negativy ozubení vytvořenými na obou deskách upínače a tedy k upnutí ozubeného kola. Schéma upínacího systému stroje Buderus je vyobrazeno na následujícím obrázku:



Obrázek 77: Upínací systém stroje Buderus (CAD modely byly vytvořeny v programu SolidWorks)

#### 14.8.2.2 Kvalitativní data po obroušení centrálních otvorů kol

Po operaci broušení centrálního otvoru byly u kol obroušených na stroji Buderus CNC 235 odečteny následující hodnoty parametrů ozubení:

Tabulka 25: Hodnoty úchylek ozubení po operaci broušení centrálního otvoru na stroji Buderus (série 110ks dílu O2T 311 251 N)

Úchylka	Parametry kola				
	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
fHβ Levá [μm]	-31	-21	-53	8	62
fHβ Pravá [μm]	13	35	-1	8	69
Var fHβ Levá [μm]	15	32	5	7	48
Var fHβ Pravá [μm]	18	35	4	6	40
fpt Levá [μm]	9	12	6	1	2
fpt Pravá [μm]	9	11	7	1	1
Fpz/8 Levá [μm]	28	45	15	8	58
Fpz/8 Pravá [μm]	28	40	19	4	18
Fr [μm]	52	82	25	15	226

MdK [mm]	105,756	105,78	105,724	0,013	-
Ax. házení vrchní strany věnce [μm]	42,2	76,7	14	14,8	218,6
Ax. házení spodní strany věnce [μm]	39,4	85,3	14,5	16,7	280,5
Ax. házení nábojky [μm]	10,3	22	6	3,2	10,2

#### Parametry synchronu

fpt Levá [μm]	12	21	6	3	8
fpt Pravá [μm]	13	22	6	3	11
Fp Levá [μm]	72	127	14	25	638
Fp Pravá [μm]	74	136	18	24	589
Fr [μm]	69	127	20	24	575
MdK [mm]	72,967	73,025	72,939	0,018	-

Vliv broušení centrálního otvoru na stroji Buderus je potom uveden v následující tabulce:

Tabulka 26: Vliv operace broušení centrálního otvoru na stroji Buderus (série 110ks dílu 02T 311 251 N)

#### Parametry kola

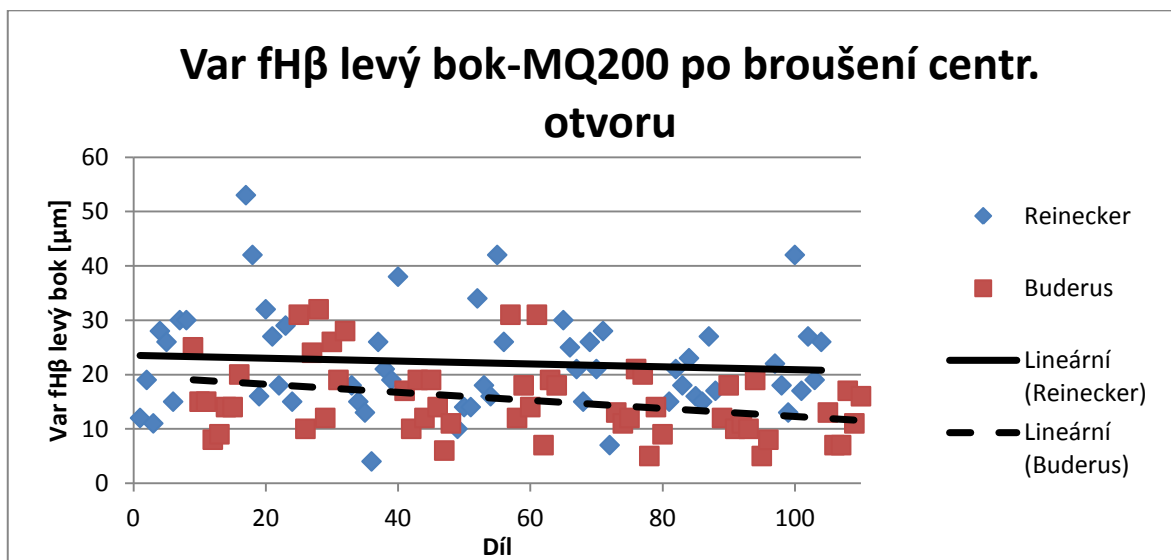
Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
ΔfHβ Levá [μm]	0	2	-1	1	0
ΔfHβ Pravá [μm]	0	1	-1	1	0
ΔVar fHβ Levá [μm]	-1	14	-19	7	46
ΔVar fHβ Pravá [μm]	1	18	-14	8	65
Δfpt Levá [μm]	0	3	-5	2	3
Δfpt Pravá [μm]	0	3	-4	2	2
ΔFpz/8 Levá [μm]	0	17	-19	9	78
ΔFpz/8 Pravá [μm]	3	19	-17	7	56
ΔFr [μm]	15	62	-36	19	360
ΔMdK [mm]	-0,001	0,005	-0,007	0,003	-
ΔAx. házení vrchní strany věnce [μm]	2,1	39,9	-42,9	16,7	279,5
ΔAx. házení spodní strany věnce [μm]	4,9	46,4	-43	18,0	322,3
ΔAx. házení nábojky [μm]	-2,1	10	-16	4,8	23,5

#### Parametry synchronu

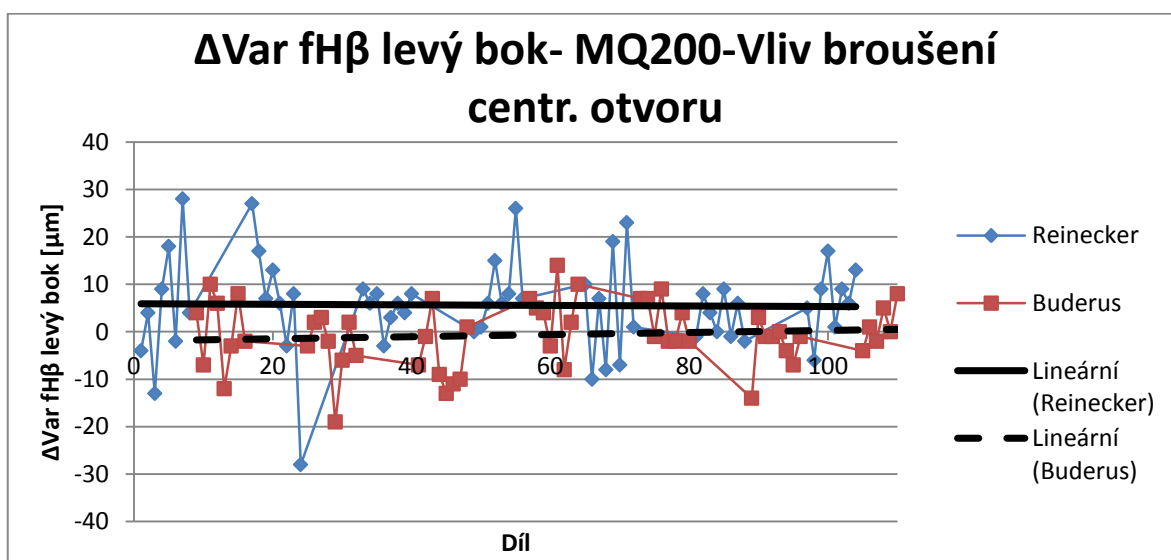
Δfpt Levá [μm]	3	7	-3	2	5
Δfpt Pravá [μm]	3	11	0	2	4
ΔFp Levá [μm]	47	113	-7	26	701
ΔFp Pravá [μm]	48	112	-4	25	622
ΔFr [μm]	42	106	-5	24	565
ΔMdK [mm]	-0,004	0,006	-0,02	0,007	-

### 14.8.3 Porovnání stávajících způsobů upnutí během operace broušení centrálního otvoru

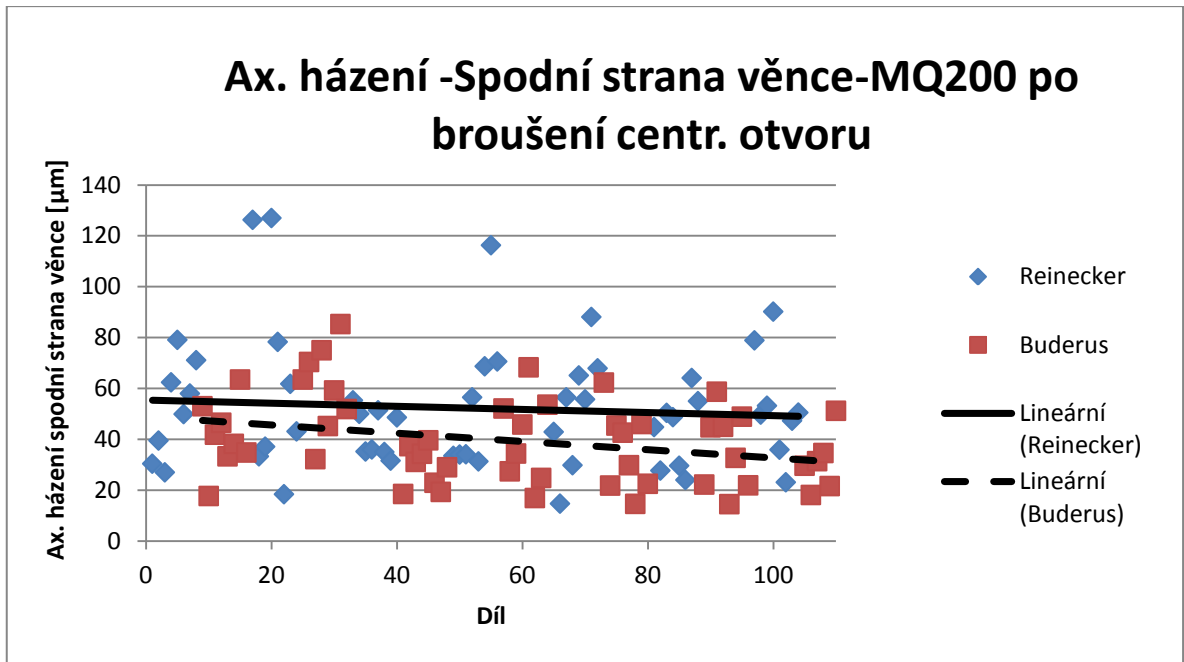
Na grafech vlivu operace broušení, stejně jako na grafech absolutních hodnot parametrů ozubených kol po obroušení centrálních otvorů můžeme vidět, že upínací systém stroje Reinecker vykazuje podstatně horší stabilitu procesu. Především vliv na parametry variability úhlů sklonu ozubení  $\text{Var } f_{H\beta}$  a axiálního házení kol je evidentně horší (viz obr. 78 - 83).



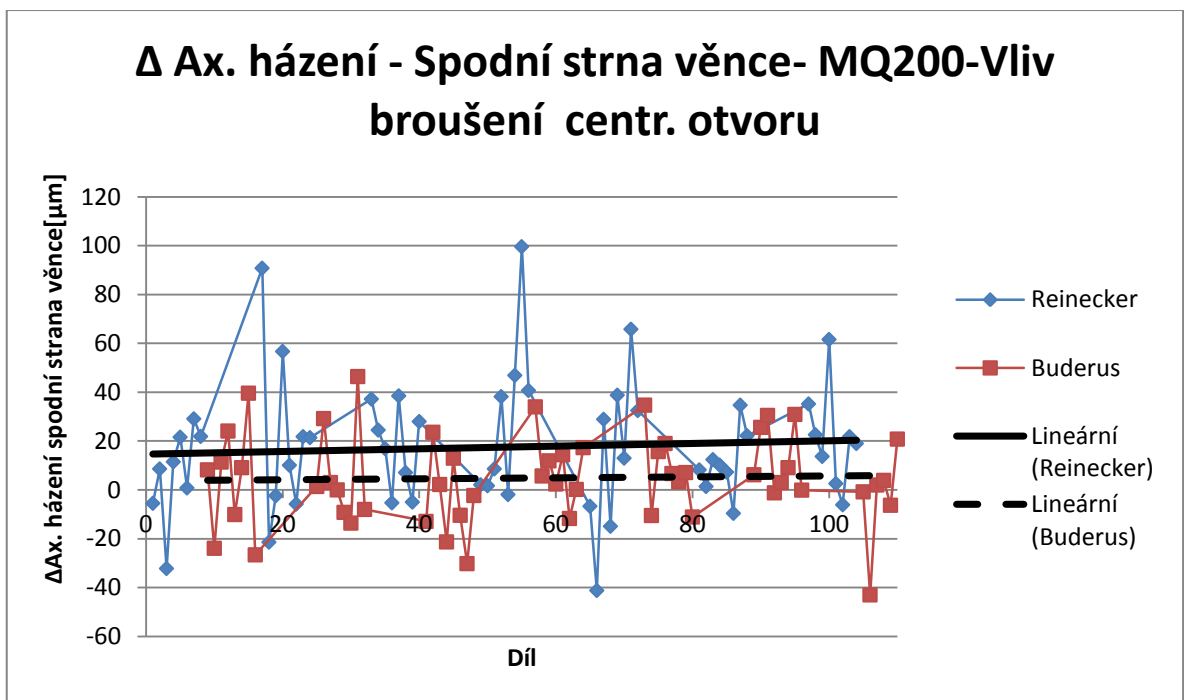
Obrázek 78: Porovnání hodnot  $\text{Var } f_{H\beta}$  (levý bok) po operaci broušení centrálního otvoru v závislosti na způsobu upnutí



Obrázek 79: Porovnání vlivu způsobů upnutí při operaci broušení centrálního otvoru na parametr  $\text{Var } f_{H\beta}$  (levý bok)

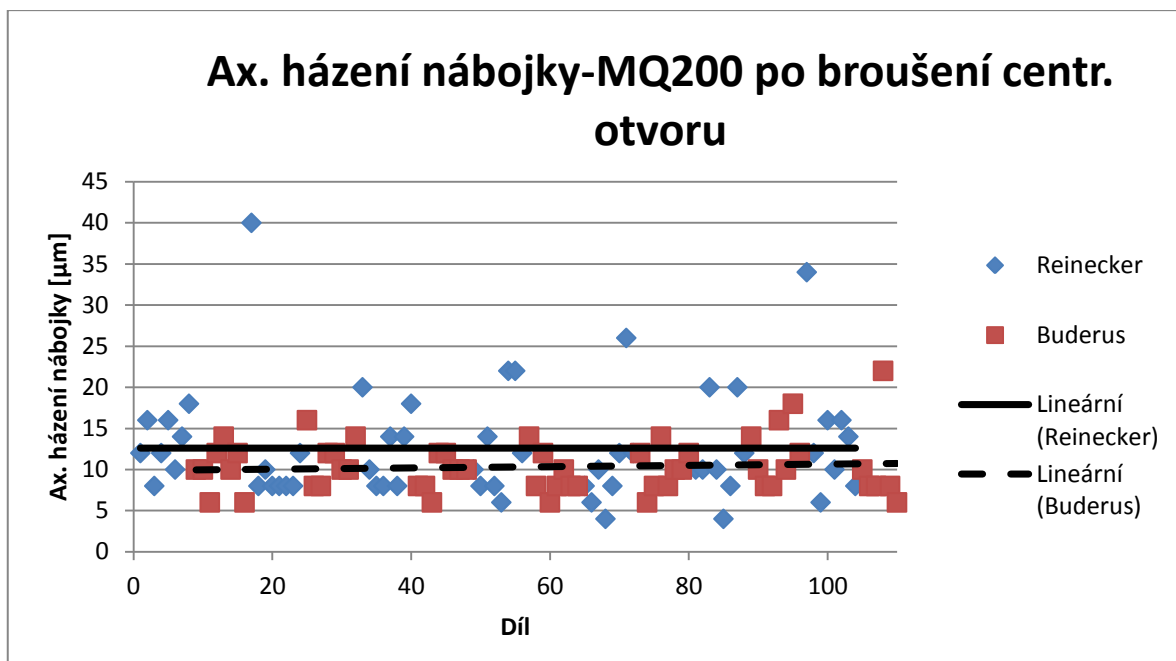


Obrázek 80: Porovnání hodnot ax. házení (spodní strana věnce) po operaci broušení centrálního otvoru v závislosti na způsobu upnutí

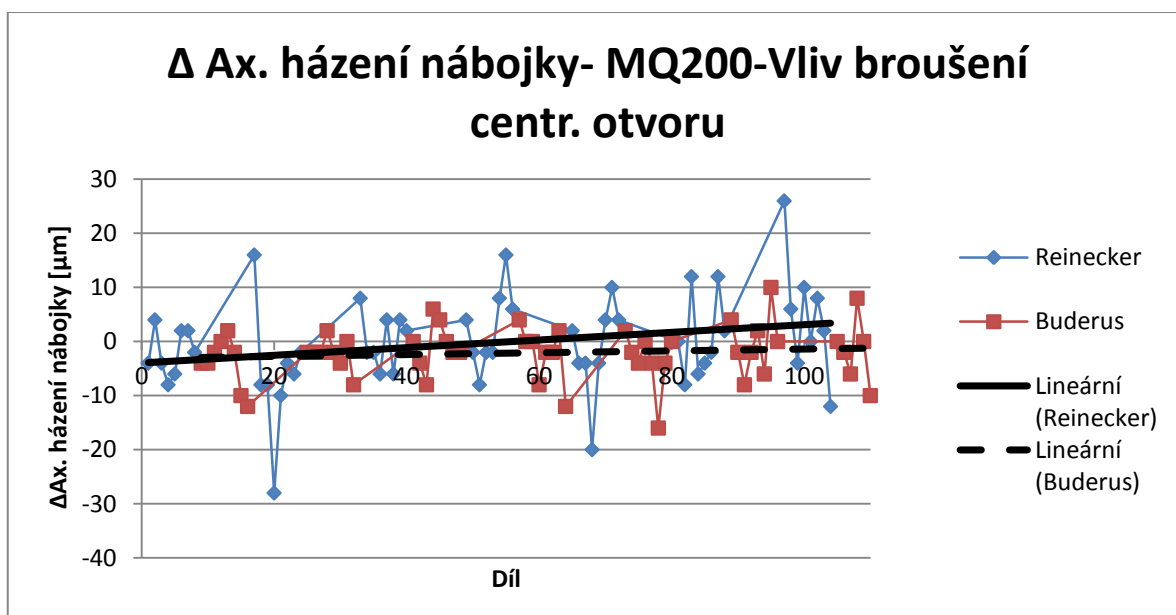


Obrázek 81: Porovnání vlivu způsobů upnutí při operaci broušení centrálního otvoru na parametr ax. házení (spodní strana věnce)



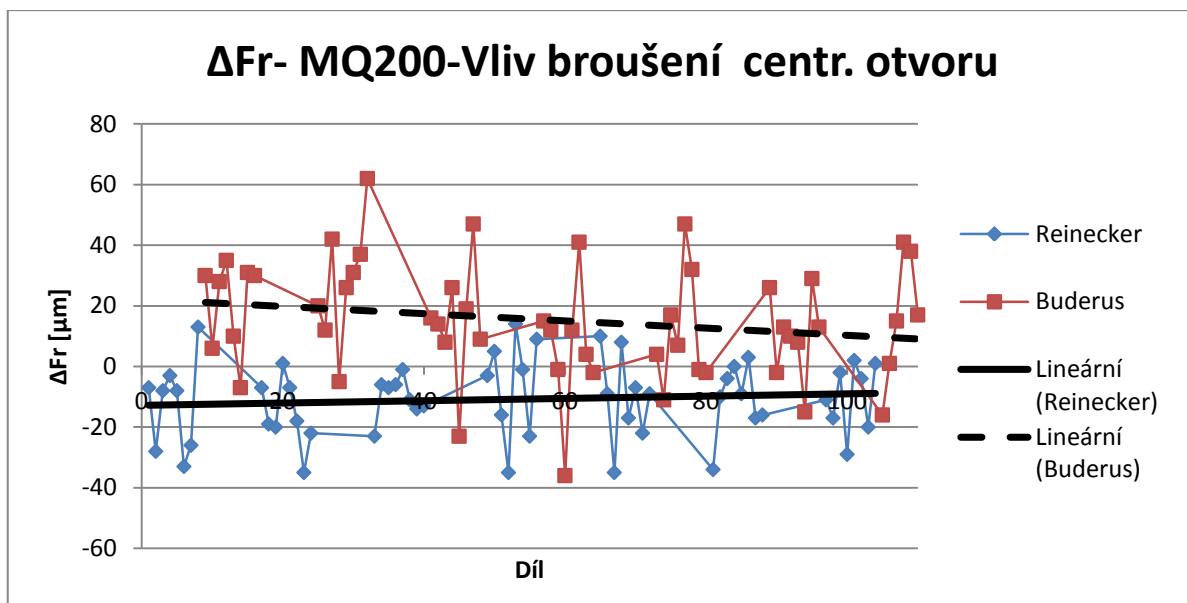


Obrázek 82: Porovnání hodnot ax. házení nábojky po operaci broušení centrálního otvoru v závislosti na způsobu upnutí

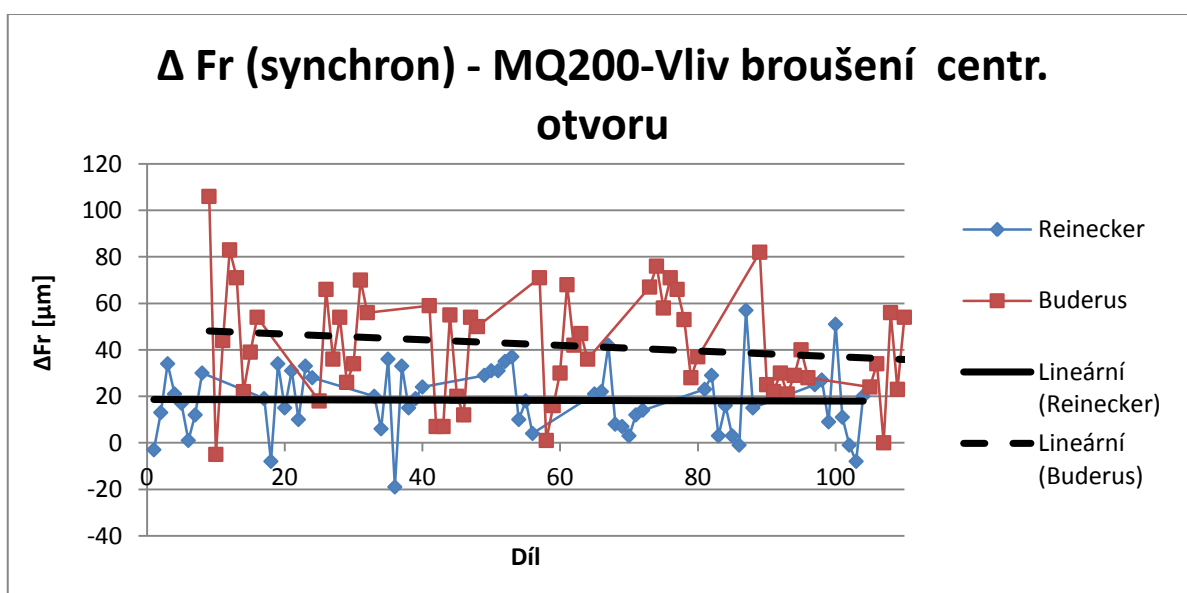


Obrázek 83: Porovnání vlivu způsobů upnutí při operaci broušení centrálního otvoru na parametr ax. házení nábojky

U stroje Buderus byl naměřen výraznější vliv na hodnotu radiálního házení valivého ozubení. Viz obr. 84. Samotné zhoršení radiálního házení by v tomto případě neznameno závažný problém, protože v následující operaci, kterou je honování ozubení, by jeho úchylnka byla opravena (viz kapitola 14.11). Bohužel v důsledku zhoršení parametru radiálního házení dochází i ke zhoršení závislých parametrů synchronního ozubení. Především se jedná o parametry roztečí a o radiální házení synchronního ozubení (viz obr. 85). V této fázi výroby je přítom synchronní ozubení již hotové a nebude se dále upravovat.



Obrázek 84: Porovnání vlivu způsobů upnutí při operaci broušení centrálního otvoru na parametr radiálního házení



Obrázek 85: Porovnání vlivu způsobů upnutí při operaci broušení centrálního otvoru na parametr radiálního házení synchronního ozubení

Samotná úchylka radiálního házení vzniklá při této operaci (a s ní spojené nepřesnosti synchronního ozubení) může být eliminována důkladným seřízením upínače. Nejedná se o tedy zápor samotného systému upnutí. Je třeba zde proto doporučit zpřísnění kontroly ozubených kol a parametrů seřízení stroje k uvolnění výroby.

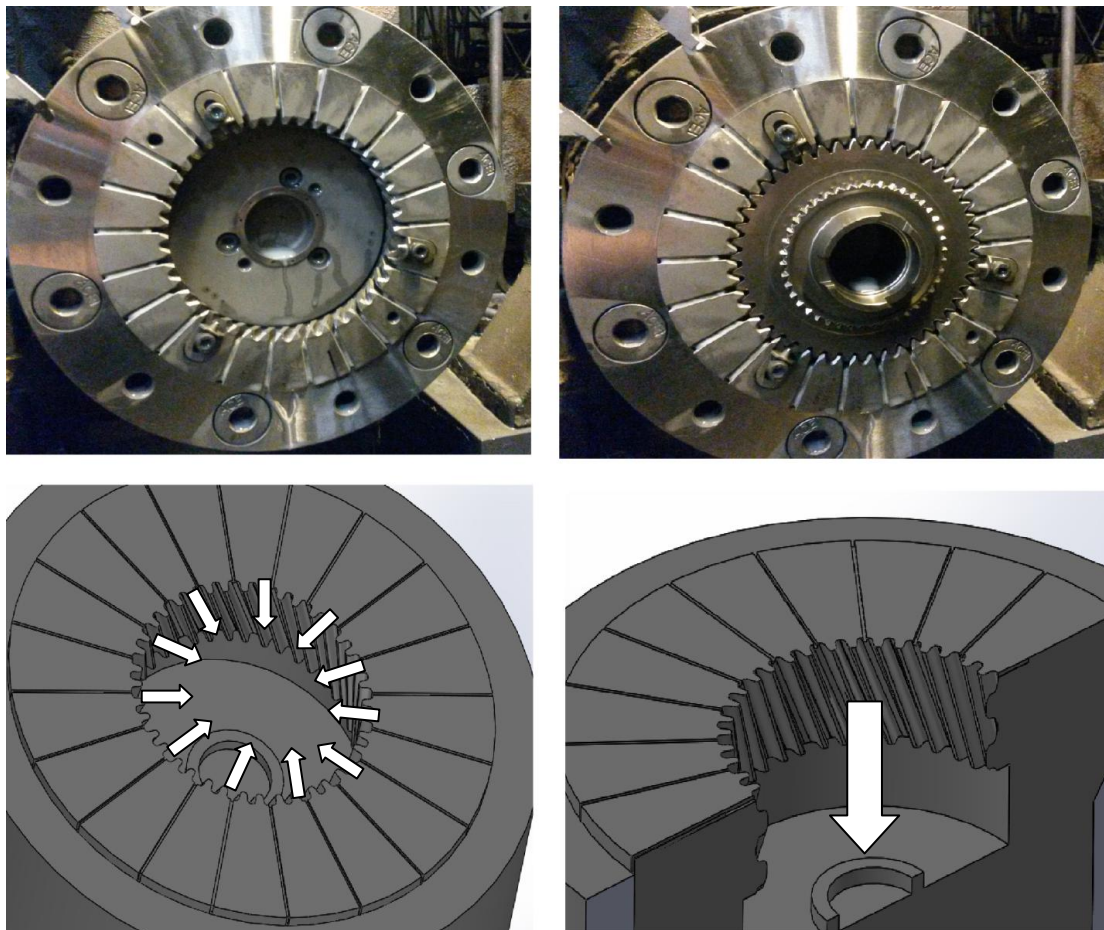
#### 14.8.4 Broušení centrálních otvorů ozubených kol 02T 311 251 N (MQ 200) s novým upínačem stroje Reinecker ISAA 200

Jako možné řešení nedostačujících kvalitativních výsledků a nestability parametrů ozubení, které vykazují ozubená kola, jejichž centrální otvory byly broušeny na stroji Reinecker, byl navržen koncepčně nový upínač pro tento stroj.

#### 14.8.4.1 Nový systém upnutí stroje Reinecker

Nový upínač od firmy Röhm upíná ozubená kola zcela odlišným způsobem než oba předcházející zkoumané upínače. Jeho hlavní část má při pohledu shora podobu mezikruží, rozděleného do několika výsečí, na jejichž vnitřním průměru je vytvořen negativní profil ozubení kola 02T 311 251 N. Každá jednotlivá výseč mezikruží obsahuje dva zuby a je s ostatními výsečemi spojena pryžovými elementy. Vnější obvod mezikruží je potom zkosen v ose upínání kola a tvoří tak komolý kužel, zasazený v kuželovém pouzdře (viz obr. 86).

Při upínání je kolo nejdříve navedeno do vnitřního ozubení upínače pomocí soustavy tří navaděčů, rozmístěných kolem vnitřního obvodu mezikruží po  $120^\circ$ . Kolo je doraženo na nábojku a celý kužel upínače je vtlačěn v ose kola do pouzdra. Díky pryžovým elementům mezi jednotlivými výsečemi mezikruží je možná jeho deformace podél celého obvodu a upínač tak dokonale sevře ozubené kolo ze všech stran a za všechny boky zubů.



Obrázek 86: Nový upínací systém stroje Reinecker (CAD modely byly vytvořeny v programu SolidWorks)

#### 14.8.4.2 Kvalitativní data po obroušení centrálních otvorů kol

Pro zhodnocení vlivu operace broušení centrálního otvoru při upnutí kola v novém upínacím systému byla po doměření původní série odebrána, nakonzervována a uschována série 55 kol ze stejné tavby. Centrální otvory těchto kol byly po dodání nového upínače pro stroj Reinecker obroušeny. Tímto způsobem byl eliminován vliv materiálu (resp. rozdílné tavby). Hodnoty jednotlivých parametrů byly opět proměřeny před i po operaci broušení za účelem určení vlivu operace a upnutí kol během ní.

Po broušení centrálních otvorů kol byly naměřeny následující hodnoty parametrů ozubení:

**Tabulka 27: Hodnoty úchylek ozubení po operaci broušení centrálního otvoru na stroji Reinecker s novým upínačem (série 55ks dílu 02T 311 251 N – shodná tavba)**

<b>Parametry kola</b>					
<b>Úchylka</b>	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>Maximální hodnota</b>	<b>Minimální hodnota</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>	<b>Rozptyl</b>
<b>fHβ Levá [μm]</b>	-40	-27	-59	8	58
<b>fHβ Pravá [μm]</b>	13	33	2	8	68
<b>Var fHβ Levá [μm]</b>	17	49	4	8	59
<b>Var fHβ Pravá [μm]</b>	16	38	3	7	45
<b>fpt Levá [μm]</b>	8	11	5	1	2
<b>fpt Pravá [μm]</b>	8	12	5	2	3
<b>Fpz/8 Levá [μm]</b>	23	41	12	6	37
<b>Fpz/8 Pravá [μm]</b>	20	41	10	6	34
<b>Fr [μm]</b>	25	39	16	5	24
<b>MdK [mm]</b>	105,756	105,776	105,715	0,016	-
<b>Ax. házení vrchní strany věnce [μm]</b>	36,4	64,4	8,7	13,8	192,5
<b>Ax. házení spodní strany věnce [μm]</b>	32,7	79,8	14,7	12,0	145,2
<b>Parametry synchronu</b>					
<b>fpt Levá [μm]</b>	12	26	7	3	10
<b>fpt Pravá [μm]</b>	14	29	7	4	15
<b>Fp Levá [μm]</b>	44	82	13	15	228
<b>Fp Pravá [μm]</b>	46	80	19	15	224
<b>Fr [μm]</b>	46	75	16	13	179
<b>MdK [mm]</b>	72,952	72,971	72,933	0,009	-

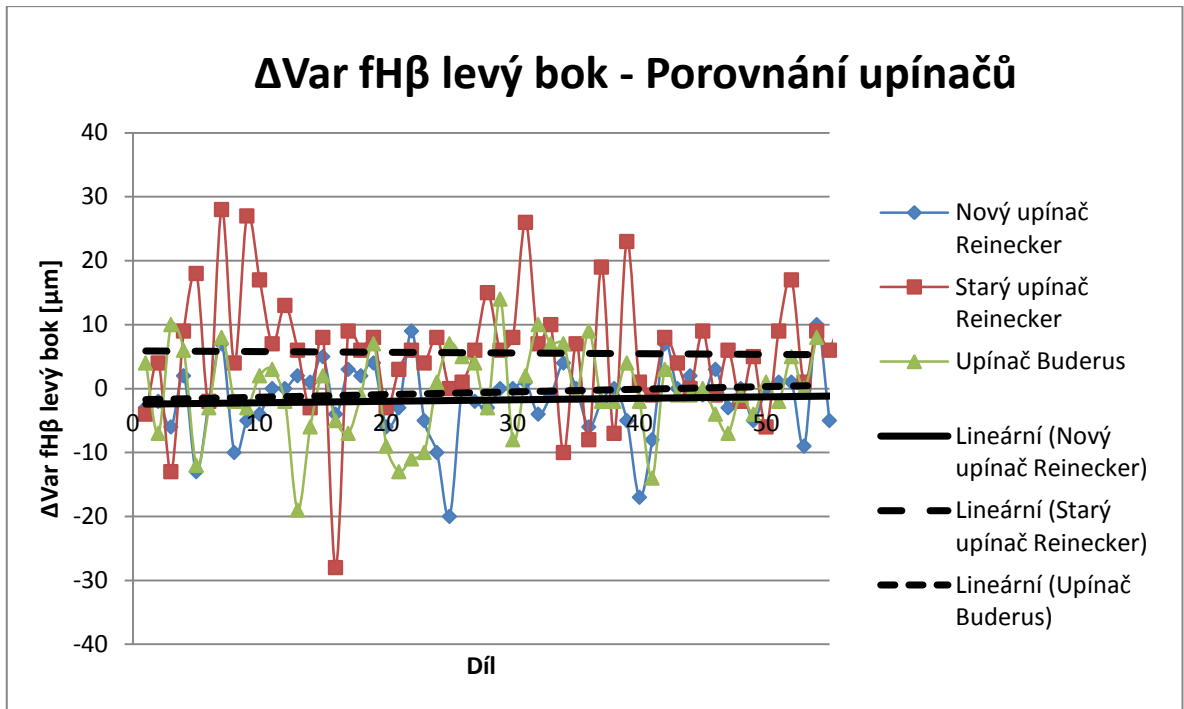
Vliv broušení centrálního otvoru kol při upnutí v novém upínači je potom uveden v následující tabulce:

Tabulka 28: Vliv operace broušení centrálního otvoru na stroji Reinecker s novým upínačem (série 55ks dílu 02T 311 251 N- shodná tavba)

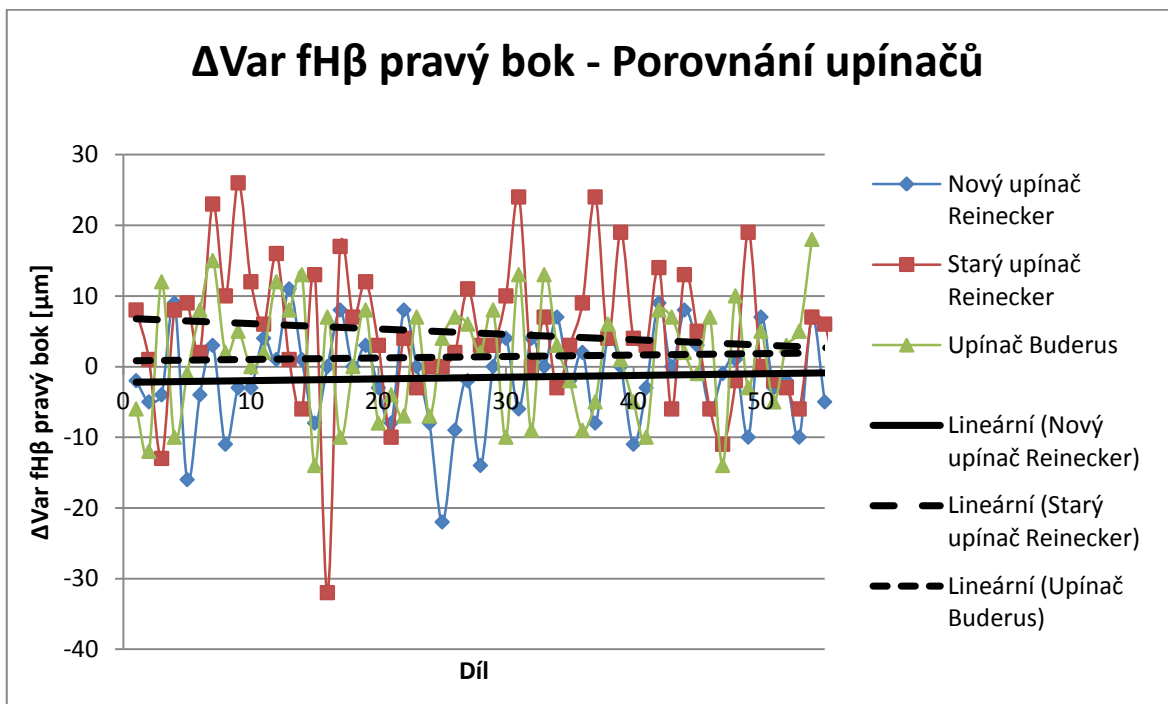
Parametry kola					
Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
$\Delta fH\beta$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	0	4	-1	1	0
$\Delta fH\beta$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]		8	-2	1	2
$\Delta \text{Var } fH\beta$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	-2	10	-20	6	32
$\Delta \text{Var } fH\beta$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	-2	11	-22	7	46
$\Delta f_{pt}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	-1	2	-5	2	2
$\Delta f_{pt}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	-1	2	-6	2	3
$\Delta F_{pz/8}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	-4	12	-24	8	60
$\Delta F_{pz/8}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	-6	9	-20	7	56
$\Delta Fr$ [ $\mu\text{m}$ ]	-13	13	-39	12	150
$\Delta \text{MdK}$ [mm]	-0,001	0,011	-0,01	0,004	-
$\Delta \text{Ax. házení vrchní strany věnce}$ [ $\mu\text{m}$ ]	-1,7	31	-43,7	15,5	239,4
$\Delta \text{Ax. házení spodní strany věnce}$ [ $\mu\text{m}$ ]	-1,4	27,2	-33,9	13,9	193,3
Parametry synchronu					
$\Delta f_{pt}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	1	4	-5	2	3
$\Delta f_{pt}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	1	4	-3	2	3
$\Delta F_p$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	13	49	-15	17	296
$\Delta F_p$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	14	48	-20	16	251
$\Delta Fr$ [ $\mu\text{m}$ ]	12	49	-12	15	229
$\Delta \text{MdK}$ [mm]	0	0,005	-0,005	0,002	-

#### 14.8.5 Porovnání nového systému upnutí při operaci broušení centrálního otvoru ozubených kol se stávajícími upínači

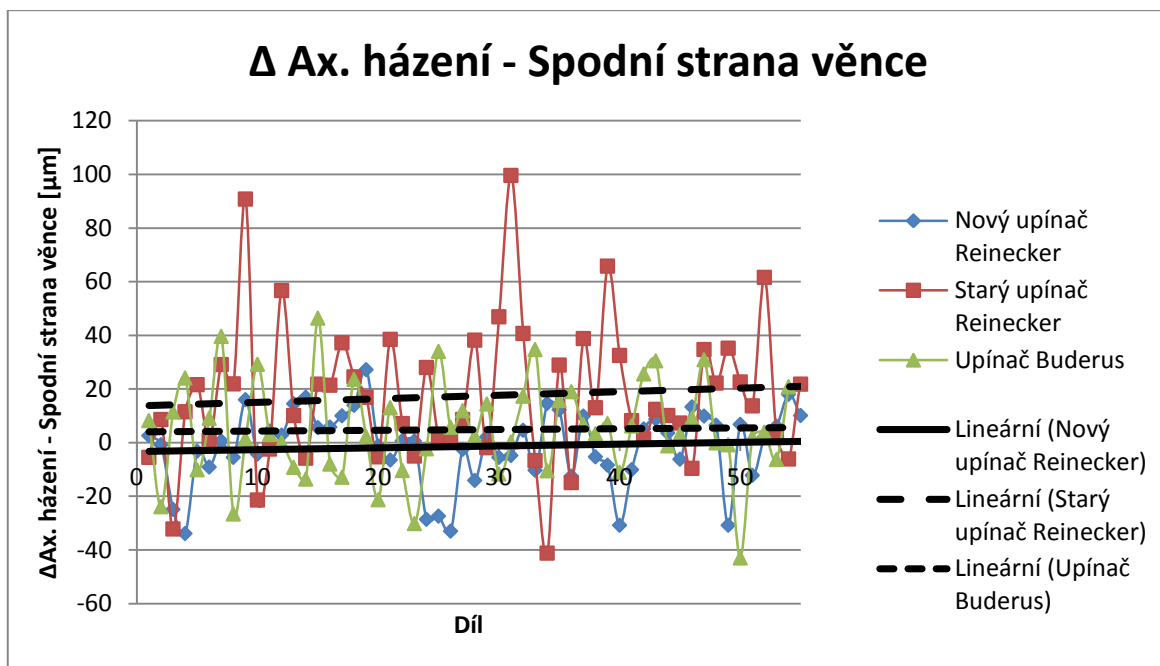
Při porovnání s ostatními systémy upnutí má nový upínač znatelně nižší vliv na parametry valivého i synchronního ozubení než předešlé upínače. Zvláště pak při porovnání se starým systémem upnutí na stroji Reinecker. Na rozdíl od původního systému upnutí stroje Reinecker jsou výsledky při použití nového upínače výrazně stabilnější (viz obr. 87 - 89).



Obrázek 87: Porovnání vlivu nového systému upnutí stroje Reinecker na kvalitu parametru Var fHβ (levý bok) se stávajícími upínači



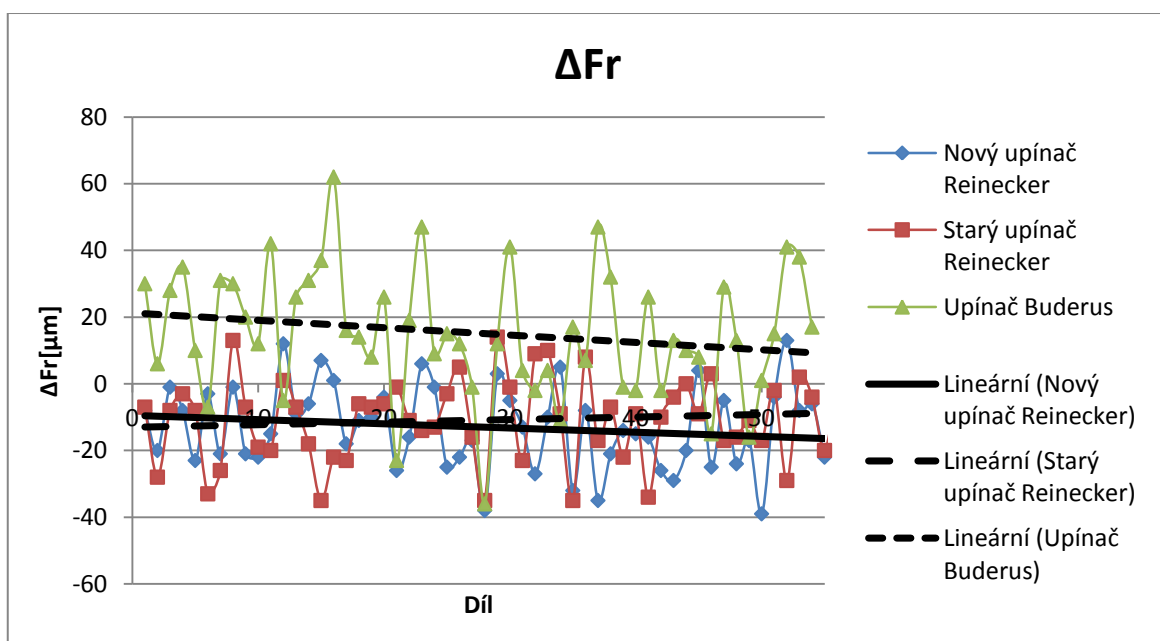
Obrázek 88: Porovnání vlivu nového systému upnutí stroje Reinecker na kvalitu parametru Var fHβ (pravý bok) se stávajícími upínači



Obrázek 89: Porovnání vlivu nového systému upnutí stroje Reinecker na kvalitu ax. házení (spodní strana věnce) se stávajícími upínači

Ukazuje se, že vlivem nového systému upnutí při operaci broušení dochází k lepšímu vyrovnání kola za po operaci kalení zdeformované ozubení, které vede dokonce ke zlepšení většiny úchylek ozubení.

Problém se seřizem radiálního házení upínače, který se projevil u kol obrobených na stroji Buderus, se ani u této ani u druhé (viz kapitola 14.8.6) série upínané pomocí nového upínače nevyskytl (viz obr. 90). Seřízení upínače by tak mělo být poměrně snadno realizovatelné.



Obrázek 90: Porovnání vlivu nového systému upnutí stroje Reinecker na kvalitu radiálního házení se stávajícími upínači

#### 14.8.6 Stabilita nového upínače

Pro zjištění, zda jsou výsledky nového upínače stabilní, byla vytvořena druhá zkušební série po 55 kusech, tentokrát z jiné tavby. Ta byla opět proměřena před operací broušení centrálního otvoru a po ní. Samotné obrobení centrálního otvoru pak proběhlo měsíc po obrobení první série. Toto měření by mělo ukázat, zda nový upínač poskytuje kvalitativně dobré výsledky nezávisle na čase a tavbě.

Následující tabulky zobrazují hodnoty parametrů ozubených kol po obroušení centrálního otvoru a vlivu operace broušení:

**Tabulka 29: Hodnoty úchylek ozubení po operaci broušení centrálního otvoru na stroji Reinecker s novým upínačem (série 55ks dílu 02T 311 251 N – rozdílná tavba)**

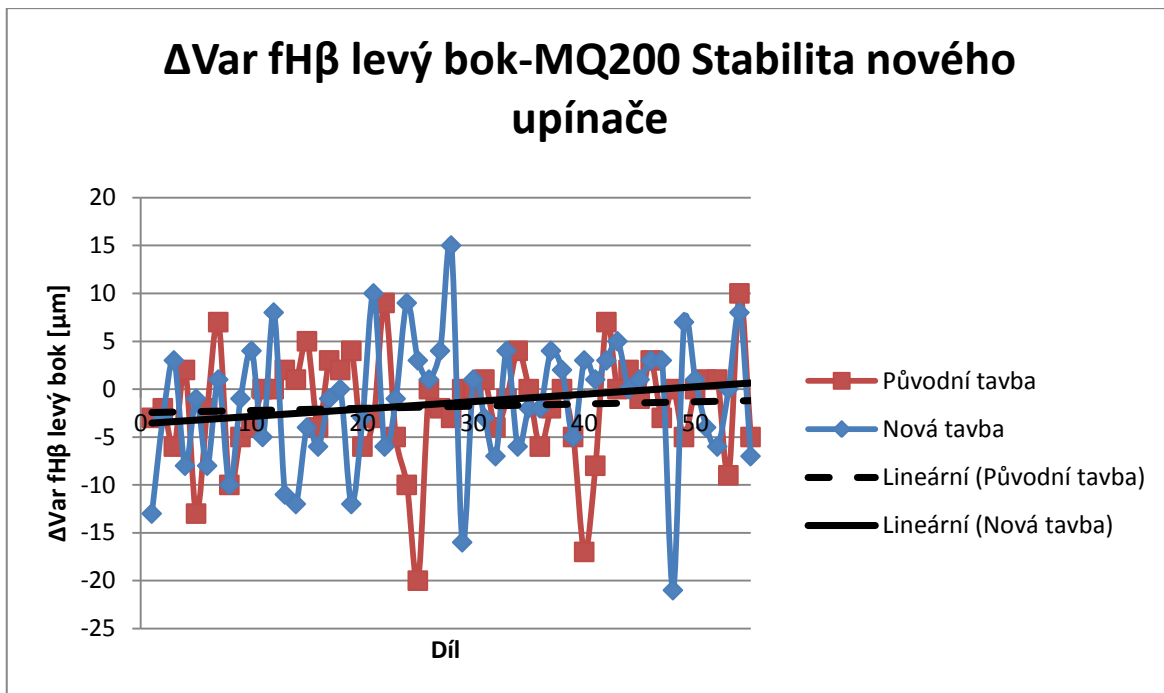
<b>Parametry kola</b>					
<b>Úchylka</b>	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>Maximální hodnota</b>	<b>Minimální hodnota</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>	<b>Rozptyl</b>
<b>fHβ Levá [μm]</b>	-23	-10	-47	9	84
<b>fHβ Pravá [μm]</b>	15	31	4	7	50
<b>Var fHβ Levá [μm]</b>	15	32	3	7	50
<b>Var fHβ Pravá [μm]</b>	16	36	4	6	37
<b>fpt Levá [μm]</b>	8	11	5	1	2
<b>fpt Pravá [μm]</b>	9	13	5	2	3
<b>Fpz/8 Levá [μm]</b>	23	43	10	6	39
<b>Fpz/8 Pravá [μm]</b>	23	38	11	6	36
<b>Fr [μm]</b>	27	41	17	4	20
<b>MdK [mm]</b>	105,764	105,786	105,725	0,016	-
<b>Ax. házení vrchní strany věnce [μm]</b>	35,2	69,1	10,7	12	144,1
<b>Ax. házení spodní strany věnce [μm]</b>	32,9	67,9	10,6	11,1	123,6
<b>Parametry synchronu</b>					
<b>fpt Levá [μm]</b>	10	17	6	3	7
<b>fpt Pravá [μm]</b>	13	29	5	5	26
<b>Fp Levá [μm]</b>	43	85	17	16	257
<b>Fp Pravá [μm]</b>	45	86	15	17	294
<b>Fr [μm]</b>	43	87	21	17	276
<b>MdK [mm]</b>	73,014	73,051	72,88	0,030	-



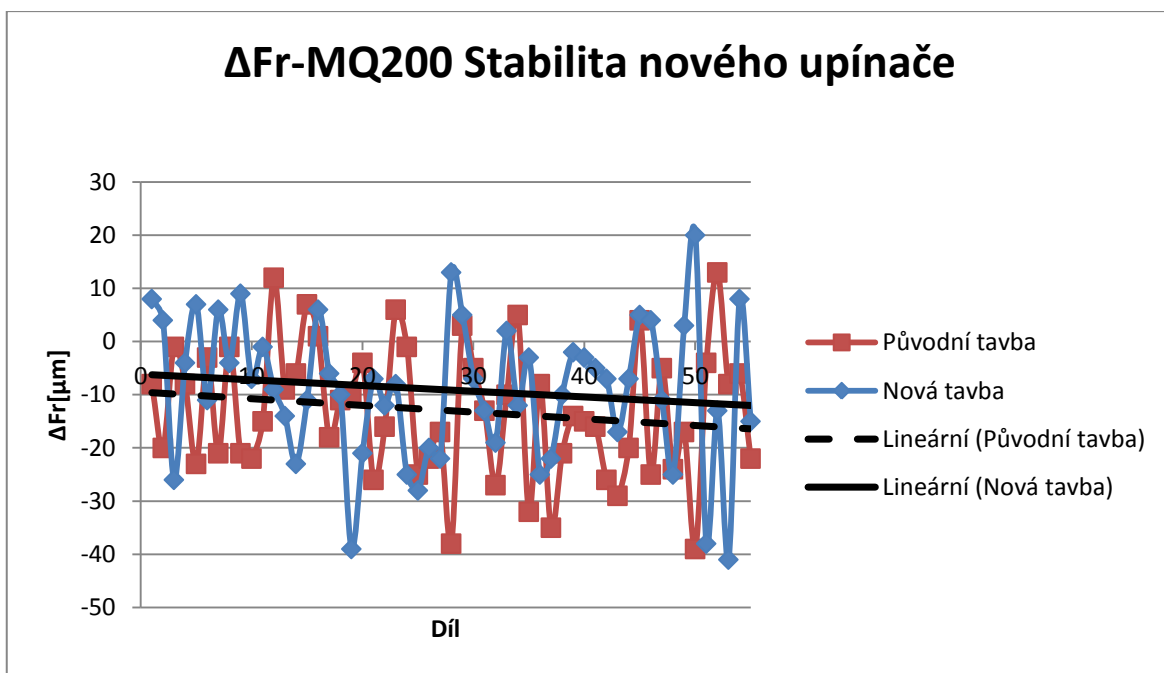
Tabulka 30: Vliv operace broušení centrálního otvoru na stroji Reinecker s novým upínačem (série 55ks dílu 02T 311 251 N- rozdílná tavba)

Parametry kola					
Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
$\Delta f_{H\beta}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	0	2	-1	1	0,40
$\Delta f_{H\beta}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	0	3	-10	2	3
$\Delta \text{Var } f_{H\beta}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	-2	15	-21	7	45
$\Delta \text{Var } f_{H\beta}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	-2	12	-28	7	45
$\Delta f_{pt}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	-1	3	-6	2	4
$\Delta f_{pt}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	-1	3	-9	2	4
$\Delta F_{pz/8}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	-7	10	-27	9	85
$\Delta F_{pz/8}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	-6	14	-26	9	77
$\Delta F_r$ [ $\mu\text{m}$ ]	-9	20	-41	13	172
$\Delta \text{MdK}$ [mm]	0,003	0,009	-0,006	0,002	-
$\Delta \text{Ax. házení vrchní strany věnce}$ [ $\mu\text{m}$ ]	-4,9	27,8	-35,2	16,3	171,1
$\Delta \text{Ax. házení spodní strany věnce}$ [ $\mu\text{m}$ ]	-3,9	24,6	-31,2	16,2	154,4
Parametry synchronu					
$\Delta f_{pt}$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	1	4	-3	1	2
$\Delta f_{pt}$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	1	4	-4	2	3
$\Delta F_p$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	14	54	-31	18	323
$\Delta F_p$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	13	59	-40	19	371
$\Delta F_r$ [ $\mu\text{m}$ ]	12	40	-23	15	214
$\Delta \text{MdK}$ [mm]	-0,005	0,001	-0,01	0,002	-

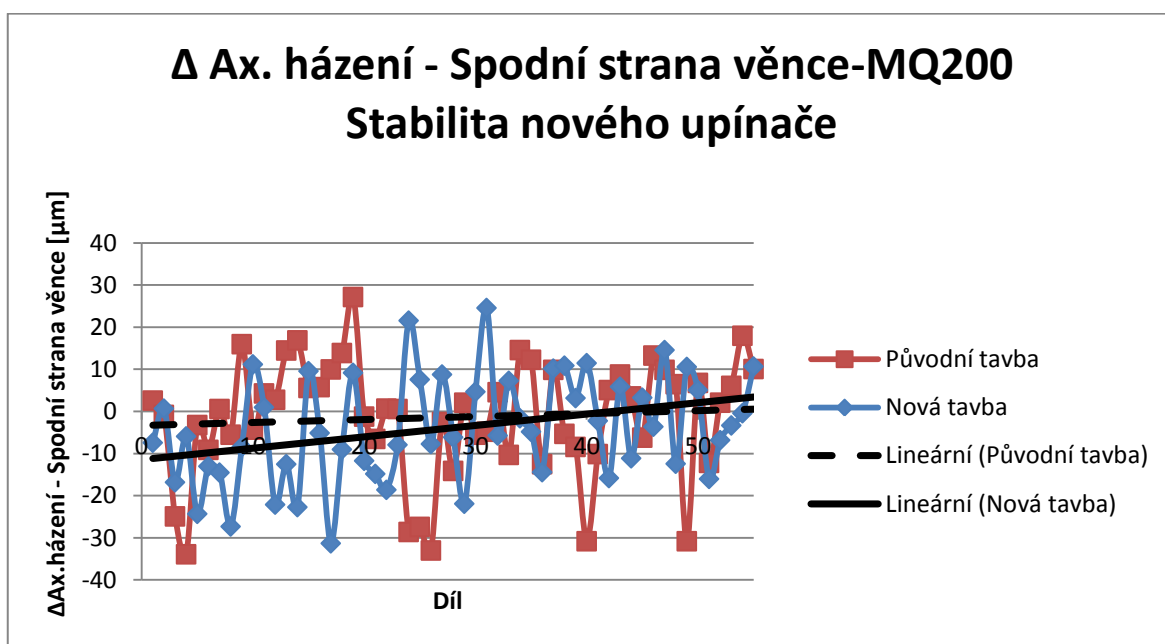
Z následujících grafů je patrné, že broušení s novým upínačem má stabilní vliv na parametry kol a není tedy závislé na tavbě ani na čase. Rozdíly vlivu mezi jednotlivými tavbami běžně nepřesahují 5  $\mu\text{m}$  (v závislosti na konkrétním parametru kola).



Obrázek 91: Stabilita nového upínače stroje Reinecker- vliv na parametr Var fHβ (levý bok)



Obrázek 92: Stabilita nového upínače stroje Reinecker- vliv na parametr Fr



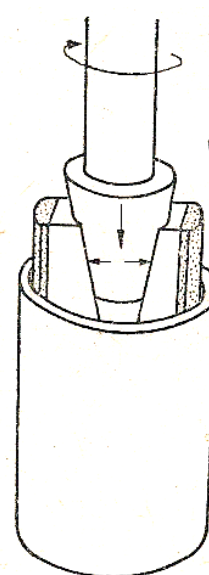
Obrázek 93: Stabilita nového upínače stroje Reinecker- vliv na parametr ax. házení (spodní strana věnce)

#### 14.9 Honování centrálního otvoru ozubených kol

Na rozdíl od kol 02T 311 251 N jsou centrální otvory ozubených kol 0CF 311 250 C převodovky MQ 100 honovány.

Honování otvorů je dokončovací proces spočívající v současném otáčivém a vratném přímočarém pohybu, který koná honovací hlavice osazená brusnými (honovacími) kameny (viz obr. 94). V minulosti bylo honování otvoru často opomíjeno, neboť neposkytovalo takovou produktivitu jako broušení. Dnešní honovací stroje už ovšem dosahují stejných taktů jako brusky.

Honováním lze dosáhnout vysoké přesnosti v mezích 2 až 5 μm a kvality povrchu Ra až 0,025 μm. Po honování zůstávají na povrchu charakteristické křížové stopy. Obrovskou výhodou honování oproti konkurenční technologii broušení je fakt, že kola během procesu není třeba upínat za po kalrně zdeformované boky zubů. Honovací hlavice si sama během obráběcího procesu svým pohybem vystředuje osu kola v souladu se svou osou. Honování není ovšem schopno opravit polohu osy obráběného otvoru, byla-li v předcházejících operacích vytvořena nepřesně [49,50].



Obrázek 94: Schéma honování otvorů [50]

### 14.9.1 Honování centrálních otvorů kol 0CF 311 250 C (MQ 100)

Honování centrálního otvoru kol 0CF 311 250 C převodovky MQ 100 je prováděno na strojích Gehring L2-630-45 (viz obr. 95). Jedná se o stroj, který je určen speciálně pro honování centrálních otvorů ozubených kol. Honovací stroj Gehring L2-630-45 je schopen honovat otvory v rozmezí průměrů 3-90 mm. Maximální otáčky vřetene stroje činí 4500 ot/min [50].



Obrázek 95: Gehring L2-630-45

Během honování centrálního otvoru je kolo položeno na spodním čele nábojky a je automaticky vystředováno za průměr centrálního otvoru. Honovací hlavice se otáčí 1200 ot/min a současně osciluje rychlostí 20 m/min. Celý proces probíhá ve dvou krocích - hrubování a obrábění na čisto, které se liší především silou rozpínání honovací hlavice, tzv. tlačnou silou. Ta v případě hrubování činí 370 N a pro obrábění na čisto potom dosahuje hodnoty 200 N [36].

Nevýhodou oproti technologii broušení otvorů používané ve ŠKODA AUTO a.s. u dílů převodovky MQ 200 (02 T 311 251 N) je, že synchronní kužel není možné opracovat ve stejné operaci spolu s honováním centrálního otvoru a musí tak být zvlášť broušen. Synchronní kužel je broušen na stroji Buderus 235 IA-T-SL. Během této operace je kolo upnuto za centrální otvor a podepřeno za spodní stranu nábojky. Broušení kužele je prováděno kotoučem o průměru 400 mm. Obvodová rychlost broušení dosahuje 65 m/s při otáčkách obrobku 380 ot/min [36].

Série 50 kol 0CF 311 250 C byla opět proměřena před (po tepelném zpracování) a po operaci honování centrálního otvoru. Takto bylo možné určit vliv technologie honování na kvalitu parametrů ozubení a porovnat honování centrálního otvoru s technologií broušení otvorů.

Po honování centrálních otvorů kol byly naměřeny následující hodnoty:

Tabulka 31: Hodnoty úchylek ozubení po operaci honování centrálního otvoru (série 50ks dílu OCF 311 250 C)

Parametry kola					
Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
fHβ Levá [μm]	-1	8	-20	6	35
fHβ Pravá [μm]	5	29	-3	7	46
Var fHβ Levá [μm]	19	44	2	10	107
Var fHβ Pravá [μm]	22	41	2	10	103
fpt Levá [μm]	11	16	6	2	6
fpt Pravá [μm]	13	21	9	3	7
Fpz/8 Levá [μm]	35	62	13	13	157
Fpz/8 Pravá [μm]	36	68	9	13	167
Fr [μm]	46	71	17	13	170
MdK [mm]	105,213	105,226	105,191	0,007	-
Ax. házení vrchní strany věnce [μm]	56,1	146,1	22,2	23,3	543,9
Ax. házení spodní strany věnce [μm]	45,1	90,4	14,2	15,9	252,9
Ax. házení nábojky [μm]	9,4	18	4	3,2	10,3

Parametry synchronu					
fpt Levá [μm]	14	19	10	2	4
fpt Pravá [μm]	11	16	6	2	4
Fp Levá [μm]	118	181	73	21	440
Fp Pravá [μm]	106	188	42	26	650
Fr [μm]	80	129	49	16	264
MdK [mm]	76,397	76,430	76,362	0,018	-
Ax. házení synchronu	63,6	95,9	40,8	19,6	383,6

Vliv operace honování na kvalitu parametrů synchronního a valivého ozubení potom určuje následující tabulka:

Tabulka 32: Vliv operace honování centrálního otvoru (série 50ks dílu OCF 311 250 C)

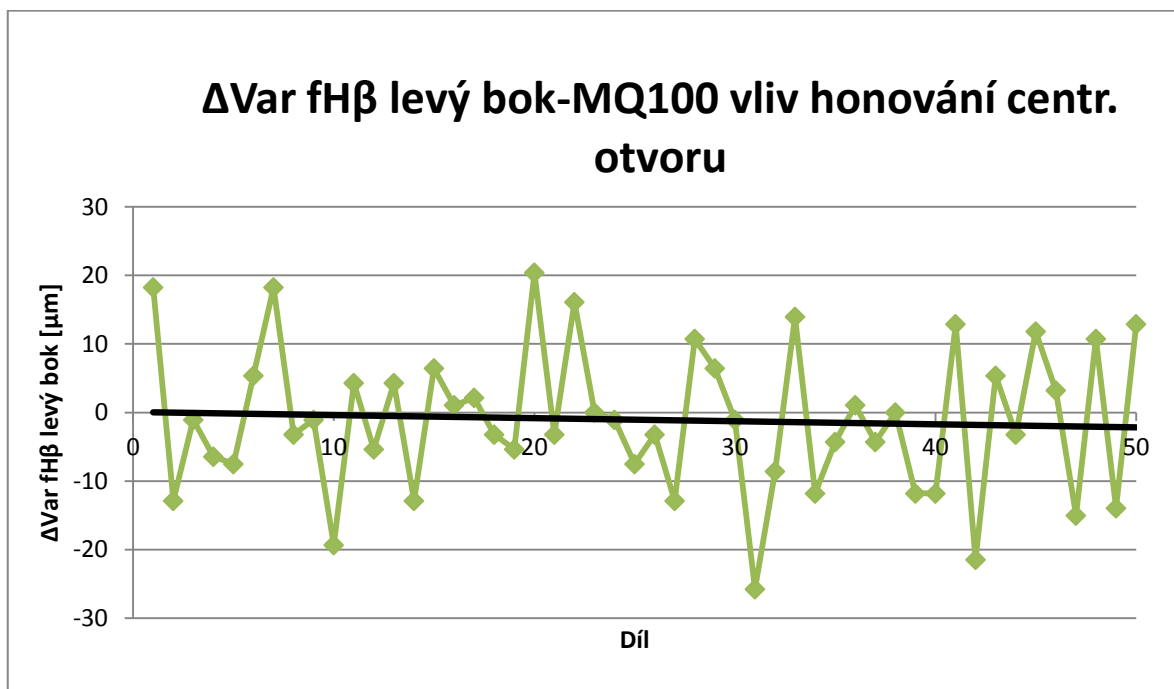
Parametry kola					
Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl
ΔfHβ Levá [μm]	-1	1	-10	1	2
ΔfHβ Pravá [μm]	0	1	-9	1	2
ΔVar fHβ Levá [μm]	-1	20	-26	11	112
ΔVar fHβ Pravá [μm]	0	23	-18	11	111
Δfpt Levá [μm]	0	4,0	-3,0	2	3
Δfpt Pravá [μm]	0	3,0	-3,0	1	2
ΔFpz/8 Levá [μm]	0	15,0	-15,0	8	68
ΔFpz/8 Pravá [μm]	1	16,0	-13,0	7	49
ΔFr [μm]	-2	19,0	-25,0	9	77
ΔMdK [mm]	0	0,011	-0,007	0,003	-

$\Delta Ax.$ házení vrchní strany věnce [ $\mu m$ ]	0	72,6	-77,7	26,5	701,5
$\Delta Ax.$ házení spodní strany věnce [ $\mu m$ ]	0	62,1	-43,5	23,5	551,2
$\Delta Ax.$ házení nábojky [ $\mu m$ ]	-1	10,0	-20,0	5,4	29,0

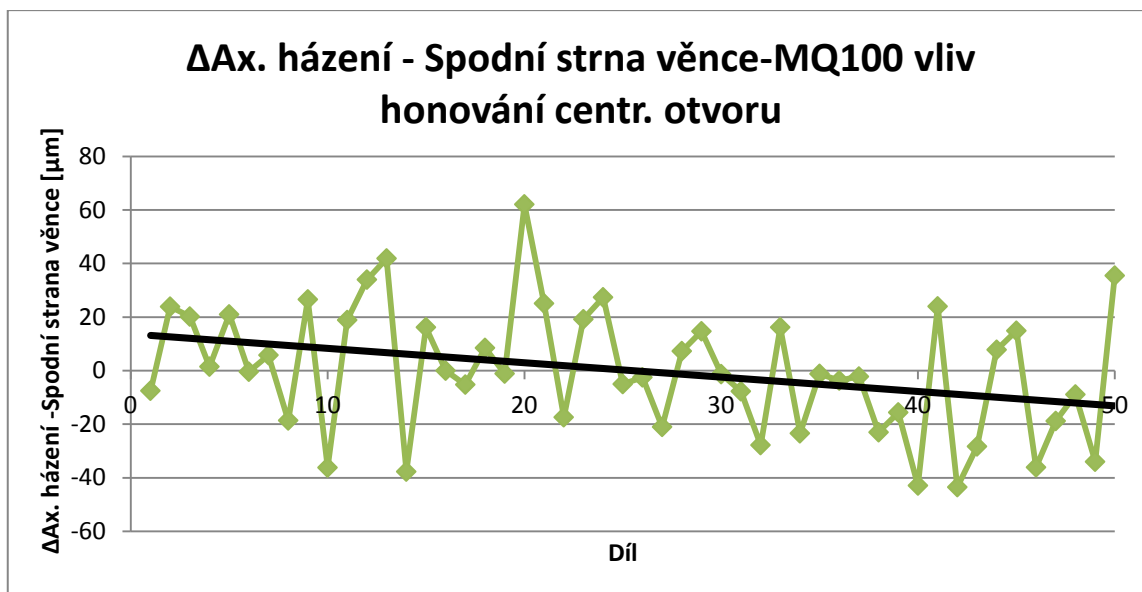
**Parametry synchronu**

$\Delta f_{pt}$ Levá [ $\mu m$ ]	0	2,0	-2,0	1	1
$\Delta f_{pt}$ Pravá [ $\mu m$ ]	0	2,0	-2,0	1	1
$\Delta F_p$ Levá [ $\mu m$ ]	0	22,0	-22,0	10	110
$\Delta F_p$ Pravá [ $\mu m$ ]	3	39,0	-28,0	12	156
$\Delta F_r$ [ $\mu m$ ]	2	30,0	-21,0	10	96
$\Delta MdK$ [mm]	0,008	0,015	0,001	0,003	-
$\Delta Ax.$ házení synchronu [ $\mu m$ ]	1,5	26,2	-21,4	7,0	48,4

Jak je z předešlých tabulek zřejmé, průměrný vliv technologie honování otvorů na jednotlivé parametry ozubení kol je téměř nulový. Technologie však vykazuje jistou nestabilitu (viz obr. 96 a 97). Především pak u parametrů  $\Delta Var f_{H\beta}$ , a axiálního házení věnce ozubených kol je stabilita poněkud horší ve srovnání s technologií broušení centrálního otvoru (s výjimkou stroje Reinecker při použití původního upínače).



**Obrázek 96: Vliv operace honování centrálního otvoru na úchytky  $\Delta Var f_{H\beta}$  (levý bok)**

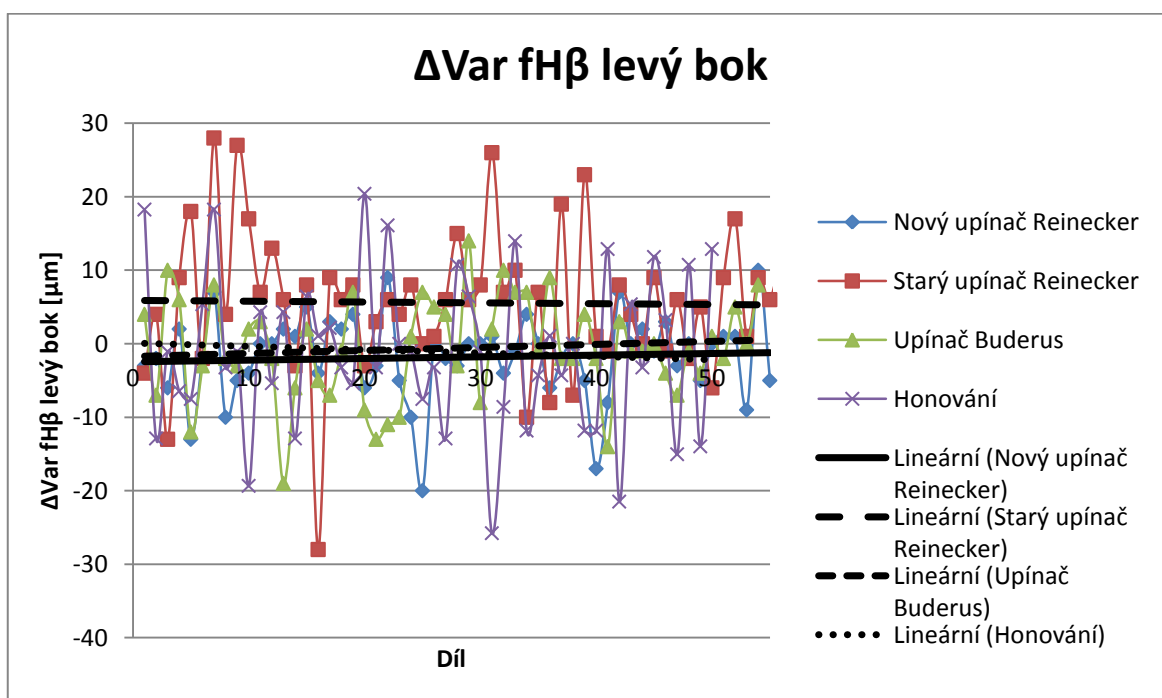


Obrázek 97: Vliv operace honování centrálního otvoru na ax. házení věnců kol (spodní strana)

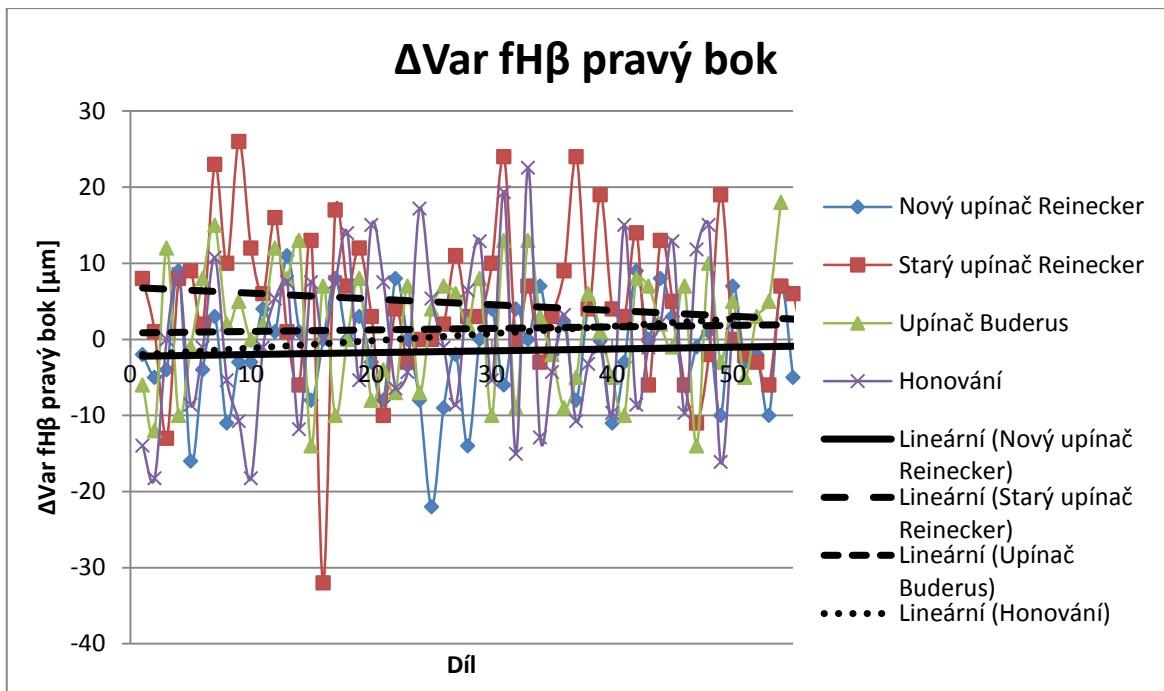
#### 14.10 Porovnání technologie honování a broušení centrálních otvorů ozubených kol

Honováním centrálních otvorů kol dojde k relativně přesnému obnovení původní soustružené díry kola. Teoreticky by tedy měla být tato technologie přesnější než broušení centrálních otvorů. V praxi jsou ovšem jak ozubení kol, tak i samotné centrální otvory po operaci kalení znatelně zdeformované. Honování otvorů přitom není schopno vždy napravit chyby předchozích operací a naopak je zachovává a kopíruje.

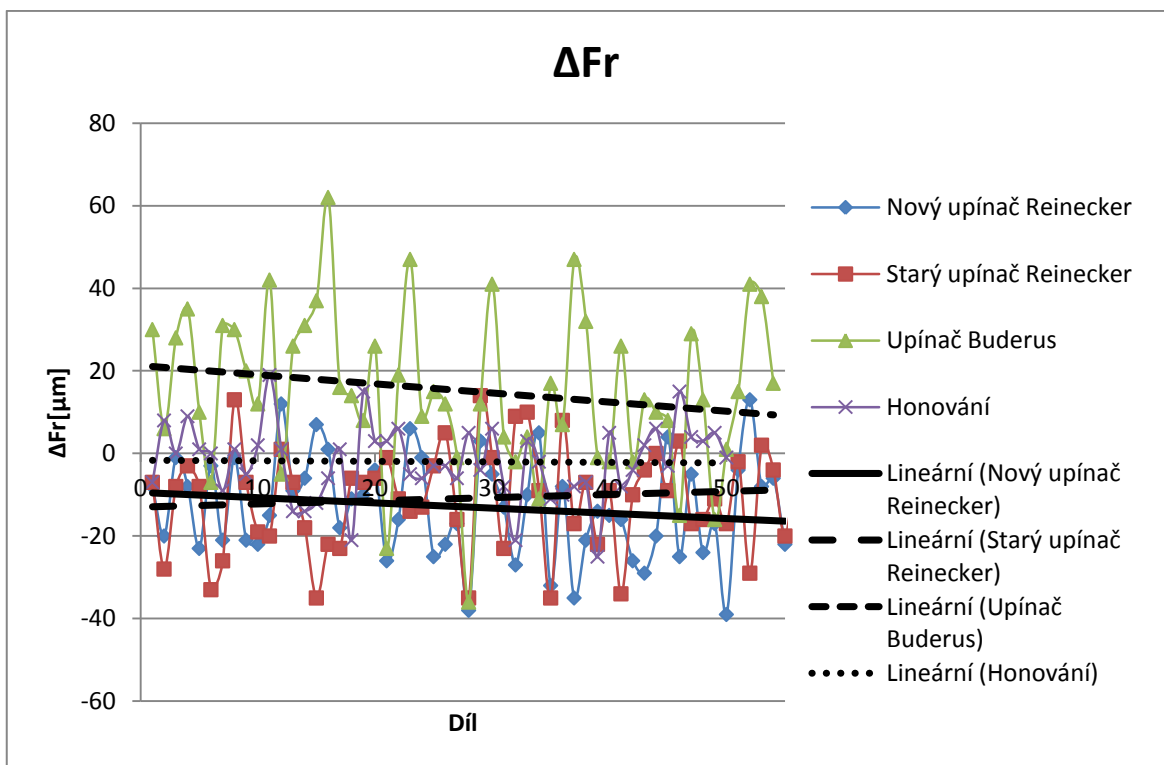
Následující grafy porovnávají vliv jednotlivých technologií na parametry ozubení:



Obrázek 98: Porovnání vlivu technologií opracování centr. otvoru na úchytky Var fHβ (levý bok)

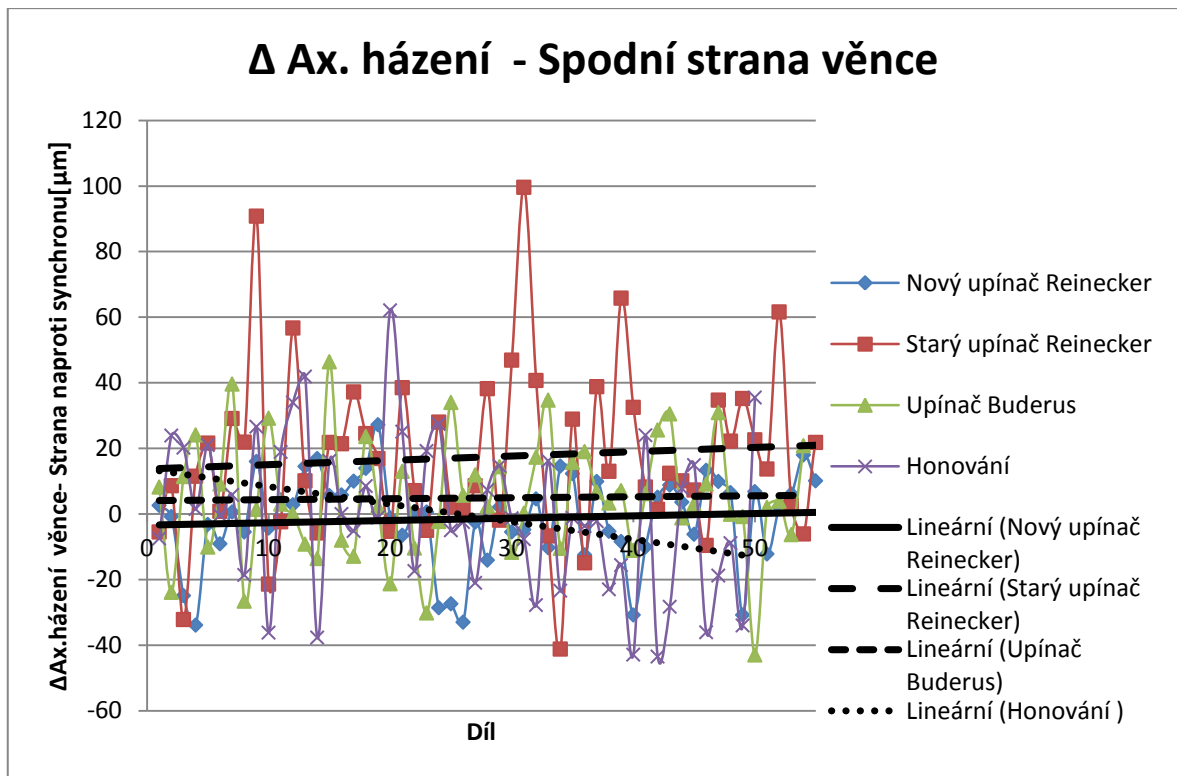


Obrázek 99: Porovnání vlivu technologií opracování centr. otvoru na úchytky Var fH $\beta$  (pravý bok)



Obrázek 100: Porovnání vlivu technologií opracování centr. otvoru na radiální házení ozubených kol





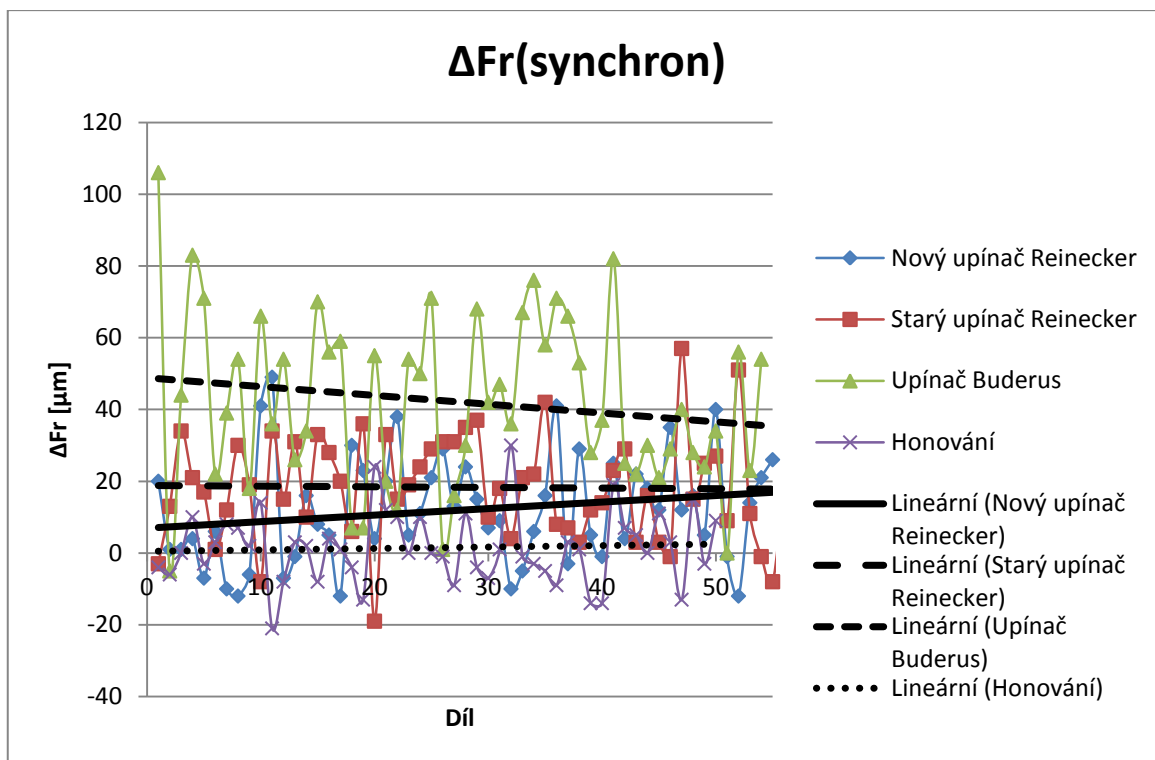
Obrázek 101: Porovnání vlivu technologií opracování centr. otvoru na ax. házení věnců kol (spodní strana)

Při porovnání se tedy zřetelně potvrzuje, že nejlepší průměrné výsledky i stabilitu poskytuje operace broušení při použití nového upínače, který při upnutí nejlépe eliminuje deformaci ozubení kol. Nejhorší výsledky i stabilitu pak prokazuje broušení na stroji Reinecker ISAA 200 při použití starého systému upnutí.

Negativní vliv broušení na stroji Buderus na radiální házení kol byl způsoben špatným seřízením upínacího systému. Za povšimnutí ovšem stojí i špatná stabilita hodnot radiálního házení. Rozpětí parametru radiálního házení zde totiž dosahuje zhruba 100 μm. Je třeba poukázat také na fakt, že vysoké hodnoty radiálního házení budou mít vliv i na kinematiku synchronního ozubení. Parametry synchronního ozubení totiž zůstanou na rozdíl od samotného radiálního házení po této operaci trvalé.

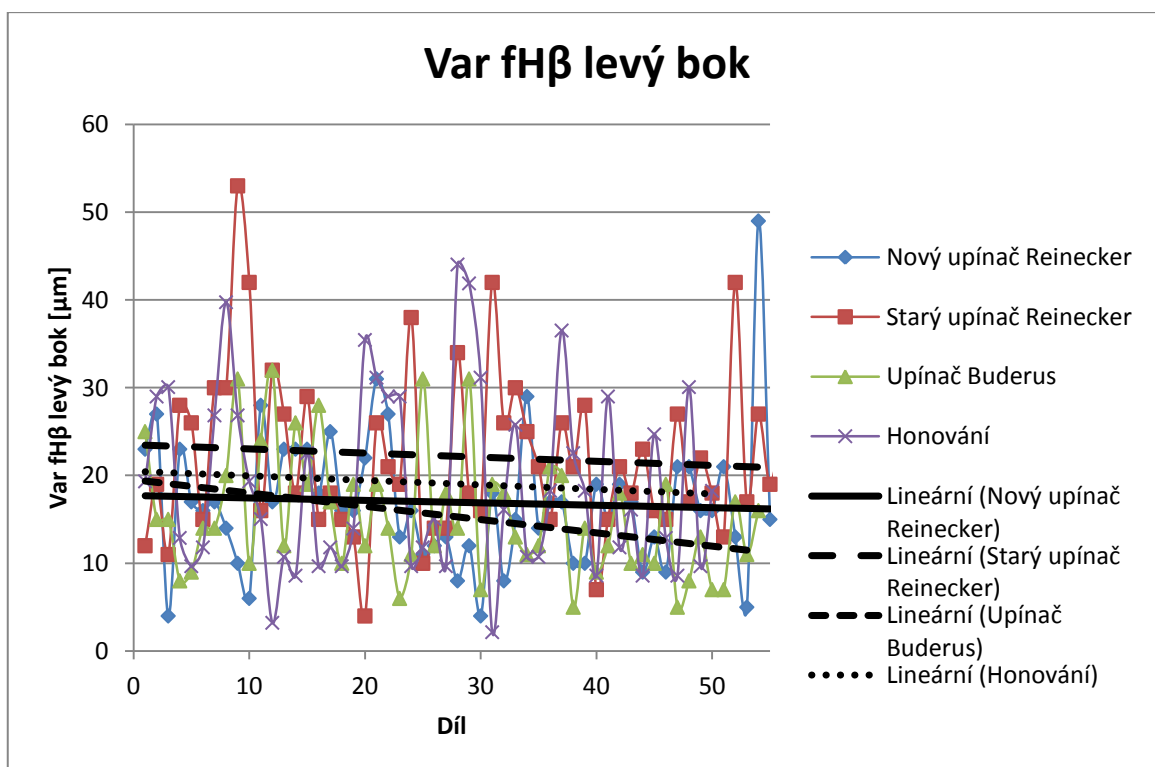
Vliv operace honování na kvalitu ozubení je potom v průměru téměř nulový. Tím se jasně potvrzuje, že výsledná kvalita ozubených kol po honování centrálních otvorů je do značné míry závislá na předchozích operacích (frézování a kalení). Honování centrálního otvoru proto vykazuje u sledovaných parametrů druhou nejhorší stabilitu. Stabilita kvality výroby je přitom u hromadné výroby zásadní.

Nižší průměrný vliv ve srovnání s broušením má potom technologie honování centrálního otvoru na parametry synchronního ozubení, jak ukazuje následující graf:

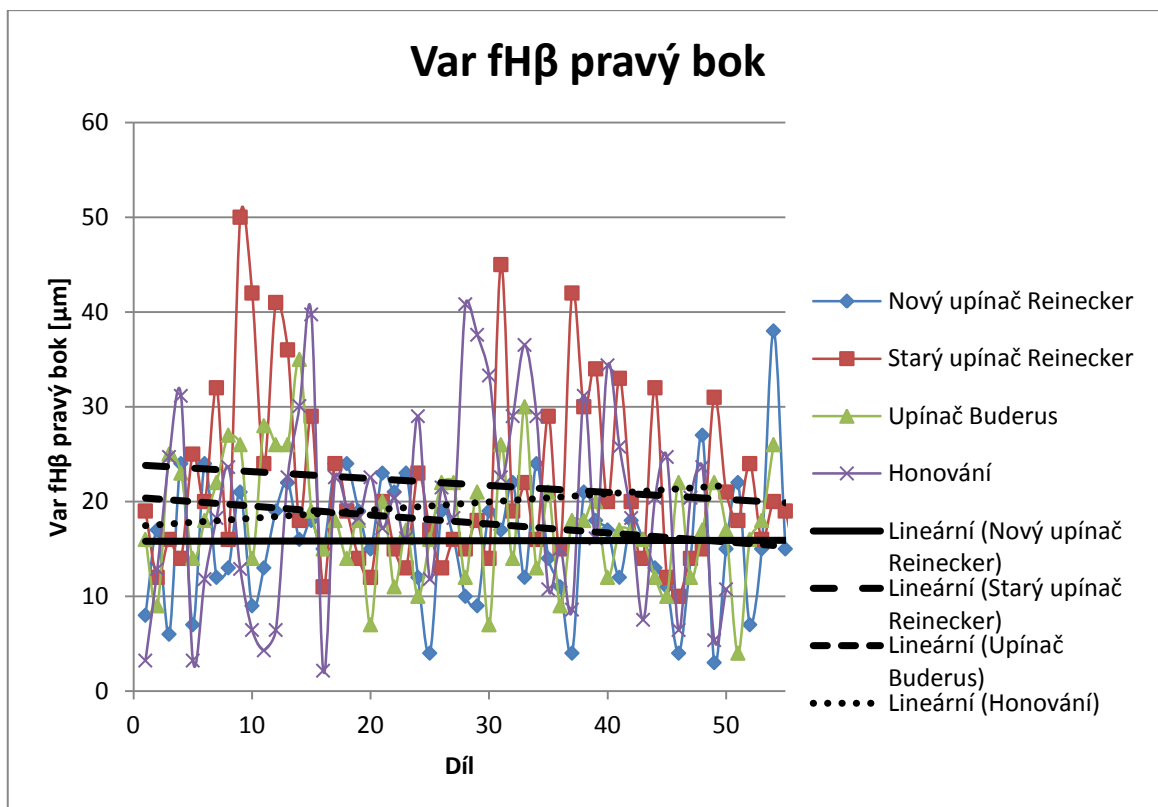


Obrázek 102: Porovnání vlivu technologií opracování centr. otvoru na radiální házení synchronního ozubení

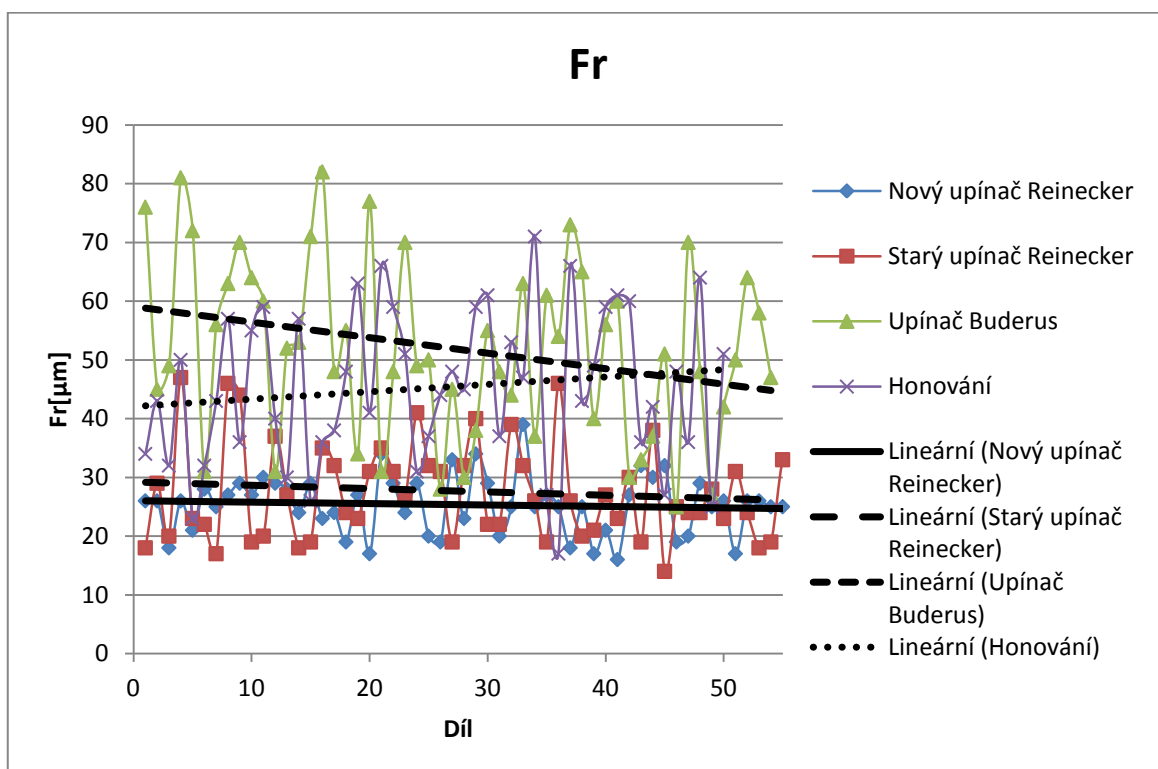
Pro lepší porovnání obou technologií jsou v práci uvedeny i grafy porovnávající absolutní hodnoty jednotlivých parametrů ozubení po opracování centrálních otvorů (viz obr. 103-106).



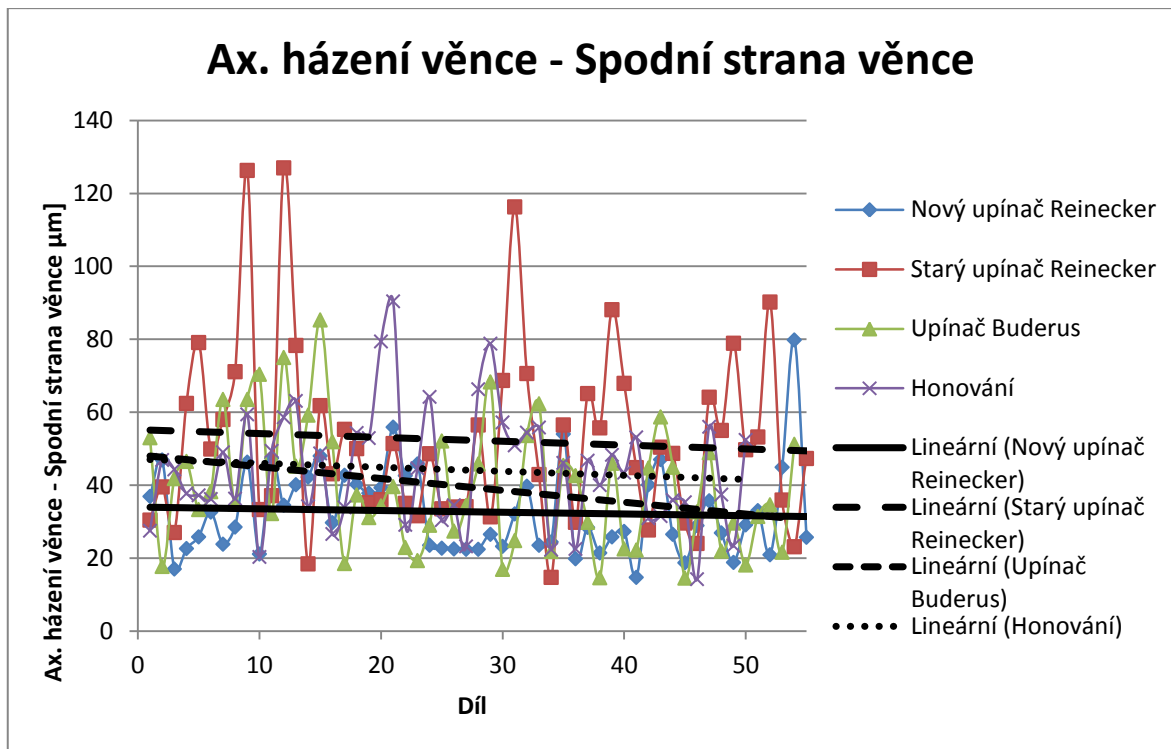
Obrázek 103: Porovnání hodnot parametru Var fHβ (levý bok) po operaci opracování centr. otvoru



Obrázek 104: Porovnání hodnot parametru Var fH $\beta$  (pravý bok) po operaci opracování centr. otvoru



Obrázek 105: Porovnání hodnot radiálního házení po operaci opracování centr. otvoru



**Obrázek 106: Porovnání hodnot ax. házení věnce (spodní strana) po operaci opracování centr. otvoru**

Výše uvedené grafy potvrzují, že broušení při použití starého upínacího systému stroje Reinecker je z možných variant kvalitativně nejhorší.

Kola s honovanými centrálními otvory se potom zdají být v současném stavu výroby v průměru kvalitativně druhou nejhorší skupinou. Rovněž stabilita dosažených hodnot jednotlivých parametrů u kol s honovanými otvory je horší, než je tomu u kol s otvory broušenými při použití nového upínače a ve většině případů i u kol broušených na stroji Buderus (byť jeho upínač nebyl řádně seřízen).

Za povšimnutí rovněž stojí vyšší hodnoty radiálního házení kol s honovanými otvory. Hodnoty radiálního házení kol s honovanými a broušenými otvory nebyly přitom po operacích kalení tak rozdílné. Zde se nejedná o zhoršení kvality způsobené honováním centrálních otvorů, ale naopak o zlepšení hodnot radiálního házení v důsledku operace broušení centrálních otvorů (zlepšení v průměru zhruba o 10 µm). I z tohoto důvodu je tedy lepší použít pro tuto operaci technologii broušení otvorů.

Technologie broušení centrálního otvoru (zvláště při použití nového systému upnutí stroje Reinecker) se tak ukázala být pro toto konkrétní použití kvalitativně lepší než technologie honování. Ve výsledku ovšem není vliv obou technologií na kvalitu ozubení výrazně odlišný. Pro upínací systém stroje Buderus je třeba do budoucna zjistit, zda při správném seřízení poskytuje stabilnější výsledný vliv na hodnotu radiálního házení. Potom by broušení s tímto systémem upnutí poskytovalo podobné výsledky jako broušení na stroji Reinecker s novým upínačem.

Pro kola s ozubením opracovávaným za měkka je operace opracování centrálního otvoru rovněž operací konečnou. Lze pro ně tedy jednoznačně označit technologii broušení centrálního ozubení jako kvalitativně vhodnější variantu. Ozubená kola se ševingovaným

ozubením by navíc vstupovala do operace broušení otvorů s přesněji vytvořeným valivým ozubením, které během této operace slouží jako upínací základna. Pro tato kola lze tedy při použití technologie broušení otvorů očekávat dokonce stabilnější výsledky.

Výsledná kvalita kol s ozubením opracovávaným za tvrda bude ještě výrazně ovlivněna následující operací honování ozubení.

#### **14.11 Honování ozubení**

Poslední operací, po které byly měřeny parametry obou ozubení a zároveň i poslední výrobní operací celého výrobního cyklu ozubení obou kol je operace honování ozubení.

Ozubení obou porovnávaných kol jsou honována a kvalitativní data po honování ozubení tak zde není možné porovnat s jinou variantou například v podobě broušení ozubení. Cílem této kapitoly je tak především zhodnotit vliv honování na kvalitu jednotlivých parametrů ozubení a určit, které parametry kol je možno touto operací zlepšit, nebo i eventuálně opravit, a které nikoli. Důležitým bodem potom bude zjištění závislosti kvality dílů po operaci honování ozubení v závislosti na zvolené technologii opracování centrálních otvorů.

Honování ozubení je dokončovací operace pro zakalené ozubení. Od metody broušení ozubení se liší kinematikou nástroje. Nástroj má podobu kola s vnějším nebo vnitřním ozubením (Ve ŠKODA AUTO a.s. jsou používány nástroje s vnitřním ozubením.). Honovací nástroj je v kontaktu s honovaným kolem a koná rotační pohyb kolem své osy při současném vratném posuvném pohybu ve směru své osy.

Nástroj se skládá z brusných zrn geometricky nedefinovatelných tvarů spojených pojivem. Honování ozubení lze na funkčních plochách dosáhnout drsnosti až  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$  [49,52].

##### **14.11.1 Honování ozubení kol 02T 311 251 N (MQ 200) a 0CF 311 250 C (MQ 100)**

Ozubení obou zkoumaných kol je honováno na strojích Prävema 205 HS (viz obr. 107). Tento honovací stroj je schopen obrábět ozubení o průměru do 150 mm. Upnutí kol je při této operaci realizováno rovněž za centrální otvor s podepřením za spodní stranu nábojky kola. Nástrojem je honovací kolo s vnitřním ozubením a úhlem záběru  $20^\circ$  [36,53].



Obrázek 107: Stroj Prävema 205 HS [4]

Díly OCF 311 250 C jsou honovány při otáčkách vřetene 3100 ot/min, pracovním posuvu 1,5 mm/min a současné oscilaci nástroje o  $\pm 1,5$  mm v ose Z rychlostí 230 mm/min [36].

Ozubení dílů 02T 311 251 N převodovky MQ 200 je potom honováno při otáčkách 2095 ot/min, pracovním posuvu 1,8 mm/min a oscilaci o  $\pm 2$  mm rychlostí 200 mm/min [36].

Pro zjištění vlivu honování nebyla po této operaci měřena všechna kola, ale ze sérií 50 kol OCF 311 250 C a 110 kol 02T 311 251 N bylo vybráno vždy po 12 kolech. Vybrána byla především kola, která vykazovala závažně vysokou hodnotu jedné, či více úchylek kol. V kontrastu k těmto dílům bylo vybráno i několik kvalitativně vyhovujících kol.

Následující tabulka postihuje důvod volby jednotlivých měřených dílů:

**Tabulka 33: Výběr dílů pro operaci honování ozubení**

02T 311 251 N		OCF 311 250 C	
Číslo dílu	Problémový parametr kola	Číslo dílu	Problémový parametr kola
4	fH $\beta$ Levá, Fpz/8 Levá, Fpz/8 Pravá	8	fH $\beta$ Pravá, Var fH $\beta$ Levá, Fpz/8 Levá, Fpz/8 Pravá
12	fH $\beta$ Levá, fH $\beta$ Pravá, Fr	12	Bezchybný díl (pro porovnání)
17	Var fH $\beta$ Levá, Var fH $\beta$ Pravá, Fpz/8 Levá, Fpz/8 Pravá, Ax. Házení – vrchní str. věnce, Ax. Házení – spodní str. věnce	15	Var fH $\beta$ Pravá
20	fH $\beta$ Levá, Var fH $\beta$ Pravá, Fpz/8 Levá, Fpz/8 Pravá, Ax. Házení – vrchní str. věnce, Ax. Házení – spodní str. věnce	16	Bezchybný díl (pro porovnání)
22	Bezchybný díl (pro porovnání)	19	Bezchybný díl (pro porovnání)
32	fH $\beta$ Levá, Fr	21	Fr, Ax. Házení – vrchní str. věnce, Ax. Házení – spodní str. věnce
36	Bezchybný díl (pro porovnání)	28	Var fH $\beta$ Levá, Var fH $\beta$ Pravá, Ax. Házení – vrchní str. věnce
55	Var fH $\beta$ Levá, Var fH $\beta$ Pravá, Ax. Házení – vrchní str. věnce, Ax. Házení – spodní str. věnce	31	Ax. Házení – vrchní str. věnce
66	Bezchybný díl (pro porovnání)	34	Var fH $\beta$ Levá, Fr
71	Ax. Házení – vrchní str. věnce	37	Fpz/8 Levá, Fpz/8 Pravá, Fr
78	Bezchybný díl (pro porovnání)	45	Bezchybný díl (pro porovnání)
107	Bezchybný díl (pro porovnání)	46	Bezchybný díl (pro porovnání)

Po honování ozubení byly naměřeny následující hodnoty úchylek valivého ozubení kol:

Pro díly 0CF 311 250 C:

Tabulka 34: Hodnoty parametrů ozubení po operaci honování ozubení (12 kol série 50ks dílu 0CF 311 250 C)

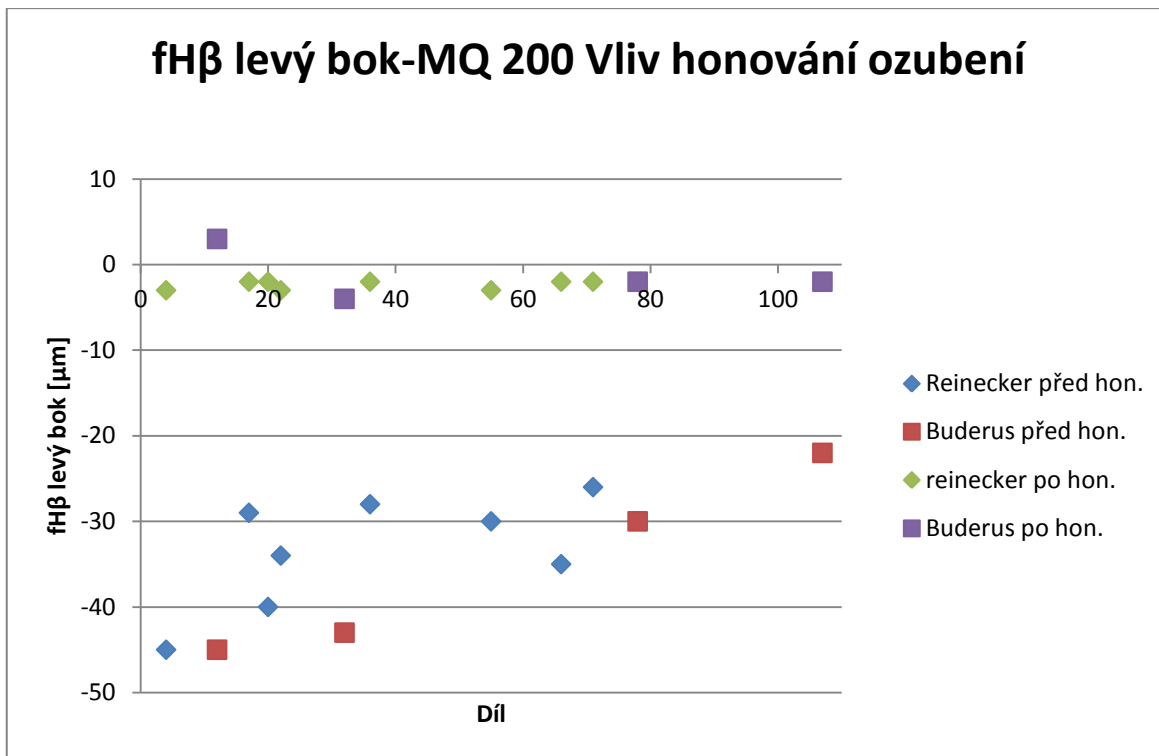
Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka výběru	Rozptyl výběru
fH $\beta$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	3	3	2	1	0
fH $\beta$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	0	1	-1	1	0
Var fH $\beta$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	7	10	4	2	4
Var fH $\beta$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	8	10	4	2	3
Fpz/8 Levá [ $\mu\text{m}$ ]	13	23	4	6	34
Fpz/8 Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	15	30	5	7	48
Fr [ $\mu\text{m}$ ]	11	21	6	4	18
Ax. házení vrchní strany věnce [ $\mu\text{m}$ ]	59,2	89,1	28,1	20,4	415,8
Ax. házení spodní strany věnce [ $\mu\text{m}$ ]	51,5	90,9	29,2	19,0	360,4

Pro díly 02T 311 251 N:

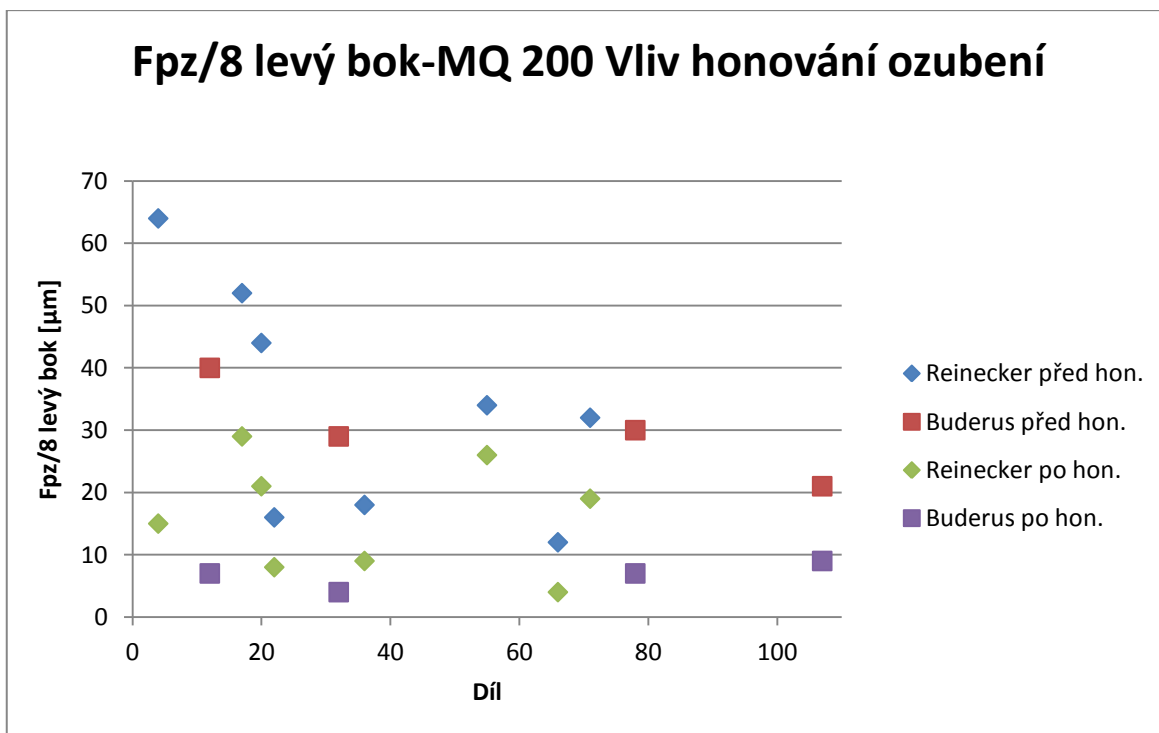
Tabulka 35: Hodnoty parametrů ozubení po operaci honování ozubení (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N)

Úchylka	Průměrná hodnota	Maximální hodnota	Minimální hodnota	Směrodatná odchylka výběru	Rozptyl výběru
fH $\beta$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	-2	3	-4	2	3
fH $\beta$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	1	2	0	1	0
Var fH $\beta$ Levá [ $\mu\text{m}$ ]	18	39	2	13	180
Var fH $\beta$ Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	18	45	2	13	182
Fpz/8 Levá [ $\mu\text{m}$ ]	13	29	4	9	75
Fpz/8 Pravá [ $\mu\text{m}$ ]	16	32	4	10	90
Fr [ $\mu\text{m}$ ]	12	18	5	4	15
Ax. házení vrchní strany věnce [ $\mu\text{m}$ ]	58,1	132,5	17,7	34,3	1178,9
Ax. házení spodní strany věnce [ $\mu\text{m}$ ]	55,1	123,6	8,7	38,3	1468,1

Jak je z naměřených hodnot patrné, technologie honování ozubení kol dokáže výrazně snížit, nebo zcela odstranit úchylky úhlu sklonu zubů  $f_{H\beta}$ , součtové úchylky roztečí za 1/8 kola a v návaznosti na úchylky roztečí snížit i hodnotu radiálního házení (viz obr. 108 -110).

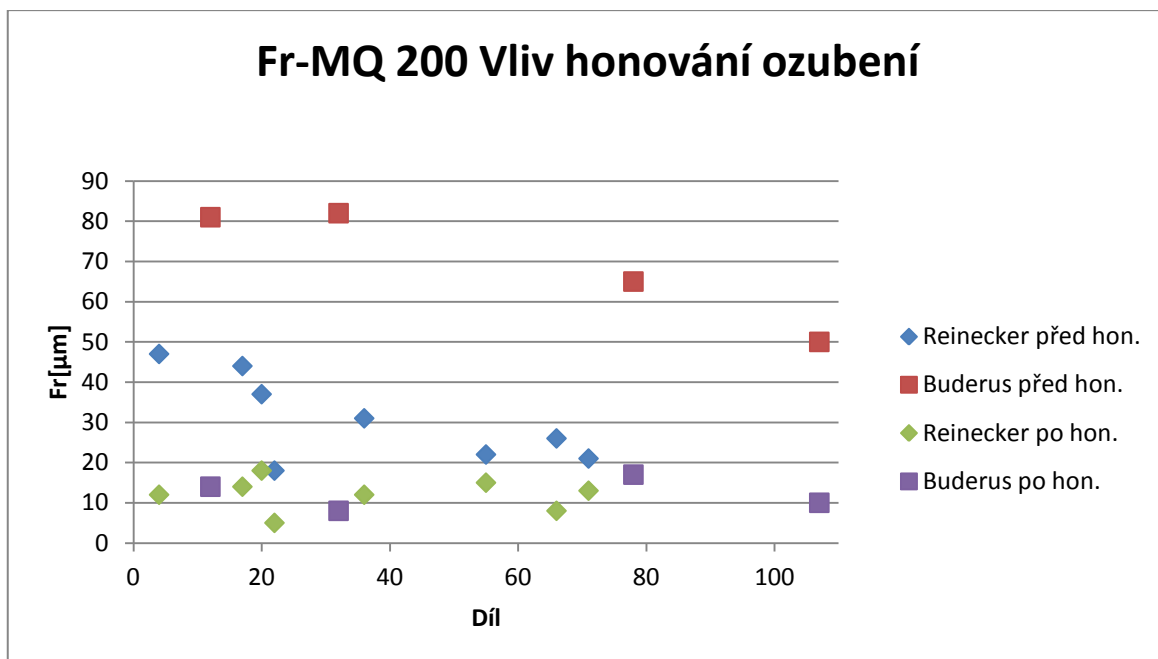


Obrázek 108: Vliv honování ozubení na parametr fH $\beta$  (levý bok) - (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N)



Obrázek 109: Vliv honování ozubení na parametr Fpz/8 (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N)

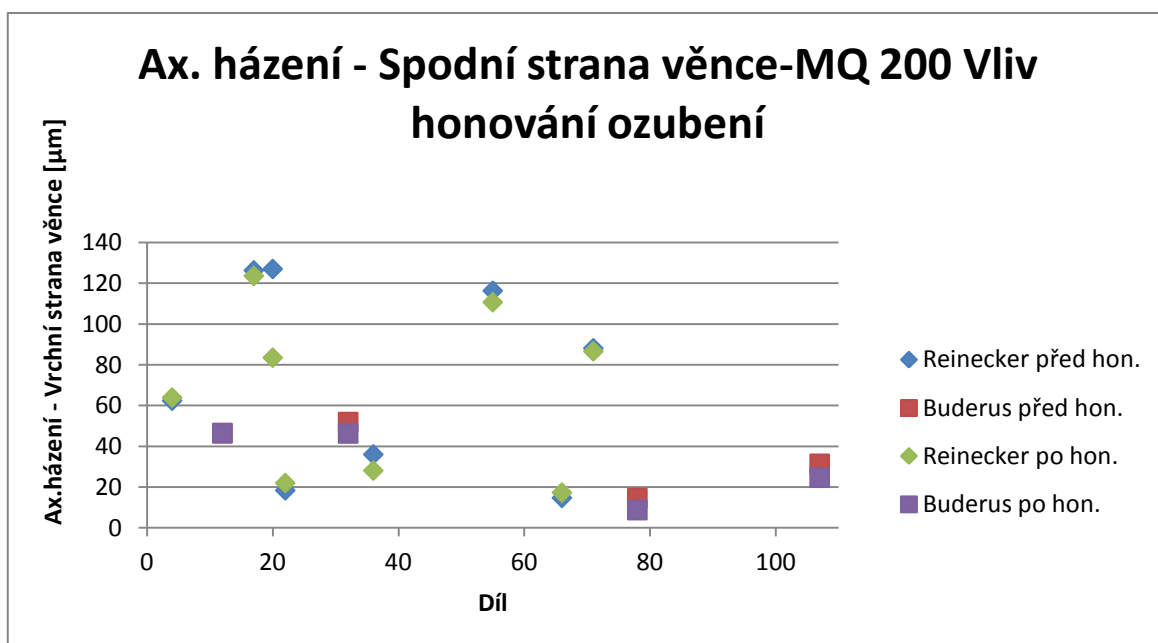




Obrázek 110: Vliv honování ozubení na radiální házení (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N)

Obdobné závislosti potom můžeme pozorovat i u ozubených kol 0CF 311 250 C.

Honování ozubení samozřejmě nemá žádný vliv na hodnoty axiálního házení spodní strany ozubeného věnce a nábojky a níže uvedené minimální rozdíly jsou tedy pouze chybou měření, resp. upnutí dílů během měření (viz obr. 111).

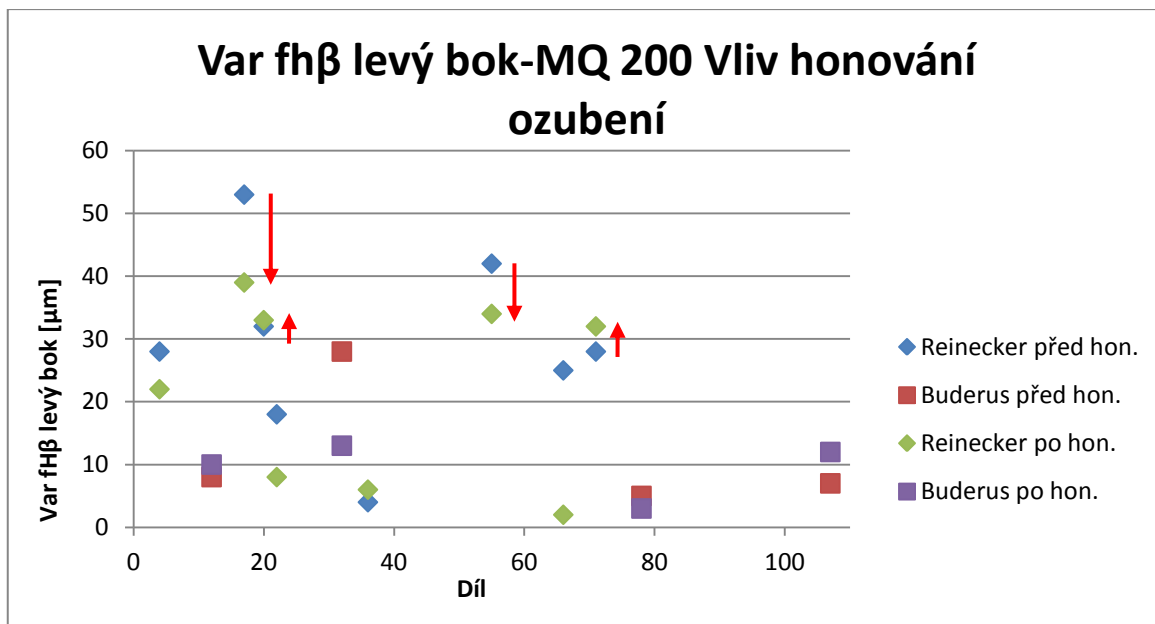


Obrázek 111: Vliv honování ozubení na ax. házení věnce (spodní strana) - (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N)

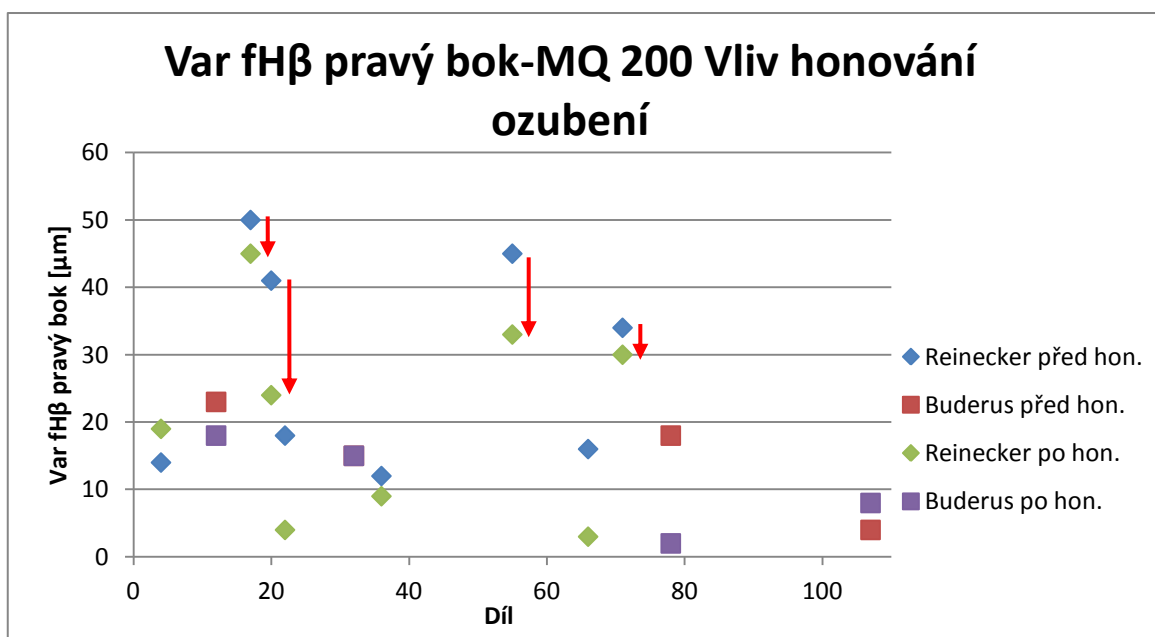
Je tedy třeba zamezit vzniku axiálního házení ještě během předešlých operací.

## 14.12 Vliv opracování centrálního otvoru na průběh honování ozubení a výslednou kvalitu dílů

Při porovnání vlivu honování ozubení na parametr variability úhlu sklonu valivého ozubení  $\text{Var } f_{H\beta}$  u kol s broušenými centrálními otvory si můžeme všimnout několika dílů, u nichž nedochází v důsledku této operace k adekvátnímu zlepšení jako u dílů s honovaným centrálním otvorem. Nedostatečné zlepšení (resp. i zhoršení) parametru  $\text{Var } f_{H\beta}$  u čtyř kol je v následujících grafech znázorněno červenými šipkami (viz obr. 112 a 113).



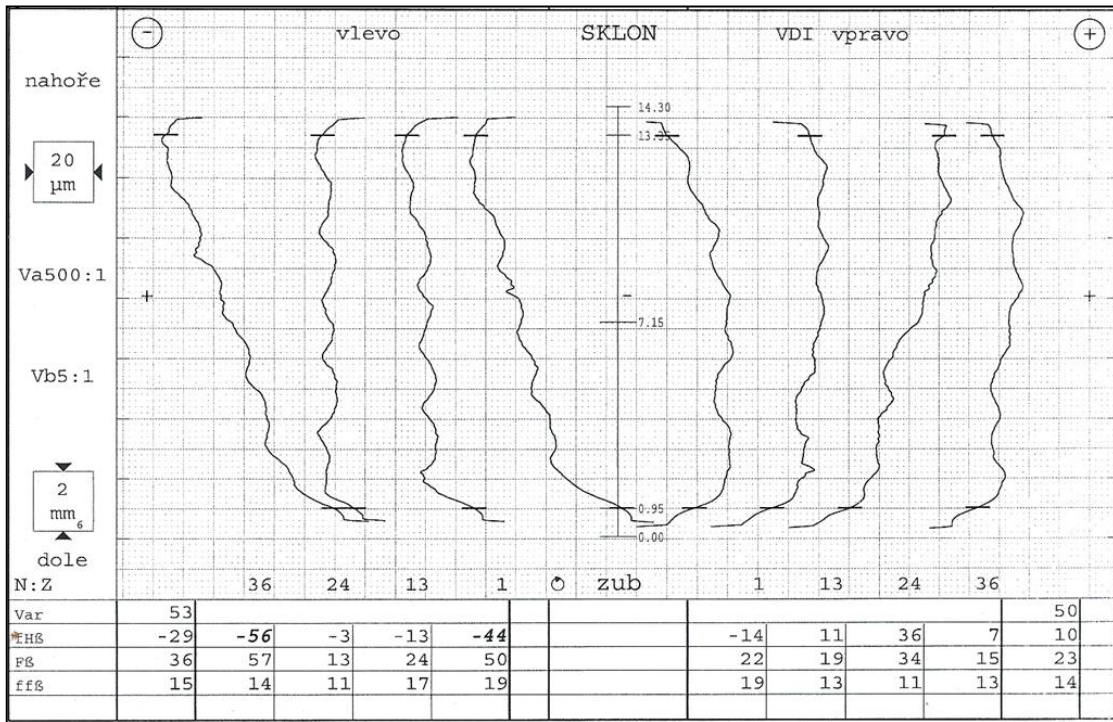
Obrázek 112: Vliv honování ozubení kol s broušeným centr. otvorem na parametr  $\text{Var } f_{H\beta}$  (levý bok) - (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N)



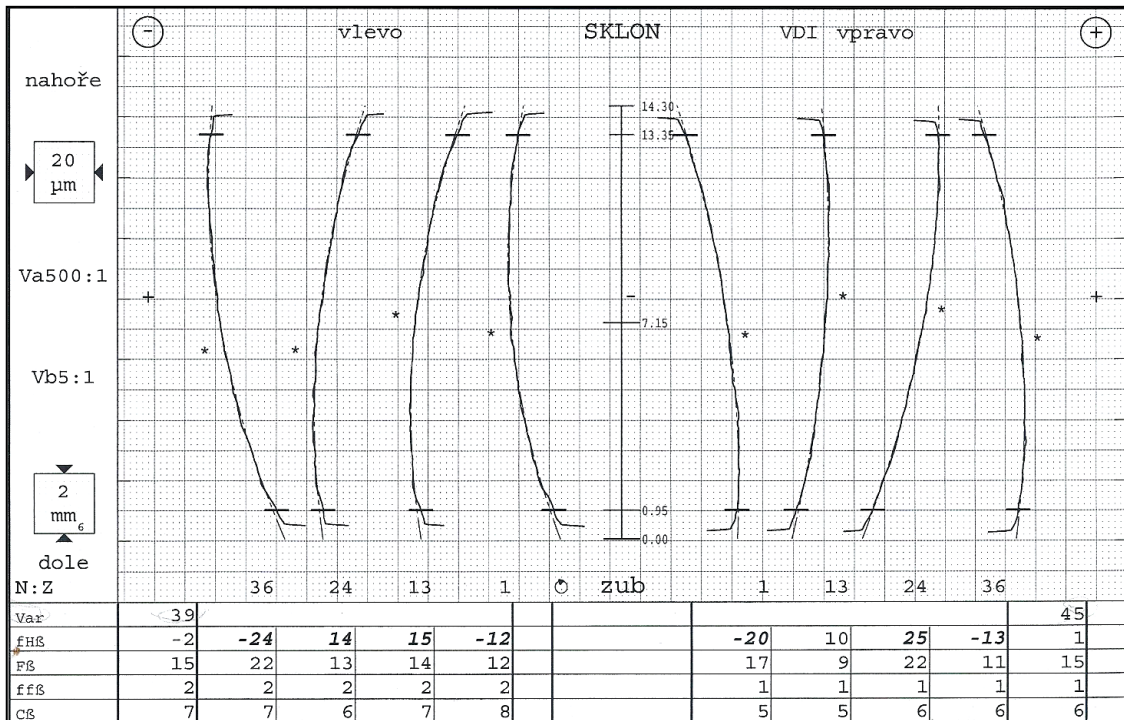
Obrázek 113: Vliv honování ozubení kol s broušeným centr. otvorem na parametr  $\text{Var } f_{H\beta}$  (pravý bok) - (12 kol série 110ks dílu 02T 311 251 N)

Variabilitu úhlu sklonu se u těchto kol honováním ozubení nepovedlo zcela odstranit, pouze došlo k jejímu snížení.

Konkrétně se jedná o ozubená kola označená čísly 17,20,55 a 71. Jak je patrné při porovnání konkrétních protokolů z měření těchto dílů před a po operaci, dochází zde ke kopírování původní geometrie sklonu jednotlivých zubů (viz obr. 114 a 115).



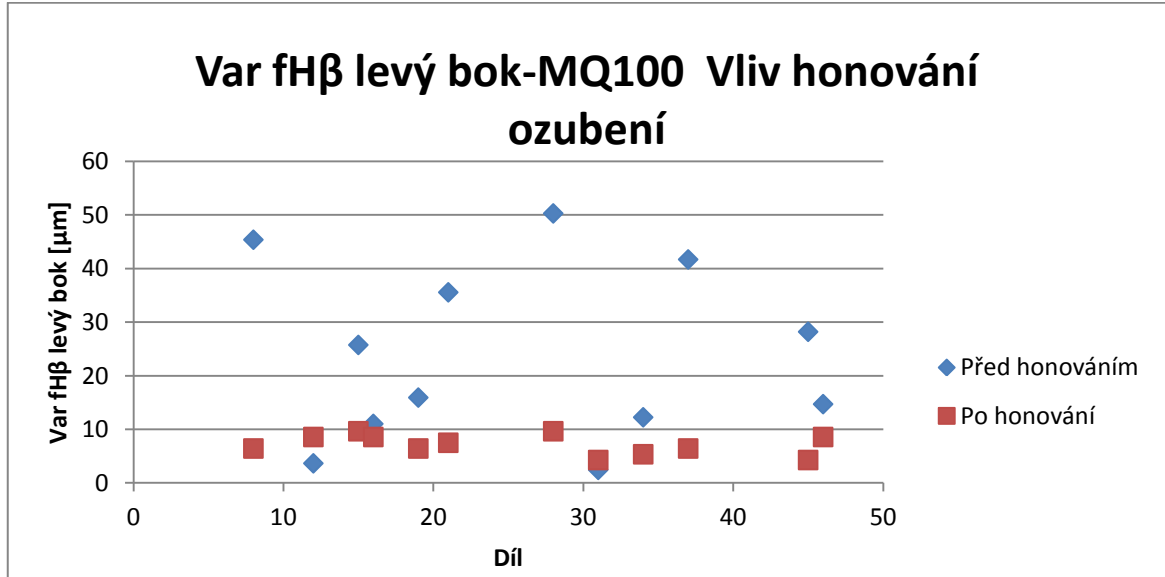
Obrázek 114: Úchyly úhlu sklonu ozubení kola č. 17 před operací honování ozubení



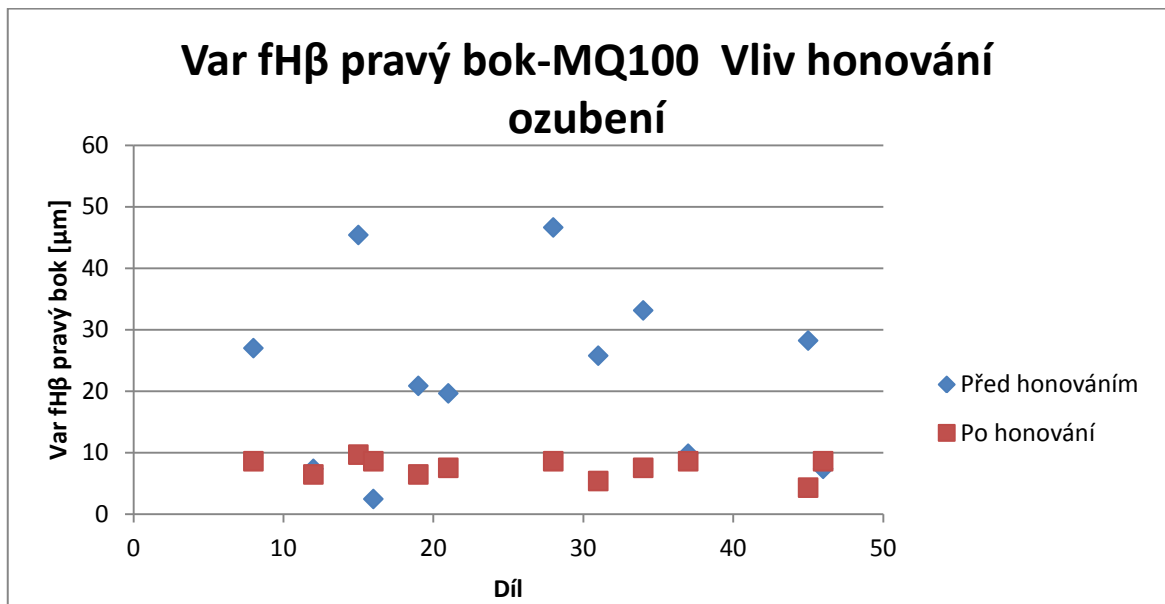
Obrázek 115: Úchyly úhlu sklonu ozubení kola č. 17 po operaci honování ozubení

Tento jev lze vysvětlit nedostatečně tuhým upnutím těchto kol během operace honování ozubení.

Naproti tomu u dílů OCF 311 250 C se variabilitu  $f_{H\beta}$  povedlo honováním ozubení zcela napravit (viz obr. 116 a 117).



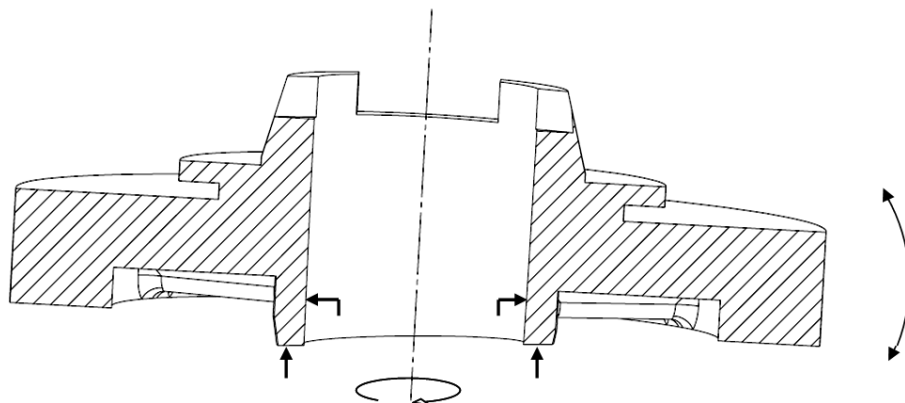
Obrázek 116: Vliv honování ozubení kol s honovaným centr. otvorem na parametr Var  $f_{H\beta}$  (levý bok) - (12 kol série 50ks dílu OCF 311 250 C)



Obrázek 117: Vliv honování ozubení kol s honovaným centr. otvorem na parametr Var  $f_{H\beta}$  (pravý bok) - (12 kol série 50ks dílu OCF 311 250 C)

Vyvstává tedy otázka, zda má toto nedostatečné upnutí během operace honování ozubení návaznost na předchozí operaci broušení centrálních otvorů. Odpověď na tuto otázku nalezneme v důkladnější analýze upnutí během operace honování ozubení. Jak už bylo řečeno v předcházející kapitole, kola jsou během honování ozubení upnuta za centrální otvor a podepřena za nábojku. V případě, že osa centrálního otvoru ozubeného kola pak nebude kolmá k ploše nábojky, může během procesu honování dojít

k nestabilnímu upnutí (viz obr. 118). Upnutí dílů potom není dostatečně tuhé a během procesu honování ozubení tak dochází k jejich naklápění v závislosti na deformaci zubů a tím i ke kolísání řezných sil. Proces honování ozubení následně do značné míry kopíruje předešlé nepřesnosti sklonu zubů.



**Obrázek 118: Vliv upnutí na operaci honování ozubení**

Právě operace broušení otvoru může přitom (na rozdíl od technologie honování otvorů) způsobit toto vyosení centrálního otvoru oproti ose ozubeného kola. Jasnou závislost potom můžeme vidět, porovnáme-li nedostatečně opravený parametr variability úhlu sklonu zubů po operaci honování ozubení s hodnotami axiálního házení ozubených kol vstupujících do této operace (viz tabulka 36).

**Tabulka 36: Závislost parametru Var  $f_{H\beta}$  na axiálním házení kol s broušeným centr. otvorem po operaci honování ozubení**

Díl	Stroj (Reinecker/ Buderus)	Ax. házení nábojky	Ax. házení spodní strana věnce	Ax. házení vrchní strana věnce	Var $f_{H\beta}$ (levý bok)	Var $f_{H\beta}$ (pravý bok)
4	R	12	62,4	62,5	22	19
12	B	12	46,5	42,7	10	18
17	R	40	126,3	100	39	45
20	R	20	127	118	33	24
22	R	8	18,4	26,8	8	4
32	B	14	51,9	46,8	13	15
36	R	8	36	59,5	6	9
55	R	22	116,3	119	34	33
66	R	6	14,7	41,8	2	3
71	R	26	88,1	101,9	32	30
78	B	10	14,6	29,5	3	2
107	B	8	24,6	44,3	12	8

Pro lepší porovnání potom v následující tabulce nalezneme korelační koeficienty vypočtené mezi hodnotami variability  $f_{H\beta}$  (po operaci honování ozubení) a axiálním házením kol před honováním ozubení:

Tabulka 37: Korelační koeficienty ax. házení kola a Var f<sub>Hβ</sub>

	Var f <sub>Hβ</sub> (levý bok)	Var f <sub>Hβ</sub> (pravý bok)
Ax. házení nábojky	0,883813973	0,942772255
Ax. házení spodní strany věnce	0,966041991	0,925352965
Ax. házení vrchní strany věnce	0,912961365	0,846280226

Z vysokých hodnot korelačních koeficientů je potom zcela patrný vliv axiálního házení ozubených kol na výslednou hodnotu parametru variability  $f_{H\beta}$  po operaci honování.

Pokud tedy dojde během výroby k vytvoření kol s výrazně vychýlenou osou centrálního otvoru vůči ose celého ozubeného kola (což je doprovázeno vysokými hodnotami axiálního házení), nedojde při následné operaci honování ozubení k požadovanému zlepšení parametru variability úhlu sklonu zubů Var  $f_{H\beta}$ .

Tento jev lze potom pozorovat u kol s broušeným otvorem s axiálním házením nábojky přes 20  $\mu\text{m}$ . Je třeba si uvědomit, že měření axiálního házení nábojek probíhalo vzhledem k přítomnosti olejové drážky pouze pomocí číselníkových úchylkoměrů na dvou půlkružnicích oddělených drážkou a nebude tedy tak přesné jako hodnoty axiálního házení ozubeného věnce měřené na souřadnicovém stroji.

Jako lepší identifikátor pak poslouží hodnota axiálního házení spodní strany ozubeného věnce, která by vzhledem k soustružení spodní plochy věnce při stejném upnutí spolu s nábojkou kola měla být s plochou nábojky rovnoběžná. Pro tento parametr se potom jeví jako problémová hodnota přes 80  $\mu\text{m}$ .

Jak již bylo dříve řečeno, pro kola s honovaným centrálním otvorem tato závislost neplatí, neboť správné funkce operace honování ozubení bylo dosaženo i u kol s axiálním házením spodní strany ozubeného věnce přes 90  $\mu\text{m}$ . U kol s honovaným centrálním otvorem tak můžeme nedostatečné napravení parametru Var  $f_{H\beta}$  pozorovat pouze v případě, pokud se při upínání dostanou pod nábojku kol nečistoty.

Fakt, že honování otvorů zachovává původní geometrii a nezpůsobuje tak vyosení centrálního otvoru vůči ose kola je tedy výhodou oproti technologii broušení při výrobě ozubených kol se za tvrda opracovávaným ozubením.

V každém případě je pak třeba podotknout, že u kol s takto vysokými hodnotami axiálního házení spodní strany věnce a nábojky bylo zaznamenáno pouze 7 z celkového počtu 220 sledovaných kol s broušeným centrálním otvorem. Centrální otvory šesti z těchto sedmi ozubených kol byly přitom broušeny na stroji Reinecker s použitím původního upínače, který byl přitom nahrazen právě kvůli tomu, že způsoboval vysoké axiální házení kol. Poslední, sedmý kus opracovaný na stroji Buderus je potom sporný. Axiální házení jeho spodní strany věnce dosahuje hodnoty 85  $\mu\text{m}$ , ovšem axiální házení nábojky kol (naměřeno 10  $\mu\text{m}$ ), ani axiální házení vrchní strany věnce (naměřeno 58  $\mu\text{m}$ ) pak nijak vysoké není. Tato hodnota tedy nemusí být způsobena špatně vytvořeným centrálním otvorem, ale deformací spodní plochy věnce po tepelném zpracování, nebo špatným upnutím při měření.

Žádné z ozubených kol, jejichž centrální otvory byly obrobena na stroji Reinecker za použití nového upínacího systému, potom nevykazuje ani zdaleka tak vysoké hodnoty axiálního házení, které by mohly způsobit problémy při navazující operaci honování ozubení.

## Závěr

Cílem práce bylo zjištění vlivu jednotlivých výrobních operací na kvalitu valivého i synchronního ozubení kol převodovky MQ 200, potažmo i novější převodovky MQ 100. Za tímto účelem bylo provedeno přes 4000 měření mapujících hodnoty 20 parametrů valivých a synchronních ozubení jednotlivých ozubených kol od vytvoření ozubení až po konečnou operaci. U vybraných reprezentantů z řad obou převodovek (řadicí kolo 1. rychlosti 02T 311 251 N převodovky MQ 200 a řadicí kolo 1. rychlosti 0CF 311 250 C převodovky MQ 100) tak bylo možné určit vliv výrobních technologií na kvalitu ozubení, porovnat oba výrobní procesy a stanovit návrhy, které by mohly vést ke zlepšení kvality.

Jednotlivé části práce se potom zaměřují především na tři důležité technologické úseky při výrobě ozubených kol, kterými jsou navařování synchronních věnečků na kola MQ 100, vliv tepelného zpracování na ozubení kol a porovnání technologií broušení a honování centrálních otvorů kol s přihlédnutím k jejich vlivu na následující operaci honování ozubení.

Během měření vlivu procesu svařování na kvalitu ozubených kol se jasně ukázal vysoký vliv seřízení stroje na parametry synchronního ozubení. Při měření první zkušební série kol (pomocí laserového paprsku na stroji Arnold) totiž byla odhalena softwarová chyba, kdy proces předsvaření byl oproti ose kola vyosen o 0,6 mm. Díky tomu nebyly synchronní věnečky při samotném svařování řádně uchyceny na kola, což způsobilo deformace věnečků. Ta se projevila výrazným zvýšením hodnot úchylek roztečí a radiálního házení synchronního ozubení. Po opravě stroje pak vliv procesu na tyto parametry ozubení klesl o více než polovinu původně naměřených hodnot. Proces svařování pomocí laserového paprsku tak zvyšuje hodnoty součtových úchylek roztečí synchronního ozubení zhruba o 20-25  $\mu\text{m}$ . Radiální házení v důsledku svařování vzroste o 10-15  $\mu\text{m}$ .

Při porovnání s konkurenční technologií navaření synchronních věnečků pomocí elektronového paprsku (na stroji PTR) se ukázalo, že technologie elektronového svařování je v každém ohledu kvalitativně lepší. Průměrný vliv navaření synchronů na ozubená kola pomocí elektronového paprsku na parametry synchronního ozubení byl totiž prakticky nulový. Na těchto výsledcích se může do značné míry podílet nejen použitá technologie svařování, ale i rozdílné procesní parametry a rozdílný průběh nalisování synchronních kroužků na ozubená kola. Přesné prokázání vlivu jednotlivých parametrů na kvalitu by si vyžádalo delší rozsáhlé zkoušky, které ale nejsou v běžném provozu jednoduše realizovatelné.

Správnou volbou technologie a procesních parametrů se tedy dá docílit výrazného snížení vlivu operace svařování na synchronní ozubení kol, díky čemuž se pak tato kola kvalitativně vyrovnají monoblokovému provedení. Vzhledem k možné vysoké zmetkovitosti v případě špatného seřízení svařovacích strojů je potom třeba zajistit pravidelnou údržbu a seřízení strojů, stejně jako odpovídající výstupní kontrolu synchronního ozubení po navaření.

Druhou oblastí výroby, kterou se práce zabývala, bylo tepelné zpracování obou reprezentantů. Díly 02T 311 251 N převodovky MQ 200 jsou kaleny do oleje, zatímco díly



OCF 311 250 C převodovky MQ 100 jsou potom zakaleny v tzv. ALD kalírně v přetlaku helia. Pro lepší porovnání těchto rozdílných technologií tepelného zpracování byla sledována i poloha jednotlivých kol na kalicím roštu. Mnohé z menších kvalitativních rozdílů mezi koly zakalenými v heliu a v oleji lze přispat rozdílné konstrukci obou kol. Ozubená kola OCF 311 250 C nemají totiž na rozdíl od svého protějšku žebrování a jsou tedy více náchylná na kalírenské deformace. Vliv může mít i fakt, že v případě kol zakalených v oleji, se podařilo zarovnat zkouškovými koly celý kalírenský rošt, zatímco rošt ALD kalírny musel být (vzhledem k velikosti roštu) dorovnán sériovými díly, které měřeny nebyly.

Zásadním rozdílem v obou technologiích tepelného zpracování je ovšem silný patrový vliv olejové kalírny na úchytky úhlu sklonu zubů  $f_{H\beta}$  a rozměru přes kuličky  $M_{dk}$ . Vlivem obrovského teplotního gradientu, kterému jsou kola v prvních patrech roštu po ponoření do oleje vystavena, zde dochází ke změně úchylek úhlu sklonu zubů  $f_{H\beta}$  o více než 60  $\mu\text{m}$ . U ALD kalírny pak díky střídavému směru proudění kalicího plynu nebyl tento vliv ani zdaleka tak výrazný. Průměrný vliv olejové kalírny na parametr  $f_{H\beta}$  činí -40  $\mu\text{m}$  na levém boku a +11  $\mu\text{m}$  na pravém boku. U ALD kalírny pak průměrný vliv na  $f_{H\beta}$  činí -12  $\mu\text{m}$  na levém boku a -9  $\mu\text{m}$  na boku pravém. ALD kalírna tak má v průměru nižší vliv na parametr  $f_{H\beta}$  o 28  $\mu\text{m}$ . U tohoto důležitého parametru dochází u dílů ve spodních 2 až 3 patrech kalicího roštu až ke dvojnásobnému zhoršení kvality ve srovnání s díly kalenými prostřednictvím hélia.

Z tohoto důvodu tedy doporučuji přesunout výrobu větších dílů převodovky MQ 200 do ALD kalírny. Jako méně vhodná varianta vedoucí ke zlepšení kvality se potom jeví zarovnání prvních dvou pater kalicího roštu zmetkovými kusy. V tomto případě se musí počítat v důsledku nutnosti opakovaného nahřívání těchto dílů se ztrátami energetickými, kapacitními a v konečném důsledku i finančními.

Posledním a zároveň nejdůležitějším úkolem bylo zhodnocení vlivu upnutí na operaci broušení centrálního otvoru a její porovnání s technologií honování. Při porovnávání vlivu stávajících systémů upnutí na operaci broušení centrálního otvoru se jasně ukázalo, že upínací systém stroje Reinecker vykazuje oproti upínacímu systému stroje Buderus výrazně horší stabilitu. Negativní vliv má potom broušení centrálního otvoru při použití tohoto upínače na parametry variability úhlu sklonu ozubení  $\text{Var } f_{H\beta}$  a axiální házení ozubených kol.

U stroje Buderus byly naměřeny vyšší hodnoty radiálního házení kola a s ním spojené zvýšení hodnot kinematických úchylek synchronního ozubení. Tento jev byl způsoben nedostatečným seřízením upínače, a proto je zde třeba doporučit zavedení zpřísněné kontroly ozubených kol a předpisů pro seřízení stroje potřebných k uvolnění výroby.

Jako řešení špatné stability kvalitativních výsledků, které vykazovala kola obráběná na stroji Reinecker, byl pro tento stroj zakoupen nový upínač, který upíná ozubená kola za všechny zuby. Vlivem nového upínače došlo k výraznému kvalitativnímu zlepšení ozubených kol broušených na tomto osmnáct let starém stroji. Nyní dosahuje dokonce mírně lepších výsledků než o deset let mladší stroj Buderus. Při zavedení tohoto nového upínače byla rovněž testována jeho stabilita v čase a závislost na zpracovávané tabbě ozubených kol. Proto byla s časovým odstupem jednoho měsíce na stroji Reinecker při použití nového upínacího systému obrobena rovněž druhá série ozubených kol,

tentokrát z odlišné tavby. Výsledky měření prokázaly, že výsledná kvalita kol po operaci broušení centrálních otvorů při použití nového upínacího systému je konstantní v čase a nezávislá na použité tavně ozubených kol.

Následně byl vliv operace broušení centrálních otvorů kol při použití různých systémů upnutí porovnáván s konkurenční technologií honování. Ukázalo se, že honování centrálních otvorů má téměř nulový průměrný vliv na parametry ozubení. Broušení centrálních otvorů kol přitom může parametry kol i vylepšovat a při použití nového upínacího systému se zdálo jako mírně kvalitativně lepší varianta. V návazné operaci honování ozubení se ovšem prokázalo, že technologie broušení otvorů může zapříčinit vyosení centrálního otvoru vůči ose kola. To může mít negativní vliv na průběh operace honování ozubení i na výslednou kvalitu ozubených kol. Tento vliv na operaci honování ozubení mají ovšem pouze kola s vysokým axiálním házením, kterých je minimum. Navíc se jedná téměř výhradně o kola, jejichž centrální otvory byly opracovány za použití starého upínače stroje Reinecker, který byl nahrazen právě kvůli faktu, že zapříčiňoval vysoké axiální házení věnců ozubených kol. U ozubených kol, jejichž centrální otvory byly broušeny s použitím nového upínacího systému, nebylo zaznamenáno ani jedno ozubené kolo, které by mělo potenciál operaci honování ozubení výrazně negativně ovlivnit.

Obecně lze říci, že výsledný vliv obou technologií je velmi podobný a výsledná kvalita ozubených kol téměř totožná. Pro kola s ozubením opracovávaným za měkka (švingovaná) doporučuji z pohledu kvality užít pro obrábění jejich centrálních otvorů přednostně technologii broušení otvorů, která při použití vhodných systémů upnutí poskytuje (v této konkrétní výrobě) lepší výsledky v porovnání s technologií honování otvorů. Pro kola opracovávaná za tvrda (s honovaným nebo broušeným ozubením) výsledná kvalita závisí převážně na následující operaci honování ozubení.

Práce názorně ukázala složitost jednotlivých výrobních operací ozubených kol, stejně jako vysoké nároky kladené na kvalitu ozubení v hromadné výrobě a obtížnost jejich plnění. Teoretická část práce shrnula moderní trendy při vývoji převodovek, charakterizovala jednotlivé komponenty i funkci dvouhřídelových manuálně řazených převodovek a ukázala složitost výroby ozubených kol, stejně jako dnes v praxi používané principy měření jednotlivých úchylek ozubení. Hlavním přínosem praktické části práce je nepopíratelně poskytnutí značného množství kvalitativních dat, která mohou sloužit pro jakékoli budoucí rozhodování. Dále hodnotím jako výrazně prospěšné zhodnocení vlivu technologií svařování, prozkoumání vlivu tepelného zpracování na kvalitu kol v závislosti na poloze v kalicím roštu a nahrazení původního upínacího systému stroje Reinecker za nový, poskytující kvalitativně lepší výsledky. Do budoucna doporučuji ověřit, jakého ovlivnění kvality radiálního házení ozubených kol lze dosáhnout u stroje Buderus při precizním seřízení. Za přínosné považuji rovněž přesnější zjištění vlivu opracování centrálních otvorů ozubených kol na průběh následující operace honování ozubení.

## Seznam použité literatury

- [1] KRÁLÍK, Jan. *Stavební růst společnosti ŠKODA AUTO 1895-2015*. Týnec nad Sázavou: Moto Public, 2015.
- [2] KOŽÍŠEK, Petr a Jan KRÁLÍK. *L&K – Škoda I. díl: Cesta vzhůru: 1895 – 1945*. Druhé doplněné vydání. Týnec nad Sázavou: Pro společnost ŠKODA AUTO a.s. vydala Moto Public, 2003. ISBN 80-239-1849-4.
- [3] KOŽÍŠEK, Petr a Jan KRÁLÍK. *L&K – Škoda II. díl: Let okřídleného šípu: 1945 – 2003*. 2., opr., dopl. a rozš. vyd. Týnec nad Sázavou: Pro společnost ŠKODA AUTO a.s. vydala Moto Public, 2003. ISBN 80-239-1949-0.
- [4] *Interní dokumenty ŠKODA AUTO a.s.*, Mladá Boleslav <http://portal.skoda.vwg/> (interní zdroj).
- [5] HEJCMAN, Miroslav. *Teorie a praxe ozubení: PKT/5 Technická kontrola*. 2016. (interní zdroj).
- [6] *Steckbrief Handschaltgetriebe*. Mladá boleslav, [cit. 2016-11-15] (interní zdroj).
- [7] OUDRNICKÝ, Tomáš. *Konstrukční úprava převodovky MQ100 pro snížení hlučnosti, 2016. Diplomová práce: Constructional modification of MQ100 gearbox for noise reduce*. Liberec, 2016. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [8] *Lícování čelných ozubených kol, kontrola a měření: Seminář Praha 1989, Dům techniky ČSVTS : Sborník*. 1989. Praha: Dům techniky ČSVTS, 40 s. ISBN 80-029-9513-9.
- [9] ČSN 01 4682. *Ozubené převody čelní lícování*. 1980. Praha: Vydavatelský Úřad pro normalizaci a měření.
- [10] DIN 3961. *Tolerance čelních ozubených kol: Základy*. 1978. Berlín: Deutsches Institut für Normung.
- [11] *Lícování, Kontrola a Měření čelních ozubených kol*. 1982. Liberec: Dům techniky ČSVTS.
- [12] ČSN 01 4603. *Názvosloví pro lícování ozubených převodů všeobecné pojmy*. 1982. Praha: Vydavatelský úřad pro normalizaci a měření.
- [13] ČSN 01 4688. *Ozubené převody čelní s malým modulem lícování*. 1980. Praha: Vydavatelský Úřad pro normalizaci a měření.
- [14] VUT BRNO - ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ. *Čelní ozubená kola- Soustava přesnosti: výtah*. Brno, 2013.
- [15] RŮŽIČKA, Václav. 1957. *Kontrola ozubených kol*. Praha: SNTL, 408 s.

- [16] MORAVEC, Vladimír. 2001. *Konstrukce strojů a zařízení II: čelní ozubená kola, teorie, výpočet, konstrukce, výroba, kontrola*. Ostrava: Montanex, 291 s. ISBN 80-722-5051-5.
- [17] BOHÁČEK, František a kol. 1982. *Části mechanismů a strojů III: Převody*. 1. vyd. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 267 s.
- [18] Stirnradpaar nach DIN 3990 und weiteren Normen. *eAssistant: The engineering assistant* [online]. 2013 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: [https://www.eassistant.eu/fileadmin/dokumente/eassistant/etc/HTMLHandbuch/eAssistantHandb\\_HTMLch7.html](https://www.eassistant.eu/fileadmin/dokumente/eassistant/etc/HTMLHandbuch/eAssistantHandb_HTMLch7.html)
- [19] TICHÁ, Šárka a Ivan MRKVICA. 2012. *Vybrané kapitoly ze strojírenské metrologie: učební text* [online]. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1 DVD-ROM [cit. 2017-08-01]. ISBN 978-80-248-2709-4.
- [20] TICHÁ, Šárka. 2006. *Strojírenská metrologie: část 1*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 112 s. ISBN 80-248-0671-1.
- [21] DIN 21772: *Zahnräder - Zylinderräder und Zylinderradpaare mit Evolventenverzahnungen - Definition der Abweichungen*. 2012. Berlín: Deutsches Institut für Normung.
- [22] OCHMANOVÁ, Marie. 2006. *STROJNÍ A TECHNOLOGICKÁ MĚŘENÍ: Návod k řešení úloh pro SPŠ* [online]. Karviná [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: [http://www.spskarvina.cz/projekty/lct2005/manual/data/odborne/mereni/Strojni\\_a\\_technologicka\\_mereni.pdf](http://www.spskarvina.cz/projekty/lct2005/manual/data/odborne/mereni/Strojni_a_technologicka_mereni.pdf). Příručka. Střední průmyslová škola Karviná.
- [23] HÄRTIG, Frank, Hu LIN, KNIEL a Zhaoyao. 2012. *Measurement Science and Technology*. 23(10). DOI: 10.1088/0957-0233/23/10/105011. ISSN 0957-0233.
- [24] FARAGO, Francis T a Mark A CURTIS. 2007. *Handbook of dimensional measurement*. 4. vyd. New York: Industrial Press, 583 s. ISBN 978-083-1132-620.
- [25] KALIVODA, Pravoslav. 1963. *Tabulky pro výrobu a kontrolu čelních ozubených kol*. 1. vyd. Praha: SNTL, 112 s.
- [26] ČSN ISO 4671-1. Čelní ozubená kola - Praktické předpisy pro přejímky - Část 1: Přejímka podle stejnohlých boků zubů. 1997. Praha: Český normalizační institut.
- [27] GOCH, G. 2003. Gear Metrology. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 52(2): 659-695. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)60209-1. ISSN 00078506. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0007850607602091>
- [28] BRAUN, G. 1977. *Verzahnwerkzeuge: Ein Handbuch für Konstruktion und Betrieb*. 3. vyd. Karlsruhe: LORENZ GmbH &Co Ettlingen.
- [29] *Klingelberg* [online]. 2017 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.klingelberg.com>

- [30] KLINGELNBERG AT THE AGMA GEAR EXPO 2009 [online]. 2009 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.klingelberg.com/en/single/article/klingelberg-auf-der-agma-gear-expo-2009.html>
- [31] Gear Measuring Center Klingelberg P40 [online]. Hückeswagen, 2007 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.italgear.com/investimenti/p40evolventimetro.pdf>
- [32] HAW Hamburg [online]. 2015 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <https://www.haw-hamburg.de/ti-mp/institute/ti-mpipt/schwerpunkte/fertigungsmesstechnik/einrichtungen.html>
- [33] Mitutoyo [online]. 2017 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: <http://www.mitutoyo.com>
- [34] KARAFIÁTOVÁ, Stanislava a Ivo LANGER. *Technologie soustružení: [učebnice]*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998. Učebnice pro odborné školy (Fragment). ISBN 80-720-0239-2.
- [35] MÁDL, Jan a Ivo KVASNIČKA. *Optimalizace obráběcího procesu*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. Učebnice pro odborné školy (Fragment). ISBN 80-01-01864-6.
- [36] *Operační návody: (interní zdroje)*. ŠKODA AUTO a.s., 2017.
- [37] MRKVICA, Ivan. *Speciální technologie: výroba ozubených kol I*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-1931-0.
- [38] KŘUPALA, Jaroslav. *Ševingování ozubených kol*. Praha: SNTL, 1957. DT 621.911.
- [39] BAROŠ, Václav. *Optimalizace svařovacích parametrů pro technologii svařování laserem u vybraných termoplastů*. Zlín, 2009. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [40] Compact cell: Laser welding with external, automated processes. *Arnold Ravensburg* [online]. Ravensburg [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://www.arnold-rv.de/english/laser-systems/more-laser-concepts/compact-cell-laser-welding-with-external-automated-processes.html>
- [41] KOLAŘÍK, Ladislav a kol. Elektronové svařování: perspektivní metoda pro speciální materiály. *MM Průmyslové spektrum*. 2016, 2016(1), 96.
- [42] WEMAN, Klas. *Welding processes handbook*. Boca Raton, FL: Published in North America by CRC Press, 2003. ISBN 08-493-1773-8.
- [43] BAKISH, Robert. *Electron beam welding*. Park Ridge: Noyce Data Corporation, 1971.
- [44] BUZKOVÁ, Eva. Unikátní kalení dílů převodovky DQ 200. *MM Průmyslové spektrum*. Vrchlabí, 2016 (10).
- [45] ROWE, Brian. *Principles of Modern Grinding Technology*. Druhé vydání. Oxford: Elsevier, 2014. ISBN 978-0-12-32324271-4.
- [46] REINECKER ISAA 200 CNC. *MachMarket.com* [online]. [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://www.machmarket.com/en/grinders/internal/REINECKER/AS371/29>

- [47] Reinecker-Kopp ISAA 200 CNC. *TechSpex* [online]. [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: [http://www.techspex.com/grinding-machines/reinecker-kopp\(2854\)/909](http://www.techspex.com/grinding-machines/reinecker-kopp(2854)/909)
- [48] *Buderus - Schleiftechnik* [online]. Aßlar, 2017 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://buderus-schleiftechnik.dvs-gruppe.com/>
- [49] SALJÉ, E. *Jahrbuch: Schleifen, Honen, Läppen und Polieren*. Essen: Vulkan-Verlag, 1982. ISBN 3-8027-2657-X.
- [50] OUTRATA, Jiří. *Honování*. Praha: SNTL, 1963. DT 621.923.5.
- [51] Gehring lifehone: precision honing machines. *Gehring* [online]. Ostfildern [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://www.gehring.de/en-ww/lifehone>
- [52] MRKVICA, Ivan. *Speciální technologie: výroba ozubených kol II*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2134-4.
- [53] *Präwema* [online]. Hessenring, 2017 [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://praewema.dvs-gruppe.com>

## Seznam příloh

Příloha 1 – Schéma řazení

Příloha 2 – Rozklad Převodovky MQ 200 5r.

Příloha 3 – Rozklad Převodovky MQ 200 6r.

Příloha 4 – Rozklad Převodovky MQ 100.

Příloha 5 – Protokol měření synchronního ozubení - strana 1

Příloha 6 – Protokol měření synchronního ozubení - strana 2

Příloha 7 – Protokol měření axiálního házení věnce

Příloha 8 – Vliv kalení na parametr  $f_{H\beta}$  (pravý bok) - 02T 311 251 N

Příloha 9 – Vliv kalení na parametr  $M_{dK}$  - 02T 311 251 N

Příloha 10 – Vliv kalení v plynu na parametr  $f_{H\beta}$  (pravý bok) - 0CF 311 250 C