

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2008**

**Bc. Kamil ŠUBÍN**

**Univerzita Pardubice**  
**Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Omezení protahování ozubených kol po tepelném zpracování**

**Bc. Kamil Šubín**

**Diplomová práce**

**2008**

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Katedra dopravních prostředků  
Akademický rok: 2007/2008

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Kamil ŠUBÍN**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**  
  
Název tématu: **Omezení protahování ozubených kol po tepelném zpracování**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod, stanovení cílů práce
2. Postup při výrobě ozubených kol, současný stav
3. Teoretický popis výrobních technologií
4. Návrhy omezení protahování ozubených kol po tepelném zpracování
5. Závěr, vyhodnocení návrhů

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Řasa, J., Gabriel, V. Strojírenská technologie 3 - 1. díl: Metody, stroje a nástroje pro obrábění. 2. vyd. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
2. Kocman, K., Prokop, J. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
3. Mohyla, M. Technologie povrchových úprav kovů. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1217-7.
4. Macek, K., Zuna, P., Janovec, J. Tepelné úpravy kovových materiálů. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2001. ISBN 80-01-02287-0.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Josef Suchý**

Datum zadání diplomové práce: **18. února 2008**

Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2008**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.  
děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.  
vedoucí katedry

dne

## **Souhrn**

Tato práce se zabývá omezením nebo zrušením tvrdého protahování vnitřního jemného drážkování ozubených kol po tepelném zpracování. Teoretická část práce popisuje výrobní postup při výrobě ozubených kol a teoretický popis příslušných výrobních technologií. Praktická část je věnována posouzení stability tepelného zpracování, resp. k zjištění rozdílů mezi pecemi a návrhu rozměrů protahovacích trnů před tepelným zpracováním. Dále se praktická část zabývá návrhem jiné možné optimalizace tak, aby bylo možné z výrobního postupu odstranit tvrdé protahování po tepelném zpracování.

## **Klíčová slova**

protahování; tepelné zpracování; vnitřní drážkování; výrobní postup; průběžné pece; protahovací trny

## **Title**

Gear wheels broaching restriction after heat treatment

## **Abstract**

This thesis deals with the limitation or removal of the operation of hard broaching of inner grooving of gear wheels after heat treatment. The theoretical part describes the processing procedure during the production of the gear wheels and the evaluation of stability of the heat treatment, i. e. it tries to find the differences between the hardening furnaces and project sizes of the broaching tools before heat treatment. The practical part also deals with projecting of other optimizations so that it is possible to remove the hard threading after the heat treatment process.

## **Keywords**

broaching; heat treatment; inner grooving; technical process; hardening furnace; broaching tools

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Josefovi Suchému, za jeho odbornou pomoc při zpracování této práce. Rovněž bych mu chtěl poděkovat za cenné rady a připomínky, které mi pomohly při zpracování zvolené problematiky. Dále bych chtěl poděkovat i dalším pracovníkům Škoda Auto a.s. za odborné rady a připomínky.

Bc. Kamil Šubín

# Obsah

Úvod, stanovení cílů práce .....	7
<b>2 Postup při výrobě ozubených kol, současný stav.....</b>	<b>9</b>
2.1 Popis současného stavu a problému .....	9
2.2 Ekonomické hledisko .....	11
2.3 Technologický postup výroby .....	13
2.4 Výrobní postup .....	15
<b>3 Teoretický popis výrobních technologií.....</b>	<b>27</b>
3.1 Protahování .....	27
3.1.1.1 Podstata metody .....	27
3.1.1.2 Výpočet protahovací síly .....	28
3.1.1.3 Nástroje .....	29
3.1.1.4 Stroje .....	30
3.1.1.5 Práce na protahovačkách .....	31
3.1.1.6 Řezné podmínky .....	31
3.1.1.7 Dosahované parametry .....	32
3.2 Ševingování .....	33
3.3 Chemicko-tepelné zpracování kovů .....	35
3.3.1 Cementování .....	35
3.3.2 Nitrocementování .....	36
3.4 Tepelné zpracování kovů .....	37
3.4.1 Kalení .....	37
3.4.1.1 Kalitelnost ocelí .....	37
3.4.2 Popouštění .....	39
3.5 Mechanické úpravy povrchu .....	39
3.5.1 Pevnostní tryskání .....	40
3.5.1.1 Tryskací materiál .....	40
3.6 Měření tvrdosti .....	41
3.6.1 Zkouška tvrdosti dle Vickerse .....	41
3.6.1.1 Podstata zkoušky .....	41
3.6.1.2 Zkušební tělesa a zkušební síly .....	42
3.6.1.3 Zkoušená tělesa (vzorky) .....	43
3.6.1.4 Provedení zkoušky .....	43
3.6.2 Metoda Rockwell .....	44
3.6.2.1 Zkušební tělesa a zkušební síly .....	44
3.6.2.2 Zkoušená tělesa (vzorky) .....	45
3.6.2.3 Provedení zkoušky .....	46
<b>4 Návrhy omezení protahování ozubených kol po tepelném zpracování .....</b>	<b>47</b>
4.1 Změna rozměru protahovacího trnu .....	49
4.2 Úprava tvaru ozubeného kola .....	52
4.3 Vliv tepelného zpracování .....	56
4.3.1 Hodnocení pomocí průměrné hodnoty rozkmitů u jednotlivých roštů .....	61
4.3.2 Srovnání průměrné hodnoty $M_{dk}$ mezi jednotlivými průběžnými pecemi a rošty .....	63
4.3.2.1 První rovina měření .....	64
4.3.2.2 Druhá rovina měření .....	66
4.3.2.3 Třetí rovina měření .....	67

4.3.3	Hodnocení pomocí statistických metod.....	68
4.3.3.1	Testování hypotéz.....	70
4.3.3.2	Neparametrické testy .....	71
4.4	Změna materiálu ozubeného kola.....	73
<b>5</b>	<b>Závěr, vyhodnocení návrhů.....</b>	<b>75</b>
	<b>Seznam pramenů a odborné literatury.....</b>	<b>78</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>79</b>
	<b>Seznam grafů .....</b>	<b>80</b>
	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>81</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>82</b>



## Úvod, stanovení cílů práce

Technologie v obecném pojetí je technický obor, který se zabývá aplikací přírodovědných poznatků při zavádění, zdokonalování a optimalizaci výrobních postupů. Je to slovo řeckého původu, kde část „techné“ znamená dovednost a „logos“ nauku.

Počátky technologie spadají do doby před dvěma miliony let, kdy Homo habilis (člověk zručný) vyrobil první kamenný nástroj. Výrobu kamenných nástrojů zdokonalil až Homo sapiens. Vyráběl dnešní klíny, drásadla, nože, hroty, škrabadla, srpy a rydla. Používal technologii přitloukání, otloukání, odbíjení, retuš a technologii prefabrikovaného jádra. V pozdější době přibylo příčné sekání, strouhání, rytí, vrtání a řezání pilami. Tyto technologie umožnily vyrábět sekery, šípky, motyky aj.

Po celá staletí člověk vyráběl předměty ručně, což vedlo ke zdokonalení ručních nástrojů. Základními technologiemi bylo lití a kování, pro opracování se používaly pily, sekery, hoblíky, sekáče, kladiva, kleště, dláta, vrtáky apod.

Je samozřejmostí, že se lidé snažili ulehčit si práci a vymýšleli a stavěli různé obráběcí stroje. Jejich návrhu a konstrukci se věnoval i všestranný umělec, vědec a technik vrcholné renesance Leonardo da Vinci. Navrhl stroj na broušení skla, závitnici na řezání šroubů, vrtačku, frézku, mechanicky poháněnou pilu, stroj na sekání pilníků, automat na broušení jehel a zdokonalil soustruh. V jeho pozůstalosti se našlo přes 5 000 listů rukopisů, z nichž většina je věnována konstrukcím různých mechanismů a strojů. Valná většina těchto návrhů předběhla svoji dobu a nebyla nikdy realizována.

Systematický vývoj obráběcích strojů se datuje až od počátku 18. století a byl vyvolán zejména požadavkem na přesnost a jakost práce, ale i požadavkem na zvyšování počtu vyrobených součástí. S rostoucími požadavky na přesnost rozměrů, jakost obrobeného povrchu a výkonu obrábění dochází logicky také k vývoji nových technologií, jako např. vyvrtávání, frézování, výroba přesných závitů, výroba ozubených kol odvalovacím způsobem, a samozřejmě i k vývoji automaticky pracujících strojů.

Strojírenská technologie jako věda analyzuje výrobní proces do všech podrobností tak, aby byly vytvořeny účelné a ekonomické podmínky pro aplikaci nejnovějších poznatků vědy a techniky ve výrobním procesu a ze všech technických věd má největší význam pro dosažení maximální produktivity a hospodárnosti výroby.

Ve vědním oboru „strojírenská technologie“ stojí na čelním místě z hlediska významu i rozsahu praktických aplikací technologie obrábění. Obráběcí proces se uskutečňuje různými metodami obrábění. Tato práce se zabývá pouze jednou metodou, a to protahováním. Protahování je obrábění vnitřních nebo vnějších rovinných nebo tvarových ploch mnohobřítým nástrojem. Výhodou protahování je vysoká přesnost rozměrů i tvaru a jakost obrobené plochy. Touto technologií lze obrábět měkké i tvrdé materiály.

Cílem této práce je pokusit se tvrdé protahování omezit, to je zmenšit přídavek pro protahování nebo, pokud by to bylo možné, z výrobního procesu úplně odstranit. Tato práce by se měla především zaměřit na posouzení stability tepelného zpracování – rozdíly mezi pecemi a na návrh rozměrů protahovacích trnů před tepelným zpracováním. Vezmeme-li ohled na funkci drážkování, je přídavkem pro tvrdé protahování pouze deformace po tepelném zpracování. Z tohoto důvodu by návrhy měly vést právě ke snížení nebo odstranění dané deformace.

Omezení nebo odstranění tvrdého protahování chceme docílit u hnacího kola třetího rychlostního stupně, u převodovky MQ 200. Tato převodovka je vyráběna firmou Škoda Auto a.s. a dodávána např. do modelů Fabia, Roomster a do vozů koncernu VW, jako je např. VW Polo, Seat Ibiza.

## 2 Postup při výrobě ozubených kol, současný stav

V této kapitole se budu věnovat popisu současného stavu, to je stavu, který byl platný k měsíci říjnu roku 2007 a popisu výrobního postupu ozubených kol, resp. těm výrobním metodám, které jsou určitým způsobem spojeny s technologií protahování.

K výše uvedeným popisům je nutné znát několik důležitých informací, jako např. počet denně vyrobených kol, cena protahovacích trnů pro tvrdé protahování atd. Tyto informace budou vždy uvedeny v dané podkapitole.

### 2.1 Popis současného stavu a problému

Ozubená kola ve výrobě, u kterých se vnitřní jemné drážkování protahuje, jsou následující:

- hnané kolo třetího rychlostního stupně (číslo dílu 02T 311 285 P, N, Q, AF, AG, AA – ANG),
- hnané kolo čtvrtého rychlostního stupně (číslo dílu 02T 311 351 D, E, F, N, AC),
- hnací kolo pátého rychlostního stupně (číslo dílu 02T 322 361 A, B, D, E, R).

Značení jednotlivých typů ozubených kol se provádí písemným značením za daným číslem dílu viz výše. Jednotlivé písemné označení odkazuje např. na různý počet zubů jednotlivých kol, na různé rozměry ozubení, jako je např. průměr hlavové kružnice apod.

Níže popsany výrobní postup hnaného kola třetího rychlostního stupně je stejný i pro hnané kolo čtvrtého rychlostního stupně a pro hnací kolo pátého rychlostního stupně. Rozdíl je jen v odlišných rozměrech ozubených kol. Pozn. vnitřní drážkování hnaného kola třetího rychlostního stupně je shodné s vnitřním drážkováním hnaného kola čtvrtého rychlostního stupně.

Při tepelném zpracování (dále jen TZ) hnaného kola třetího rychlostního stupně se drážkování deformuje tak, že vzniká kužel (resp. soudek) u průměrů patního ( $d_f$ ), hlavového ( $d_a$ ) a  $M_{dk}$ . Tento kužel bývá větší než předepsaná tolerance některého z uvedených rozměrů. Proto je nutné provádět další tzv. tvrdé protahování speciálními protahovacími trny s řeznými elementy ze svinutých karbidů (SK).

Deformační kužel u vnitřního jemného drážkování vzniká i u hnaného kola čtvrtého rychlostního stupně. Zde však není tak výrazný jako u hnaného kola třetího rychlostního stupně. Proto se budu zabývat jen hnaným kolem třetího rychlostního stupně, a to z tohoto důvodu. Jestliže se podaří odstranit tvrdé protahování u kola třetího rychlostního stupně,

měla by se pravděpodobně stejným způsobem odstranit i deformace u kola čtvrtého rychlostního stupně. U hnacího kola pátého rychlostního stupně zmíněná deformace nevzniká.

Tvrdé protahování je z technologického hlediska oproti jiným technologiím obrábění vnějších ploch tepelně zpracovaných součástí ekonomicky realizovatelné a lze použít i tam, kde by jiné technologie nebylo možné realizovat. Přesto je tvrdé protahování i přes určité výhody (viz níže) ekonomicky nepřijatelné a je nutné jej z výroby odstranit. Tvrdé protahování je technologie, kdy je předhrubovaný dílec po TZ protažen na konečný rozměr.

Tvrdé protahování umožňuje reagovat na zvyšující se požadavky kladené na převodová ústrojí, jako je zmenšení jejich velikosti, zvýšení výkonu a snížení hlučnosti chodu. Tyto požadavky lze splnit pouze zvýšením přesnosti výroby dílů. Zvláště zvýšení výkonu přenášeného přes spojení hřídel - náboj závisí na toleranci obvodového házení vnějšího a vnitřního drážkování.

Protože na velké množství protahovaných profilů a ploch jsou kladeny vysoké požadavky z hlediska odolnosti proti opotřebení, drsnosti povrchu a tolerancí, je TZ těchto součástí nevyhnutelné. Tvrdé protahování s geometricky určitým ostřím umožňuje dosáhnout následujících zlepšení:

- bezproblémových spojů (montáž součástí, dodržení svěrné síly mezi hřídelí a nábojem, možnost výměny náboje bez nutnosti výměny celé pohonné skupiny),
- zvýšení přesnosti rozměrů drážkování, a to za přibližně stejných podmínek obrábění i při velkém počtu součástí,
- optimalizace nosného podílu díky vyšší kvalitě povrchu a přesnosti boků drážkování (zvýšení přenášených sil a tichosti chodu),
- optimalizace a odstranění problémů s kolísáním tvrdosti materiálu po operaci TZ.

S ohledem na funkci drážkování je přídatkem pro protahování za tvrda pouze deformace po TZ, profil nástroje na protahování za tvrda i za měkka je tedy identický. Protahování měkkých součástí musí být v sériové výrobě spolu s TZ velmi přesně sladěno, TZ následuje po protažení.

## 2.2 Ekonomické hledisko

Proč vlastně potřebujeme omezit resp. odstranit tvrdé protahování? Odpověď je jednoduchá. Při dnešní vysoké konkurenci a stále se zvyšující náročnosti koncových zákazníků, musí být jakost výroby maximální. Proto je nutné hledat nové technologie, které vedou ke snížení výrobních nákladů, ale zachovávají danou jakost výrobku nebo jakost zvyšují. Jak již bylo zmíněno tvrdé protahování je nejen ekonomicky, ale i časově náročné. A při zvyšování výroby tato náročnost ještě narůstá. Z tohoto důvodu je nutné tvrdé protahování z výrobního postupu nejlépe odstranit.

**Tabulka č. 1** Nářadí a jeho doporučená životnost u operace č. 135

Seznam nástrojů	Doporučená trvanlivost [počet cyklů]
středící trn	500 000
horní doraz	500 000
spodní doraz	500 000
<b>Sestava protahování</b>	
protahovací tyč	500 000
karbidová vložka	16 000
horní hlava EL 16	1 000000
spodní hlava SJH 25	1 000000
deska dosedací	500 000
deska středící 285 Ø 80 – 85,4	1 000000
deska středící 285 N; P	1 000000
deska středící 285 Q	1 000000
mosazné pouzdro	500 000

Zdroj: Škoda Auto a.s.

V tabulce č. 1 je uvedeno nářadí potřebné pro výrobní operaci č. 135 (viz níže kapitola 2.3). Na základě této tabulky můžeme, jednoduchou úvahou, dokázat, že odstranění tvrdého protahování je ekonomicky výhodné. Tato ekonomická výhodnost se projeví pouze za předpokladu, že navrheme takové řešení daného problému, které nebude v konečném důsledku dražší než samotné tvrdé protahování. Nejvyšší nákladovou položkou, když neuvažujeme mzdu pracovníků obsluhující daný stroj a nástroje s životností půl milionu cyklů a více, jsou karbidové vložky (protahovací trny). Doporučená životnost karbidové vložky je 16 000 kusů, tyto karbidové vložky je možno ostřit. Ostřit je možno třikrát, maximálně pětkrát (u současných karbidových vložek se provádí ostření pětkrát). Ve výrobě jsou tři protahovací trny. Cena jednoho protahovacího trnu je 135 000 Kč. Životnost jednoho protahovacího trnu je tedy 80 000 kusů výrobků. Ostatní nástroje bereme jako fixní náklady a ve výpočtu je neuvažujeme, protože v roce

2007 celková výroba činila cca 511 000 kusů, což odpovídá doporučené životnosti nástrojů. Denní norma je cca 2 160 kusů výrobků (součet všech tří směn). Z výše uvedených údajů lze odvodit úsporu nákladů.

#### **Odvození úspory nákladů při odstranění tvrdého protahování**

$$U = \frac{C}{P} = \frac{135000}{80000} = 1,7 \text{ K}\check{\text{c}}$$

$$U_{\text{rok}} = U * K_D * 237 = 1,7 * 2.160 * 237 = 870.264 \text{ K}\check{\text{c}}$$

Legenda:

- U – úspora na jeden vyrobený kus,
- C – cena jedné kalibrační vložky,
- P – maximální možný počet vyrobených kusů jednou kalibrační vložkou,
- $U_{\text{rok}}$  – úspora nákladů za rok,
- $K_D$  – počet denně vyrobených kusů (předpoklad 2 160 kusů denně).

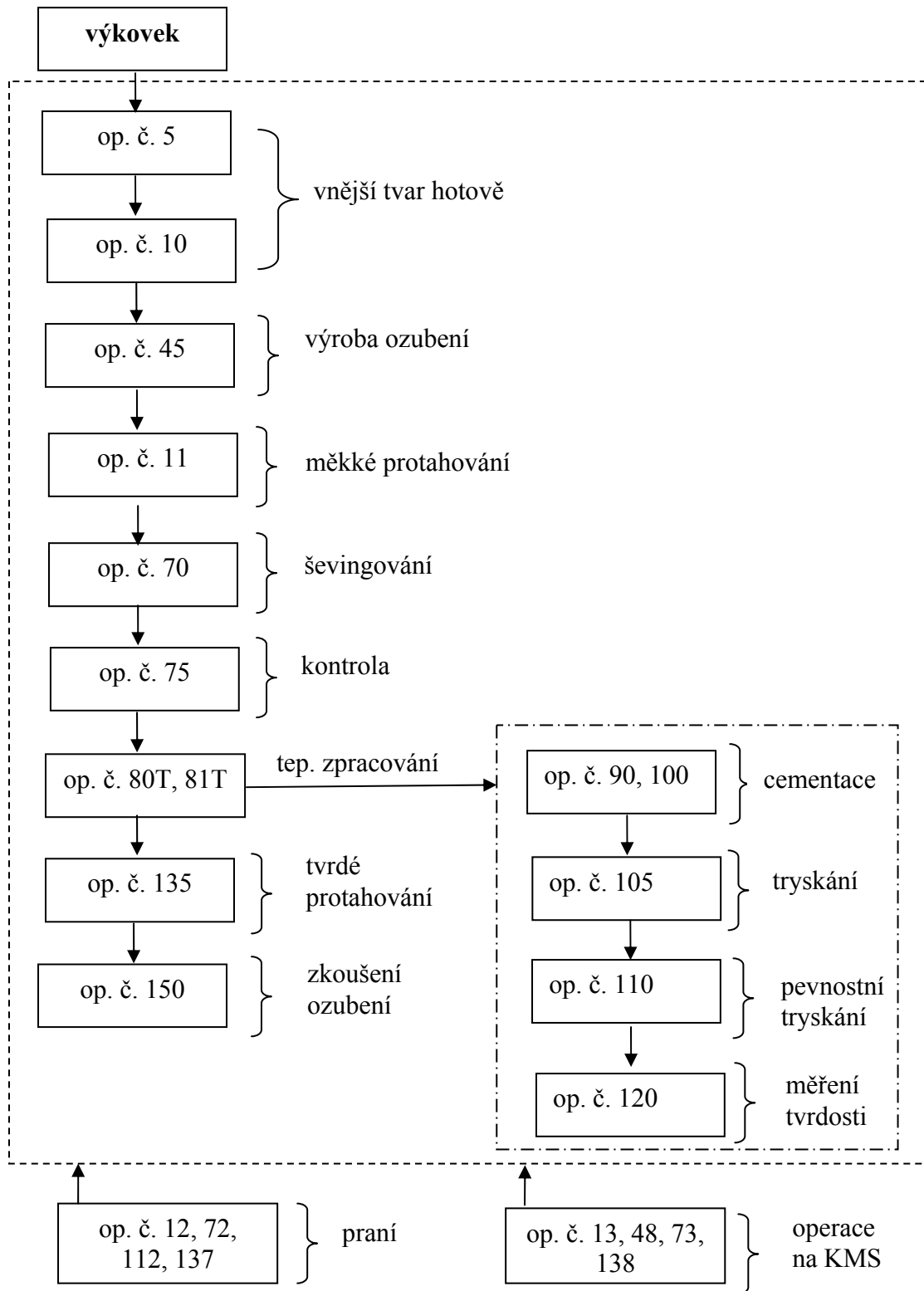
Úspora na jeden vyrobený kus činí 1,7 Kč. Do této úspory nejsou zahrnuty mzdy jednotlivých pracovníků a také využití pracovního stroje na další operace. Celková roční úspora nákladů ve výrobě je 870 264 Kč, za předpokladu, že se za rok nezmění počet vyráběných kusů. Při zvýšení nebo snížení výroby by byla úspora vyšší resp. nižší (předpoklad pro rok 2008 je cca 520 000 vyrobených kusů  $\Rightarrow$  úspora 884 000 Kč).

## 2.3 Technologický postup výroby

V této kapitole se budu zabývat výrobním postupem hnaného kola třetího rychlostního stupně (číslo dílu 02T 311 285), a to z důvodu, jak již bylo řečeno, nutnosti omezení nebo odstranění tvrdého protahování (kalibrace) po tepelném zpracování.

Výrobní postup (kapitola 2.4) popsany níže je chronologicky seřazen podle čísel operací. Schéma výrobního postupu je na obrázku č. 1. Operace číslo 11, u hnaného kola třetího rychlostního stupně, se provádí až po operaci číslo 45. A to z těchto důvodů. Při výrobě ozubení lze obrobek bez vnitřního drážkování lépe upnout. A dále bylo technology Škoda Auto, zodpovědnými za výrobu ozubených kol, prokázáno, že tento postup přispívá ke snížení hlučnosti převodovky po konečné montáži.

Kontrola výrobků se provádí dvěma způsoby, a to zaměstnancem, u každé operace, na daném kontrolním pracovišti, to je první způsob. Druhý způsob je odevzdání daného výrobku v přesně stanoveném intervalu na kontrolní měrové středisko ozubárny (KMS). KMS provádí několik operací ve výrobním procesu, tyto operace jsou popsány níže v textu. Stanovený interval, kontrolované rozměry a četnost kontrolovaných kusů se řídí dle kontrolního plánu operace (KPO). KPO je stanoven pro každý typ výrobku a pro každou výrobní operaci.



**Obrázek č. 1** Schéma výrobního postupu



## 2.4 Výrobní postup

Výrobní postup je platný od 1. 1. 2004 a se skládá z následujících operací.

### Operace číslo 5

Při této operaci se jako stroj používá vertikální soustruh se zásobníkem. Operace se provádí následujícím způsobem, provede se vizuální kontrola výkovků dodávaných kovárnou VAH 2. Výkovky s nepřipustnou vadou se vyřadí jako neshodné díly. Po této kontrole vložíme kolo do zásobníku, poté se kolo automaticky upne a opracuje.

Hotově se opracuje pravá strana věnce. Pravá strana nábojky se opracuje na kótě 18,5  $-0,03$  mm a pravá strana nábojky na kótě 2,2  $-0,15$  mm hotově včetně zápichu a sražení pravé strany nábojky. Poté se opracuje díra na  $\varnothing 33,95$  H8 (+0,039) mm. Sražení u díry má být z pravé strany do  $\varnothing 35,55$  +0,2 mm pod úhlem 60°. Dále se soustruží  $\varnothing 39,4$  +0,15 mm do hloubky 2,2  $-0,15$  mm. Levá strana nábojky se opracuje na kótě 18,5  $-0,03$  mm hotově do  $\varnothing 51_{-0,5}^{+1}$  se sražením levé strany u díry minimálně o 0,25 a maximálně o 0,35 mm dle normy VW 010 88.

**Tabulka č. 2** Kontrolní plán operace číslo 5 - 02T 311 285

DRUH	ROZMĚR [mm]	ČET. MĚŘ.	INTERVAL	ZÁZNAM	PLATÍ PRO
kalibr válc.	Ø 33,95 H8 (+0,039)	1	30	0	všechny typy
kontrol. přístr.	rozměr 18,5 -0,03	3	90	SPC	285 P, Q, N, AF
kontrol. přístr.	rozměr 2,2 -0,15	1	30	0	všechny typy
kontrol. přístr.	rozměr 18,64 -0,04	1	30	0	285 AG-ANG
kontrol. přístr.	rozměr 18,48 -0,03	1	30	0	285 AA-ANG
dig. posuvka	šíře věnce 16,1 min. měřit mimo kovár. otřepty	1	30	0	všechny typy
dutinoměr	Ø 39,4 +0,15	1	30	0	všechny typy
hrot. přístroj	házení levé strany věnce na Ø 43 max. 0,015, házení pravé strany věnce na Ø 65 max. 0,015	3	60	V	všechny typy
hloubkoměr	rozměr 2,2 -0,14	1	60	0	všechny typy
tech. pomůcka č. 18	sraž. pravé str. u Ø 33,95 H8 do Ø 35,55 +0,2	1	60	0	všechny typy
profiloměr	sraž. levé str. u Ø 33,95 H8 do Ø 34,6 +0,1 x 45°, sražení do Ø 42,75 ±0,5	1	při přešření na typ 285 AG, AA-ANG	protokol	285 AG, AA-ANG
profiloměr	sražení do Ø 41 ±0,1	1	týden	protokol	všechny typy
opton	rovinnost levé strany nábojky max. 0,02	1	týden	protokol	všechny typy
drsnoměr	drsnost levé a pr. strany nábojky max. R <sub>z</sub> 6,3	1	240	protokol TK stř.	všechny typy
kontrol. přístr.	hloubku zápichu 0,3 +0,2	1	30	0	všechny typy
profiloměr	sražení levé strany na Ø 33,95 H8 min. 0,25 - max. 0,35	1	týden	protokol TK	285 P, Q, N, AF
vizuálně	celkové provedení operace	každý kus		SK	

Zdroj: Škoda Auto a.s.

Legenda k tabulce (pozn. platí i pro níže uvedené tabulky):

- a) záznam – způsob záznamu do kontrolních karet:
  - 0 ..... bez záznamu,
  - A ..... atributivní znak (pevná měřidla),
  - V ..... variabilní znak (číslicová měřidla),
  - RK ..... regulační karta,
  - SPC ..... karta SPC,
  - SK ..... sledovací karta dílu, FD.
- b) četnost měření – počet kusů nebo náměrů po sobě jdoucích.
- c) interval – časový interval mezi jednotlivým měřením, (v minutách).

### **Operace číslo 10**

Při této operaci se jako stroj používá vertikální soustruh se zásobníkem. Operace se provádí následujícím způsobem, kolo vložíme do zásobníku, kde se automaticky upne a opracuje. Soustruží se levá strana věnce do  $\varnothing 51_{-0,5}^{+1}$  mm a hlavový průměr hotově s jedním značícím zápichem „C“ dle prováděcího předpisu č. 11/01/06. Dále se provede sražení z obou stran o  $0,5 +0,5 \times 45^\circ$ .

**Tabulka č. 3** Kontrolní plán operace číslo 10 - 02T 311 285

DRUH	ROZMĚR [mm]	ČET. MĚŘ.	INTERVAL	ZÁZNAM	PLATÍ PRO
tech. pomůcka č. 7 + 7P	hlavový průměr kola 80,8 -0,15	1	60	0	285 P, AF
tech. pomůcka č. 7 + 7N	hlavový průměr kola 79,65 -0,15	1	60	0	285 N
tech. pomůcka č. 7 + 7Q	hlavový průměr kola 77,15 -0,15	1	60	0	285 Q
dig. posuvka	hlavový průměr kola 76,45 -0,15	1	30	0	285 AG - ANG
dig. posuvka	hlavový průměr kola 77,2 -0,15	1	30	0	285 AA - ANG
vizuálně	sraž. hran hlav. průměru na 0,5 +0,5 x 45°	1	30	0	všechny typy
dig. posuvka	průměr náboje $\varnothing 51_{-0,5}^{+1}$	1	30	0	všechny typy
kontr. přístroj společný	17,6 -0,15	1	30	0	všechny typy
hrot. přístroj společný	házení levé strany věnce max. 0,015 na $\varnothing 70$	3	60	V	všechny typy
	rad. ház. hlav. průměru max. 0,06	1	30	0	všechny typy
opton	rovinnost pravé strany nábojky max. 0,02	1	týden	protokol	všechny typy
vizuálně	celkové provedení operace	každý kus		SK	

Zdroj: Škoda Auto a.s.

### Operace číslo 11

Při této operaci se jako stroj používá protahovačka se zásobníkem. Operaci provádíme následujícím způsobem, kolo vložíme na zásobník, kde se automaticky upne a opracuje. Protahuje se vnitřní drážkování hotově na  $\varnothing 34,25 +0,1$  mm. Sražení podélných hran maximálně o 0,2 mm. Patní průměr nutno dodržet na rozměru 35,46 – 35,51 mm. Počet zubů vnitřního drážkování je 44 ( $z = 44$ ) a modul je 0,79375 mm ( $m = 0,79375$  mm). Po každé výměně nástroje a dále jedenkrát za týden se předá jeden kus na KMS.

**Tabulka č. 4** Kontrolní plán operace číslo 11 - 02T 311 285

DRUH	ROZMĚR [mm]	ČET. MĚŘ.	INTERVAL	ZÁZNAM	PLATÍ PRO
kalibr válc.	34,25 +0,1	3	240	A	všechny typy
kontr. přístroj	M <sub>dk</sub> 32,310 - 32,365	1	240	V	všechny typy
KMS	předat na KMS k proměření parametrů vnitřního drážkování v intervalu dle poznámky	1	dle pozn.*	protokol KMS	všechny typy
hrot. přístroj	čelní házení levé strany nábojky max. 0,03 na Ø 40	3	240	V	všechny typy
příst. na odval	úchylka házení na dvoubok. odvalu max. 0,06 měřit jen při změně sledu operací a hroty nahoru	1	po výměně nástroje	0	351 D, E, F, N
vizuálně	celkové provedení operace	každý kus		SK	

\*po výměně nástroje.

Při označení D/T (dobrý/technologický) je první znak rozměrový a druhý pro úchylky tvaru zubu. Pro konečné rozhodnutí je kontrola kalibrem, pro kterou platí: překročení úchylek ozubení jakož i menší míra mezi kuličkami jsou možné pokud přejímka kalibrem je v pořádku. Pro kontrolu použít drážkový kalibr Frencu 47363/00/01/00 z op.135.

Zdroj: Škoda Auto a.s.

### **Operace číslo 12, 72, 112, 137**

Při této operaci se ozubená kola a manipulační plata vyperou (odmastí) dle technologického postupu číslo 4 (u operace 112 dle postupu číslo 1). Tento stroj je společný pro hnané kola třetího a čtvrtého rychlostního stupně a pro hnací kolo pátého rychlostního stupně.

### **Operace číslo 45**

Při této operaci se jako přístroj používá odvalovací frézka se zásobníkem. Operaci provádíme následujícím způsobem, frézuje se hlavní ozubení s přidavkem pro ševingování a srazí se podélné hrany ozubení. Počet zubů ozubeného kola je 43 a modul je 1,5 mm (z = 43, m = 1,5 mm).

**Tabulka č. 5** Kontrolní plán operace číslo 45 - 02T 311 285

DRUH	ROZMĚR [mm]	ČET. MĚŘ.	INTERVAL	ZÁZNAM	PLATÍ PRO
DO-3	$M_{dk}$ 81,400 - 81,476	1	120	V	285 P
DO-3	$M_{dk}$ 80,275 - 80,351	1	120	V	285 N
DO-3	házení ozubení $F_r$ 0,045	1	120	V	285 P, N, Q, AF
DO-3	$M_{dk}$ 81,540 - 81,600	1	120	V	285 AF
DO-3	$M_{dk}$ 77,738 - 77,814	1	120	V	285 Q
talíř. mikrometr	rozměr přes zuby 25,666 - 25,641 / 6 zubů	1	při seřízení	0	285 P
talíř. mikrometr	rozměr přes zuby 25,606 - 25,581 / 6 zubů	1	při seřízení	0	285 N
talíř. mikrometr	rozměr přes zuby 25,601 - 25,576 / 6 zubů	1	při seřízení	0	285 Q
talíř. mikrometr	předat na KMS k proměření parametrů ozubení dle předpisu tech. výkresu	1	při výmn. nástroje	protokol.	285 P, N, Q, AF
vizuálně	celkové provedení operace	každý kus		SK	

Zdroj: Škoda Auto a.s.

### Operace číslo 70

Při této operaci se jako přístroj používá ševingovací stroj se zásobníkem. Operaci provádíme následujícím způsobem, kolo vložíme do zásobníku, kde se automaticky upne a opracuje. Provede se sražení ozubení o 0,3 +0,3 mm hotově. Ševinguje se ozubení s podélnou modifikací  $0,006 \pm 0,005$  mm a výškovou modifikací  $0,006 \pm 0,005$  mm hotově. Počet zubů ozubeného kola je 43 a modul je 1,5 mm ( $z = 43$ ,  $m = 1,5$  mm).

**Tabulka č. 6** Kontrolní plán operace číslo 70 - 02T 311 285

DRUH	ROZMĚR [mm]	ČET. MĚŘ.	INTERVAL	ZÁZNAM	PLATÍ PRO
DO-3	M <sub>dk</sub> 81,184 - 81,261	1	120	V	285 P
DO-3	M <sub>dk</sub> 80,136- 80,059	1	120	V	285 N
DO-3	M <sub>dk</sub> 77,599 - 77,522	1	120	V	285 Q
DO-3	házení ozubení F <sub>r</sub> 0,045	1	120	0	285 P, N, Q
	předat na KMS k proměření parametrů ozubení - dle předpisu tech. výkresu	1	při výmn. nástroje a dále 1x za směnu	protokol	285 P, N, Q
parkson	úchylka pro měř. dvoubok. odvalu F <sub>i</sub> max. 0,04	1	240	0	285 P, N, Q
vizuálně	sražení boku zubů 0,3 +0,3	1	240	0	všechny typy
vizuálně	celkové provedení operace	každý kus		SK	

Zdroj: Škoda Auto a.s.

### Operace číslo 75

Při této operaci se provádí pooperační kontrola. Provádí se stoprocentní vizuální kontrola všech operací a celkové provedení musí odpovídat výrobnímu postupu. Kontrolu provádíme přístrojem na měření dvoubokého odvalu a porovnáním se vzorovým kolem. Maximální odchylka může být 0,04 mm. Pokud kontrolované kolo odpovídá daným tolerancím, celá dávka se označí a potvrdí se kompletnost a počet kusů. V případě zjištění závady na ozubení se provede stoprocentní kontrola celé dávky.

### Operace číslo 80T, 81T

Tepelné zpracování v kalírně. Při této operaci se provádí nitrocementace, popouštění, tryskání, pevnostní tryskání, čištění po tryskání, kontrola materiálu, technická kontrola, to vše dle postupu tepelného zpracování (TZ) a praní.

1) **operace číslo 90, 100** – při této operaci se používají čtyři průběžné pece. Cyklus nitrocementace, kalení, praní a popouštění proběhne automaticky dle nastaveného programu viz skupinový technologický předpis 777 777 7777. 168 kusů ozubených kol se narovná na základový rošt s nosnými deskami a automaticky se vloží do pece. Během procesu se provádí samokontrola kvality tepelného zpracování.

Technologický předpis 777 777 7777 pro průběžnou pec číslo jedna. Průběžná pec č. 1 má takt 13 až 16 minut. Podle postupu číslo pět se provádí nitrocementace do hloubky

0,3 – 0,5 mm. Nosná atmosféra je tvořena endotermickým plynem o rosném bodu +4 až +6 °C. Uhlíkový potenciál se nastavuje na přístroji Carbomat na hodnotu 1,1 % v 1. zóně s tolerancí ±0,05 % a na hodnotu 0,85 % ve 3. zóně s tolerancí ±0,05 %.

Nastavení teploty pece:

- 900 °C – 1.zóna, tolerance -20 +10 °C,
- 900 °C – 2.zóna, tolerance ±10 °C,
- 830 °C – 3.zóna, tolerance -8 +10 °C

Nastavení průtokoměru ENDO je 14 N.m<sup>3</sup>/hod v 1. zóně, 12 N.m<sup>3</sup>/hod ve 2. zóně a 22 N.m<sup>3</sup>/hod ve 3. zóně. Hodnota průtoku ENDO se může pohybovat v toleranci +2 -1 N.m<sup>3</sup>/hod. Příklad čpavku v první zóně je 0,2 N.m<sup>3</sup>/hod a ve druhé zóně je 0,4 N.m<sup>3</sup>/hod. Příklad zemního plynu pro druhou a třetí zónu a přídavek vzduchu pro třetí zónu je řízený automaticky CARBOMATEM na předepsanou hodnotu uhlíkového potenciálu.

Teplota kalícího oleje je 90 °C s tolerancí ±10 °C. Doba kalení je pět minut (300 s).

Teplota v popouštěcích pecích je v první a třetí zóně 150 – 180 °C s tolerancí ±5 °C a ve druhé zóně 150 – 180 °C s tolerance -5 +8 °C.

- 2) **operace číslo 105** – tryskání se provádí ve stroji SCHLINK ROTO-JET HB 10/72 nebo STEM H9x14/3WX1M, kde se dávka narovná na přípravek (jeden kus na jeden háček) a proběhne tryskání (celkový čas tryskání 15 minut). Pro tryskání se používá ocelová drť.
- 3) **operace číslo 110** – pevnostního tryskání se provádí na stroji SCHLINK (satelitový pevnostní tryskač), kde se na trn satelitového otočného stolu vloží čtyři kusy a po tomto uložení proběhne cyklus pevnostního tryskání. Pro pevnostní tryskání se používají ocelové broky (ocelové kuličky mají  $\varnothing$  0,4 mm).
- 4) **operace číslo 120** – při této operaci jako nástroj používáme tvrdoměr. Operaci provádíme následujícím způsobem, u tří kusů z dávky provedeme dvěma vpichy, na zaleštěné plošce v místě pro zkoušku tvrdosti, kontrolu tvrdoměrem ROCKWELL (bez záznamu). Požadovaná tvrdost je 81 – 83 HRA.

V případě zjištění kusů mimo předepsanou toleranci překontrolujeme tvrdost tvrdoměrem VICKERS (680 +100 HV30). Při zjištění kusů mimo předpis HV dávku pozastavíme a upozorníme mistra, seřizovače a technickou kontrolu.

U namátkově vybraných kusů zkontrolujeme kvalitu zpracování dalších operací (pračka, pevnostní tryskání).



Kontrola tvrdoměru se provádí jednou za týden v ranní směně pěti vpichy do tvrdoměrné destičky a naměřené hodnoty se zaznamenají do tabulky: ETANOLÁŽ TVRDOMĚRU.

Každá zkontrolovaná dávka se označí a potvrdí se kompletnost a počet kusů a odešle se do střediska 2143 k dalšímu opracování.

### **Operace číslo 135**

Při této operaci se jako stroj používá protahovačka se zásobníkem. Operaci provádíme následujícím způsobem, kolo vložíme na zásobník, kde se automaticky upne a opracuje. Kalibruje se vnitřní drážkování včetně díry na  $\varnothing 34,25 +0,1$  mm. Sražení podélných hran maximálně o 0,2 mm. Patní průměr nutno dodržet na rozměru 35,46 – 35,51 mm. Počet zubů vnitřního drážkování je 44 ( $z = 44$ ) a modul je 0,79375 mm ( $m = 0,79375$  mm). Po každé výměně nástroje a dále jedenkrát za směnu se předá jeden kus na KMS. Měřit pouze plochy obrobené za tvrda.

**Tabulka č. 7** Kontrolní plán operace číslo 135 - 02T 311 285

DRUH	ROZMĚR [mm]	ČET. MĚŘ.	INTERVAL	ZÁZNAM	PLATÍ PRO
kalibr válc.	∅ 34,25 +0,1	1	240	0	P, N, Q
kalibr válc.	∅ 34,3 +0,05	3	z dávky	0	AF
dráž. kalibr. č. 2	patní ∅ 35,460 - 35,51	1	240	0	všechny typy
kontr. přístroj	M <sub>dk</sub> 32,332 - 32,387	1	480	V	všechny typy
kontr. přístroj	ovalita 0,035 (max. rozdíl 3 měření M <sub>dk</sub> cca po 120°)	1	480	0	všechny typy
hrot. přístroj	ax. házení levé strany max. 0,03 na ∅ 40	3	480	V	všechny typy
drážk. kalibr	drážkování – průchodnost	1	30	0	všechny typy
drsnoměr	drsnost v patě drážkování R <sub>z</sub> 6,3 max.	1	480	protokol	všechny typy
KMS	předat na KMS k proměření parametrů vnitřního drážkování dle předpisu tech. výkresu	1	dle pozn.*	protokol KMS	všechny typy
vizuálně	celkové provedení operace	každý kus		SK	

\*po výměně nástroje a dále po 2000 kusech.

Při označení D/T (dobrý/technologický) je první znak rozměrový a druhý pro úchytky tvaru zubu. Pro konečné rozhodnutí je kontrola kalibrem pro kterou platí: překročení úchylek ozubení jakož i menší míra mezi kuličkami jsou možné pokud přejímka kalibrem je v pořádku.

Zdroj: Škoda Auto a.s.

#### **Kontrola na měrovém středisku ozubárny:**

1) **operace číslo 13** se provádí po výměně nástroje a dále jedenkrát týdně:

- úchylka sousedních roztečí – 0,014 mm,
- vlnitost – 0,025 mm,
- úchylka sklonu boku zubu – 0,06/100,
- součtová úchylka roztečí – 0,043 mm,
- rozdíl obvodového házení mezi otvorem o ∅ 34,25 +0,1 a patou o ∅ 35,460 – 35,510, maximální rozdíl by měl být 0,01 mm,
- průměr M<sub>dk</sub> = 32,310 – 32,365 mm,
- hlavový průměr D<sub>a</sub> = 34,250 – 34,350 mm,

- patní průměr  $D_f = 35,460 - 35,510$  mm.
- 2) **operace číslo 48** se provádí po výměně nástroje:
- úhlová úchylka profilu  $f_{H\alpha} = \pm 0,014$  mm,
  - úhlová úchylka sklonu zubu  $f_{H\beta} = \pm 0,025$  mm,
  - cyklická úchylka kola  $F_p z/8 = 0,04$  mm,
  - házení ozubení  $F_r = 0,045$  mm.
- 3) **operace číslo 73** měření ozubení se provede po výměně nástroje a dále jedenkrát za směnu:
- podélnou modifikaci  $0,006 \pm 0,005$  mm a výškovou modifikaci  $0,006 \pm 0,005$  mm,
  - úhlová úchylka profilu  $f_{H\alpha} = \pm 0,010$  mm,
  - úhlová úchylka sklonu zubu  $f_{H\beta} = \pm 0,016$  mm,
  - cyklická úchylka kola  $F_p z/8 = 0,032$  mm,
  - tvarová úchylka profilu  $f_f = 0,008$  mm,
  - úchylka čelní rozteče  $f_p = 0,009$  mm,
  - tvarová úchylka sklonu zubu  $f_{\beta f} = 0,007$  mm,
  - drsnost  $R_z 0,006 \mu\text{m}$ ,
  - průměr  $M_{dk} = 77,522 - 77,599$  mm,
  - házení ozubení  $F_r = 0,045$  mm.
- 4) **operace číslo 138** měření ozubení se provede po výměně nástroje a dále jedenkrát za směnu:
- úchylka sousedních roztečí –  $0,014$  mm,
  - vlnitost –  $0,025$  mm,
  - úchylka sklonu zubu –  $0,06/100$ ,
  - rozdíl obvodového házení mezi otvorem o  $\varnothing 34,3 + 0,05$  mm a patou o  $\varnothing 35,460 - 35,510$  mm, maximální rozdíl by měl být  $0,01$  mm,
  - průměr  $M_{dk} = 32,332 - 32,387$  mm,
  - hlavový průměr  $D_a = 34,250 - 34,350$  mm,
  - patní průměr  $D_f = 35,460 - 35,510$  mm.

## **Operace číslo 150**

Při této operaci se používá zařízení pro zkoušení ozubení dvoubokým odvalem s vyhodnocením hlučnosti a určením poškozených míst na ozubení se zásobníkem a automatickým nakládáním obrobku. Operaci provádíme následujícím způsobem, ozubené kolo se automaticky naloží a vyhodnotí na hlučnost. Po zkoušce se označí poškozená (potlučená) místa na ozubení. Vyhodnocené díly se potom třídí do tří skupin:

- dobré díly,
- opravitelné díly,
- neopravitelné zmetky.

Vyřazené díly z druhé skupiny se označí nesmazatelným fixem a opraví se ručním brouskem a očistí silonovým kartáčem. Při opravě poškozených míst se nesmí zasahovat do činné plochy ozubení. Opravené kusy se znovu uloží do zásobníku a znovu se odzkouší. Dvakrát označený díl, který byl zařazený znovu do druhé skupiny se vyřadí jako neopravitelný díl.

Na začátku směny a při ověřování funkce stroje se kontroluje správné vyhodnocení technologických dílů (technologických pomůcek). Současně se očistí vzorové kolo silonovým kartáčem.

### 3 Teoretický popis výrobních technologií

V této kapitole se budu věnovat teoretickému popisu jednotlivých technologických operací, které byly popsány výše. Zde budou popsány následující technologie, protahování, ševingování, operace tepelného zpracování (cementace, kalení, popouštění), pevnostní tryskání a měření tvrdosti.

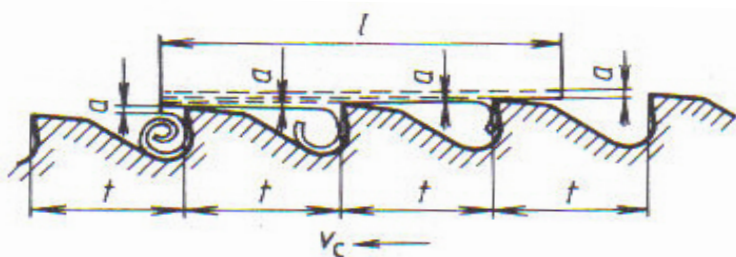
#### 3.1 Protahování

Protahování je obrábění vnitřních nebo vnějších rovinných nebo tvarových ploch mnohobřitým nástrojem. Výhodou protahování je vysoká přesnost rozměrů i tvaru a jakost obrobené plochy. Nástroj, protahovací trn, je výrobně náročný a drahý a nevyplatí se ho vyrábět pro menší výrobní série.

##### 3.1.1.1 Podstata metody

Hlavní řezný pohyb při protahování je obvykle přímočarý, ale může být i otáčivý (u kotoučových protahováků) a vykonává ho zpravidla nástroj. Vysokou produktivitu protahování zajišťuje současný záběr více břitů protahovacího trnu (obr.č. 2).

Pro jednu protahovanou drážku je počet zubů protahovacího trnu v záběru  $z_{z1} = l/t$  (kde  $t$  je rozteč zubů protahovacího trnu a  $l$  je délka protahovaného obrobku). Pokud se protahuje více drážek současně (např. náboj pro drážkový hřídel), je celkový počet zubů v záběru  $z_z = z_{z1} \cdot n_d$ , kde  $n_d$  je počet protahovacích drážek.



**Obrázek č. 2** Záběr zubů protahovacího trnu s obrobkem

$a$  – tloušťka třísky (posuv na zub  $s_z$ ),  $l$  – délka protahovaného obrobku,  $t$  – rozteč zubů protahovacího trnu,  $v_c$  – řezná rychlost.

### 3.1.1.2 Výpočet protahovací síly

1) obecný postup - protahovací sílu  $F_c$  určíme ze vztahu  $F_c = F_{c1} \cdot z_z$ , kde  $F_{c1}$  je velikost síly na jeden zub. Tuto sílu vypočteme z měrného řezného odporu  $p$  a průřezu třísky  $S$ , odebírané jedním zubem protahovacího trnu:

$$F_{c1} = p \cdot S, \text{ kde } S = a \cdot b$$

kde  $b$  je šířka třísky,

$a$  je tloučka třísky.

2) řezná síla  $F_c$  pro protahování vícedrážkových profilů:

$$F_c = \sum_i F_{ci} \text{ [N]}$$

kde  $i$  (1,  $n_z$ ), kde  $n_z$  je počet současně zabírajících zubů.

$$F_c = C_{Fc} \cdot f_z^{y_{Fc}} \cdot b_d \cdot n_d \cdot n_z \text{ [N]}$$

- $C_{Fc}$  – konstanta [-],
- $f_z$  – posuv na zub [mm],
- $b_d$  – šířka drážky vícedrážkového profilu [mm],
- $n_d$  – počet drážky vícedrážkového profilu [mm],
- $n_z$  – počet současně zabírajících zubů [-],
- $y_{Fc}$  – exponent vlivu jmenovité tloušťky třísky [-].

**Tabulka č. 8** Směrné hodnoty  $C_{Fc}$  a  $y_{Fc}$  pro stanovení  $F_c$  při protahování

Obráběný materiál		Užití protahovacího trnu					
		kruhový profil		drážkový profil		klínové drážky	
		$C_{Fc}$	$y_{Fc}$	$C_{Fc}$	$y_{Fc}$	$C_{Fc}$	$y_{Fc}$
<b>Nelegovaná ocel</b>	$R_m = 700 \text{ MPa}$	7000	0,85	2120	0,85	1770	0,85
	$R_m = 800 \text{ MPa}$	8420	0,85	2840	0,85	2500	0,85
<b>Legovaná ocel</b>	$R_m = 700 \text{ MPa}$	7620	0,85	2300	0,85	2020	0,85
	$R_m = 800 \text{ MPa}$	10000	0,85	3150	0,85	2820	0,85
<b>Litina</b>	180 – 190 HB	3000	0,73	1540	0,73	1150	0,73
	200 – 220 HB	3540	0,73	2150	0,73	1370	0,73

Zdroj: Řasa, J., Gabriel, V. Strojírenská technologie 3 – 1. díl

Při konstrukci protahovacích trnů je důležitým parametrem objem a tvar zubové mezery. Do ní se musí volně vejít celá třísky odebíraná jedním zubem trnu (obr. č. 2).

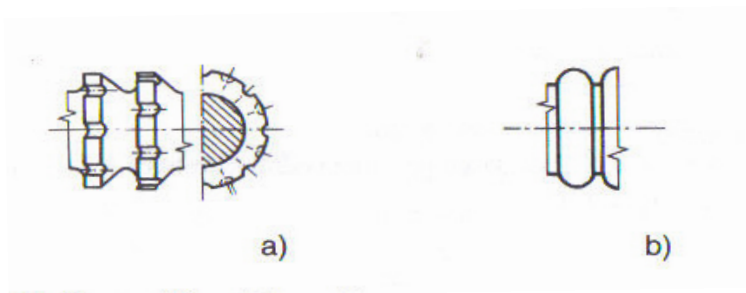
### 3.1.1.3 Nástroje

Protahovací trny mají upínací, vodící, řezací a kalibrovací část. Při vyšších nárocích na jakost obrobeneé plochy mají ještě hladicí část, kterou tvoří několik zubů mezi kalibrovací částí trnu a zadním vedením. Pokud by délka řezací části byla příliš velká, lze trn rozdělit na dva až tři nástroje v sadě. Typický tvar protahovacího trnu je na obr. č. 3. Vedení trnu slouží k jeho středění v protahované díře.



**Obrázek č. 3** Protahovací trn

a) upínací část, b) přední vedení, c) řezací část, d) kalibrovací část. e) zadní vedení



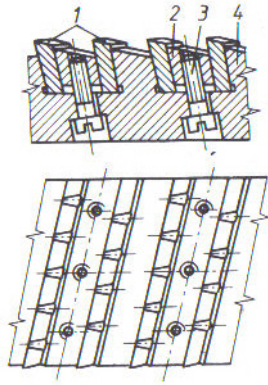
**Obrázek č. 4** Tvar zubů protahovacího trnu

a) řezací zuby, b) hladicí zuby

Tvar zubů řezací části je na obr. č. 4a. Zuby bývají přerušeny drážkami (tzv. děličí třísek), které dělí třísku a usnadňují její utváření. Zuby kalibrační části nejsou děleny, jsou stejně vysoké a je na nich vybroušena fasetka o šířce 0,2 až 0,8 mm s nulovým úhlem hřbetu. To umožňuje dodržení přesného rozměru protahovaného tvaru i po přestření trnu. Hladicí zuby mají tvar znázorněný na obr. č. 4b a jejich rozměr je proti kalibrovacím zubům o 0,001 až 0,005 mm větší.

Protahovací trny se ostří zásadně na čele zubů. Tím se minimalizuje změna rozměrů protahované díry. Aby byla změna rozměrů co nejmenší, je úhel hřbetu zubů velmi malý (1 až 3°). Ostření na hřbetě by způsobilo příliš rychlou změnu tvaru a rozměrů trnu.

Nástroje pro protahování se vyrábějí obvykle z nástrojových a rychlořezných ocelí. Pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů se někde používá protahovacích trnů se zuby osazenými vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů (obr. č. 5).



**Obrázek č. 5** Protahovací trn s břity ze slinutého karbidu

1 – vyměnitelné břitové destičky, 2 – upínací klín, 3 – upínací šroub, 4 – těleso protahovacího trnu

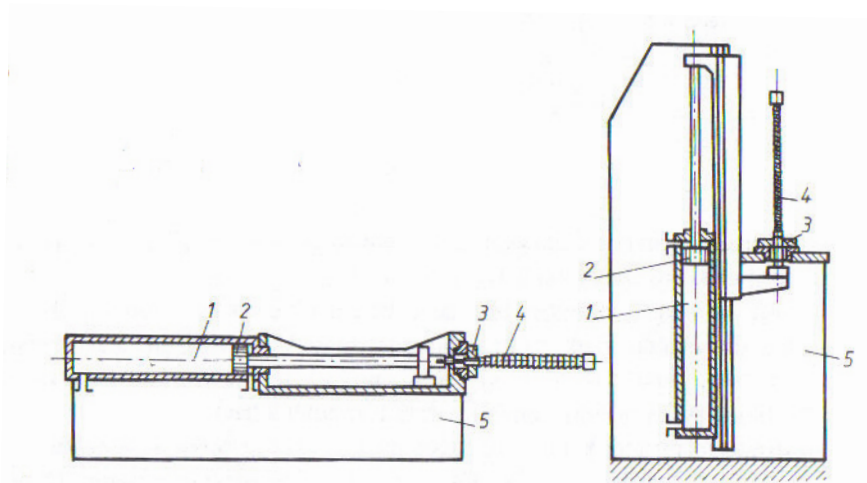
### 3.1.1.4 Stroje

K protahování vnitřních i vnějších ploch se užívá dvou typů protahovaček:

- svislá protahovačka – ta má hlavní pohyb nástroje vertikální, lze v ní obvykle použít i více nástrojů současně,
- vodorovná protahovačka – ta má hlavní pohyb nástroje horizontální.

Pohyb nástroje je u některých strojů odvozen od pohybového šroubu nebo pastorku a ozubeného kola. Většina protahovaček má hydraulický pohon. Schematicky je vodorovná a svislá protahovačka znázorněna na obr. č. 6.

Nevýhodou vodorovné protahovačky je, že průhyb trnu, způsobený vlastní hmotností trnu, zhoršuje přesnost protahování. Protahovačky se stavějí na průtažnou sílu 20 až 500 kN.



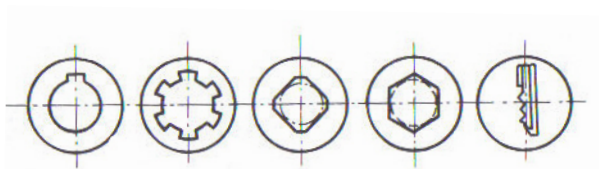
**Obrázek č. 6** Protahovačky (zleva) vodorovná, svislá

1 – hydraulický válec, 2 – píst, 3 – obrobek, 4 – protahovací trn, 5 - stojan



### 3.1.1.5 Práce na protahovačkách

Jak již bylo řečeno, jsou protahovací nástroje velmi nákladné, jejich výroba je složitá a drahá. Proto je ekonomicky výhodné používat tyto nástroje pouze pro výrobu velkých sérií obrobků. Trvanlivost břitů těchto nástrojů, uváděna v počtech obrobků, bývá značná, pohybuje se kolem 2 až 6 tisíc kusů. Vzhledem k velkému počtu zubů v záběru se odebírají značné objemy třísek za jednotku času a výkonnost protahování je proto vysoká.



**Obrázek č. 7** Příklad protahovacích tvarů vnitřních ploch

Obrábět lze materiály do pevnosti asi 1 400 MPa. Lze protahovat obrobky z oceli, litiny i neželezných kovů.

Protahováním vnitřních ploch se obrábějí díry nejrůznějších průřezů. Nejčastěji jsou to drážky pro pero, náboje pro drážkované hřídele, vnitřní ozubení, vícehranné díry a díry nepravidelných tvarů (obr. č. 7). Výchozí díra je předvrtaná nebo je součástí odlitku a bývá zpravidla kruhová.

### 3.1.1.6 Řezné podmínky

Řezná rychlost a posuv na zub při protahování jsou ovlivněny obráběným materiálem a tvarem obráběné plochy. Informativní hodnoty jsou uvedeny v tab. č. 9. Posuv na zub nesmí klesnout pod 0,02 mm, protože pak by již byl srovnatelný s poloměrem ostří nástroje  $r_n$  a nedošlo by k oddělení třísky.

**Tabulka č. 9** Řezné podmínky při protahování nástroje z rychlořezné oceli

Obráběný materiál	Třída obrobitelnosti	Drážkované náboje		Kruhové a mnohoúhelníkové díry		Vnější plochy	
		v [m.min <sup>-1</sup> ]	s <sub>z</sub> [mm]	v [m.min <sup>-1</sup> ]	s <sub>z</sub> [mm]	v [m.min <sup>-1</sup> ]	s <sub>z</sub> [mm]
Ocel 500 až 800 MPa	13 – 14b	5 – 12	0,02- 0,12	3 – 12	0,02-0,08	8 – 20	0,04- 0,15
Šedá litina 200 HB	11a	3 – 12	0,03- 0,15	2 – 15	0,03-0,1	5 – 20	0,05- 0,2
Slitiny hliníku HB 100		10 – 35	0,02- 0,15	5 – 30	0,02-0,05	10 – 50	0,05- 0,2
Slitiny mědi HB 90		5 – 15	0,02- 0,2	3 – 12	0,02-0,2	12 – 30	0,02- 0,3

Zdroj: Řasa, J., Gabriel, V. Strojírenská technologie 3 – 1. díl

Uvedené řezné podmínky jsou pouze orientační. Řezné podmínky závisí na vlastnostech obrobku, tvaru protahované plochy a řezném prostředí. U protahovacích trnů, osazených břity ze slinutých karbidů, lze použít řezných rychlostí 60 až 100 m.min<sup>-1</sup>.

### 3.1.1.7 Dosahované parametry

Dosahovaná přesnost obrábění je při protahování vysoká, jakost obrobeného povrchu je velmi dobrá a je ovlivněna řezným prostředím. Jako chladicí kapaliny se používají zejména aditivované minerální oleje, které snižují tření, a tím i protahovací sílu. Při protahování se dosahuje parametrů, které jsou uvedeny v tab. č. 10.

**Tabulka č. 10** Parametry dosahujících se při protahování

Operace	Přesnost rozměrů IT	Jakost obrobeného povrchu R <sub>a</sub> (μm)
Běžné protahování	7 – 9	0,8 – 6,3
Protahování načisto	6 – 7	0,2 – 0,8
Protahování nástrojem s kalibrací a hladicími zuby	5 – 8	0,2 – 1,6

Zdroj: Řasa, J., Gabriel, V. Strojírenská technologie 3 - 1. díl

## 3.2 Ševingování

Při výrobě ozubených kol se nedosahuje požadované přesnosti a jakosti povrchu zubů. Proto se používají dokončovací metody obrábění ozubení, a to ševingování, broušení, lapování a zaběhávání.

Ševingování je dokončovací operace při výrobě ozubených kol, zejména nekalených, při které se z boků zubů odebírají jemné třísky a opracovaný bok tak vykazuje vysokou geometrickou přesnost. Nástrojem je buď ševingovací kolo nebo ševingovací hřeben. Břity obou těchto nástrojů jsou vytvořeny drážkami na bocích zubů. Ševingovací nástroj zabírá s obráběným kolem prostorově, což je předpoklad pro vznik řezného pohybu (smyku mezi nástrojem a obrobkem). Ševingovací kolo je hnací, hnané obráběné kolo je brzděno. Pracovní stůl s ševingovacím kolem vykonává příčný střídavý pohyb. Při směru pohybu rovnoběžném se směrem osy obrobku se jedná o ševingování podélné. Při diagonálním ševingování je osa obrobku skloněna ke směru pohybu pracovního stolu. Při podélném způsobu ševingování lze provádět též podélnou modifikaci, při níž se bok zubu na obou čelech kola odlehčí. Tato úprava snižuje podstatně hlučnost soukolí a zabraňuje hranovému záběru ozubených kol.

### Složky obvodové rychlosti nástroje:

- radiální složka
  - $v_{rn} = v_n \cdot \cos \beta_n$  [m.min<sup>-1</sup>],
- tangenciální (tečná) složka
  - $v_{tn} = v_n \cdot \sin \beta_n$  [m.min<sup>-1</sup>].

Vzhledem k tomu, že zub nástroje a obrobku jsou pevné a mají v pólu záběru shodný směr, musí mít normálová složka rychlosti obrobku  $v_{ro}$  stejnou hodnotu jako normálová složka  $v_{rn}$  rychlosti nástroje.

- $v_{ro} = v_{rn} = v_n \cdot \cos \beta_n$  [m.min<sup>-1</sup>],
- $v_{tn} = v_{ro} \cdot \operatorname{tg} \beta_o = v_n \cdot \cos \beta_n \cdot \operatorname{tg} \beta_o$  [m.min<sup>-1</sup>].

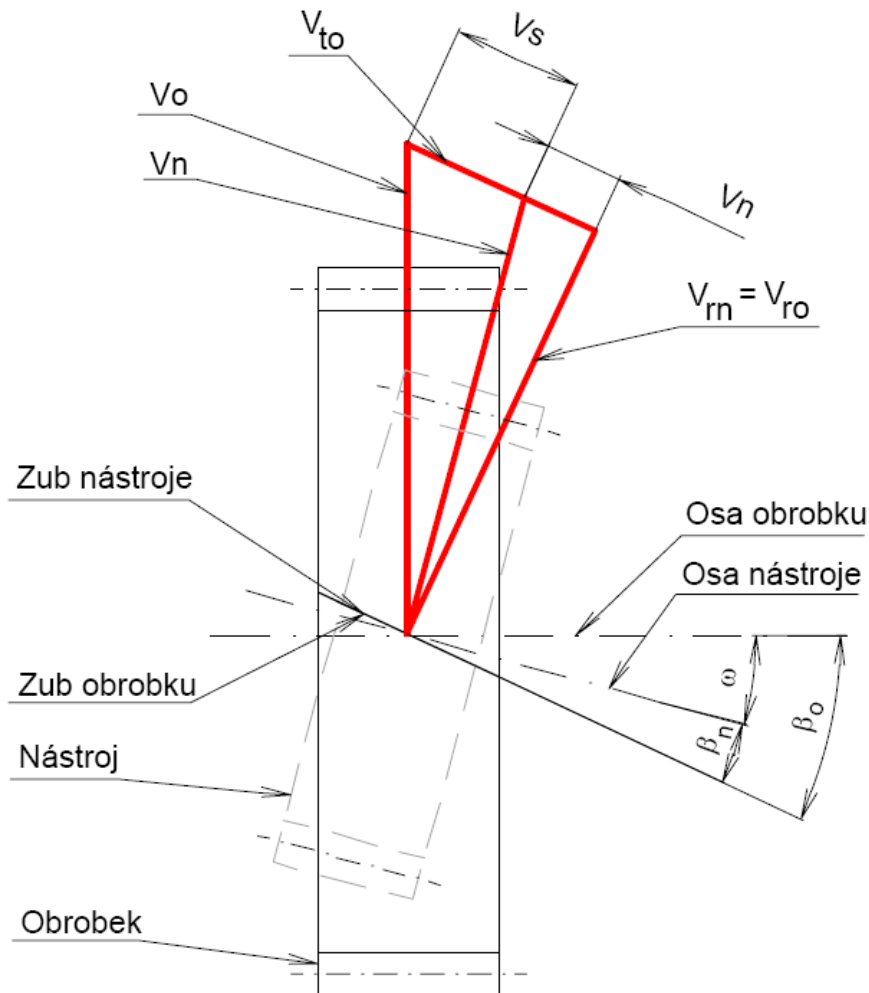
Řezná rychlost nástroje při ševingování  $v_s$  je dána rychlostí skluzu boků zubů nástroje a obrobku.

- $v_s = v_{to} - v_{tn} = v_n \cdot (\cos \beta_n \cdot \operatorname{tg} \beta_o - \sin \beta_n)$  [m.min<sup>-1</sup>].

Úhel zkřížení os  $\omega$ :

- $\omega = \beta_o + \beta_n$  [°] – pro souhlasný směr sklonu zubů nástroje a obrobku,
- $\omega = \beta_o - \beta_n$  [°] – pro nesouhlasný směr sklonu zubů nástroje a obrobku.

### Schéma ševingování



**Obrázek č. 8** Schéma ševingování

Legenda:

- $v_{rn} = v_{ro}$  – rychlost otáčení ševingovacího kola,
- $v_o$  – rychlost otáčení obrobku,
- $v_s$  – rychlost ševingování,
- $\beta_n$  – úhel sklonu zubů ševingovacího kola,
- $\omega$  – úhel zkřížení,
- $\beta_o$  – úhel posuvu.

### 3.3 Chemicko-tepelné zpracování kovů

Podstatou všech druhů chemicko-tepelných zpracování je úmyslné sycení povrchových vrstev hotové součásti atomy vybraných prvků s cílem dosáhnout rozdílných vlastností mechanických, fyzikálních nebo chemických mezi povrchem a jádrem součásti. Sycení povrchu se provádí vždy za zvýšené teploty z důvodu zvýšení rychlosti difúze příslušného prvku do základního materiálu.

Pro chemicko-tepelné zpracování se používá aktivní plynné, kapalné nebo tuhé (sypké) prostředí. Při optimální teplotě se rozkladem molekul (disociací) daného prostředí uvolňují prvky v atomární formě, které se uchycují na povrchu oceli (absorpce) a pohybují se difúzním mechanismem strukturou oceli ve směru koncentračního spádu, tedy od povrchu dovnitř materiálu.

Nejčastěji se chemicko-tepelné zpracování provádí za účelem zvýšení tvrdosti, a tím i odolnosti proti opotřebení a zvýšení odolnosti proti únavě materiálu, při zachování houževnatého jádra výrobku.

#### 3.3.1 Cementování

Cementování je sycení oceli atomárním uhlíkem za účelem zvýšení obsahu uhlíku v povrchové vrstvě hotového výrobku na eutektoidní koncentraci (0,8 – 0,9 hm. %).

Obsah uhlíku v cementované vrstvě vyšší než 1 hm. % se projeví vyloučením nadeutektoidních karbidů, které v případě rozložení na hranicích zrn zvyšují křehkost cementované vrstvy.

Takto vzniklá povrchová vrstva se po následném kalení a nízkoteplotním popouštění vyznačuje vysokou tvrdostí (okolo 60 HRC), a tím i odolností proti otěru. Cementování současně zvyšuje i odolnost proti únavě.

Cementování v plynném prostředí je nejrozšířenější. Cementační atmosféry jsou směsí plynů oxidu uhelnatého (CO), oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), metanu (CH<sub>4</sub>), dusíku (H<sub>2</sub>) a vody (H<sub>2</sub>O). K jejich výrobě se používá plynů (metanu, butanu) nebo látek kapalných (terpentýn, petrolej, alkohol).

Plynné prostředí je pro cementování nejvhodnější, protože celý proces se dá přesně kontrolovat a řídit, takže lze vždy vytvořit pro daný účel požadovanou tloušťku vrstvy.

Cementování se vždy provádí na ocelích nízkouhlíkových o obsahu uhlíku menší než 0,2 hm. % (tzv. cementační oceli), u nichž je zaručen při cementování velký koncentrační spád uhlíku, který pomůže k účinnému vnikání atomárního uhlíku do oceli.

Teplota cementace je vždy vyšší než teplota  $A_3$  pro danou ocel, tedy v oblasti austenitu, v němž má uhlík nejvyšší rozpustnost. Cementování v plynu se provádí při teplotách 900 – 950 °C. Při vyšších teplotách hrubne zrno, zvětšuje se hloubka cementované vrstvy dosažené při stejné výdrži a zvětšuje se obsah uhlíku, zejména na povrchu cementované vrstvy.

Doba cementace ovlivňuje hloubku cementované vrstvy. Ta nemá být zbytečně velká a pohybuje se většinou do 1 mm, výjimečně do 2 mm.

### 3.3.2 Nitrocementování

Nitrocementování je sycení povrchu současně atomy uhlíku (C) a dusíku (N) v oblasti teplot  $A_3$  (820 – 840 °C) za účelem vytvoření povrchové vrstvy obsahující 0,8 – 1,0 hm. % C a cca 0,3 hm. % N.

Na vlastnosti vrstvy má převládající vliv C. Po ukončení pochodu se provádí kalení a nízko teplotní popouštění. Dusík má vliv jak na vlastnosti povrchové vrstvy, tak i na zrychlení procesu. Cementace tak může probíhat stejnou rychlostí při nižší teplotě, tj. 830 – 850 °C.

Nitrocementace se uskutečňuje v plynném nebo kapalném prostředí. Plynná atmosféra je tvořena směsí uhlovodíků a amoniaku (čpavek –  $NH_3$ ).

Současné sycení uhlíkem a dusíkem má následující přednosti a nedostatky:

1. oba prvky jsou austenitotvorné, takže snižují teplotu  $A_{C3}$ , což dává možnost použít nižší teplotu procesu (830 – 850 °C). Při neúplné austenitizaci jádra je menší náchylnost k vytváření ostrého přechodu mezi povrchem a jádrem.
2. rychlost růstu difúzní vrstvy je velká, což vede k nižší teplotě procesu umožňující přímé kalení i u ocelí, které nemají při cementování zaručené jemné zrno. Dusík zvyšuje obsah zbytkového austenitu v povrchové vrstvě což sice snižuje její tvrdost a odolnost proti opotřebení, ale na druhé straně to zvyšuje únavovou pevnost a celkovou houževnatost výrobku. To dovoluje zvýšit pevnost jádra výrobku (1500 – 1700 MPa) a zmenšit hloubku vrstvy na (0,3 – 0,4 mm) při stejné odolnosti proti kontaktní únavě.

3. nižší teplota procesu a menší hloubka vrstvy jsou příčinou rovnoměrnějšího rozložení napětí prvního druhu a menších deformací výrobků.

U nitrocementovaných vrstev je největší odolnost proti střídavému namáhání při značně menší hloubce než u vrstev cementovaných.

### **3.4 Tepelné zpracování kovů**

#### **3.4.1 Kalení**

Kalení je způsob tepelného zpracování, jehož cílem je dosáhnout stavu odlišného od rovnovážného stavu ocelí. Podle převažující strukturní složky se kalení rozděluje na martenzitické a bainitické, přičemž většinou je cílem kalení vznik struktury martenzitické. Při tomto způsobu tepelného zpracování ocelí dosahujeme vysoké tvrdosti a zvýšené odolnosti proti opotřebení. Základní postup kalení spočívá ve třech fázích:

1. ohřev ocelí na kalicí teplotu, která se volí podle rovnovážného diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C, u podeutektoidní ocelí 30 – 80 °C nad teplotou A<sub>C3</sub>, u nadeutektoidních ocelí nad teplotou A<sub>C1</sub>.
2. výdrž na kalicí teplotě, při které proběhne austenitizace oceli. U slitinových ocelí je nutný delší ohřev než u ocelí uhlíkových.
3. ochlazení nadkritickou rychlostí, při které nastane bezdifúzní martenzitická přeměna austenitu na martenzit v rozmezí teplot martenzitické přeměny M<sub>s</sub> a M<sub>f</sub>.

##### **3.4.1.1 Kalitelnost ocelí**

Kalitelnost je schopnost ocelí získat kalením martenzitickou strukturu o velké tvrdosti. Některé vysokolegované oceli (austenitické a feritické) takovou schopnost nemají, a jsou proto nekalitelné. Kalitelnost je závislá především na obsahu uhlíku v oceli. Za kalitelné jsou považovány oceli, které obsahují minimálně 0,2 % uhlíku. Čím je obsah uhlíku větší, tím je ocel po zakalení tvrdší. Tvrdost po kalení je závislá, zvláště u nadeutektoidních ocelí, na kalicí teplotě. Zvyšováním kalicí teploty mezi A<sub>1</sub> a A<sub>cm</sub> se rozpouští v austenitu více sekundárního karbidu, a tím se zvýší i obsah uhlíku v austenitu. Tím, že se austenit více obohatí uhlíkem, popř. slitinovými prvky, klesne jednak teplota začátku martenzitické přeměny M<sub>s</sub> a jednak klesne pod 20 °C i teplota konce martenzitické přeměny M<sub>f</sub>. Takto zakalená ocel obsahuje větší podíl zbytkového austenitu a její tvrdost je menší než po kalení těsně nad A<sub>C1</sub>. Nerovnovážný stav ocelí, který získáme kalením, ovlivňuje ještě mnoho činitelů, jako např. chemické složení ocelí, podmínky austenitizace, tvar a velikost kalené součásti, intenzita ochlazování kalicího prostředí aj.

Kalitelnost oceli se posuzuje zakalitelností a prokalitelností. Zakalitelnost je schopnost oceli nabýt určité nejvyšší tvrdosti zakalením. Zakalitelnost oceli je proto možno posuzovat na základě změření tvrdosti vzorku, který byl ochlazován nadkritickou rychlostí. Prokalitelnost je schopnost oceli dosáhnout této tvrdosti do určité hloubky. Nedosáhne-li se v celém průřezu nadkritické rychlosti ochlazováním, vznikne po zakalení heterogenní struktura. Tam, kde rychlost ochlazování byla větší než kritická (na povrchu součásti), vznikne martenzit, v ostatních místech (v jádře součásti) se přemění austenit na směs martenzitu a bainitu nebo jemného perlitu. Prokalitelnost ocelí se zjišťuje čelní zkouškou prokalitelnosti.

### **Kalící prostředí**

Pro oceli s malou prokalitelností, tj. s krátkou inkubační dobou podle diagramu ARA, musíme volit kalící prostředí intenzivněji působící, tj. prostředí dávající vyšší ochlazovací rychlosti. U ocelí s větší prokalitelností postačí kalící prostředí působící méně intenzivně (olej nebo vzduch). Při velké rychlosti ochlazování vzniká totiž velký teplotní rozdíl mezi povrchem a jádrem součásti, který vede ke vzniku tepelných pnutí, která se přičítají k pnutím způsobeným vlastní martenzitickou přeměnou. Tím mohou výsledná pnutí nabýt hodnot, které způsobí trvalou deformaci součásti nebo dokonce její prasknutí.

**Voda** – nejstarší kalící prostředí. Ochlazení však neprobíhá plynule. Po ponoření součásti ohřáté na teplotu kalení se kolem ní vytvoří parní polštář, který zpomaluje ochlazování. V tomto stádiu není rychlost ochlazování největší. Po ochlazení na teplotu asi 400 °C se parní polštář poruší a nastává intenzivní ochlazování prudkým varem vody. Ve třetím stadiu intenzita ochlazování opět klesá. Nejvyšší účinnost má vodní sprcha.

**Olej** – mnohem mírnější prostředí, i když ochlazování v něm probíhá podobně jako u vody, jen s tím rozdílem, že parní film se dříve poruší a maximum ochlazovacích rychlostí leží v oblasti okolo 500 °C. V oblasti martenzitické přeměny bývá rychlost ochlazování u olejů asi desetkrát menší než u vody. Ke kalení se používá převážně minerálních olejů. Proto musí být olejové kalící lázně ohřáté, zpravidla na 50 °C.

**Roztavené solné lázně** – vyznačují se plynulým ochlazováním. To znamená, že jejich rychlost ochlazování bude v prvním stadiu vyšší a bude postupně klesat s klesajícím teplotním rozdílem mezi předmětem a lázní. Z počátku intenzivní ochlazování později v oblasti martenzitické přeměny pomalejší.



**Vzduchem** – kalí se hluboko prokalitelné oceli, např. rychlořezné oceli. Vnitřní pnutí je velmi malé. Kalení na vzduchu je však spojeno s nebezpečím oduhlíčení. Proto kalíme hlavně rozměrné předměty.

### 3.4.2 Popouštění

Popouštění je ohřev zakalené struktury na teplotu nižší než je  $A_1$  a výdrž na této teplotě po určitou dobu a ochlazení vhodnou rychlostí. Protože vnitřní pnutí mohou vést k popraskání zakaleného předmětu i po vyjmutí z kalicí lázně, mělo by popouštění následovat ihned po zakalení. Účelem popouštění je snížení vnitřního pnutí ve struktuře a získání požadovaných mechanických vlastností. Těmi jsou především houževnatost při zachování maximálně možné tvrdosti.

Podle výšky popouštěcí teploty rozlišujeme popouštění při nízkých teplotách a popouštění při vysokých teplotách, když obě zpracování odděluje teplota asi 350 °C. Do první skupiny patří popouštění nástrojových ocelí, konstrukčních ocelí k cementování, ocelí na valivá ložiska a speciálních ocelí na tepelně mechanické zpracování. Vysokoteplotní popouštění je poslední etapou zušlechťování konstrukčních ocelí nebo popouštění nástrojových ocelí na druhou tvrdost.

Obecnou tendencí při popouštění ocelí je pokles tvrdosti a pevnostních vlastností, ale vzrůst plasticity a houževnatosti. U uhlíkových, nízko a středně legovaných ocelí mají tyto změny vlastností (s výjimkou houževnatosti) v závislosti na teplotě a době popouštění monotónní průběh. Naproti tomu u vysokolegovaných ocelí, u nichž se výrazně projeví precipitační zpevnění (druhá tvrdost), jsou tyto závislosti složitější a přistupuje i vliv teploty austenitizace. V tomto případě se obvykle kombinuje nízká teplota austenitizace s popouštěním při nízké teplotě a naopak.

### 3.5 Mechanické úpravy povrchu

Mezi mechanické úpravy povrchu patří tryskání, omílání, broušení, kartáčování a leštění. Účelem těchto úprav je:

- čištění povrchu materiálu,
- vytvoření podmínek pro zakotvení povlaku,
- zlepšení mechanických vlastností (zvýšení pevnosti, meze únavy),
- vzhledové požadavky.

### 3.5.1 Pevnostní tryskání

Pevnostní tryskání je způsob mechanické úpravy kovového povrchu, při kterém se tryskací materiál vrhá velikou rychlostí proti povrchu součásti. Je to způsob mechanického opracování povrchu substrátu, u kterého tryskací prostředek jako nástroj vyvolává při dopadu v jeho povrchových vrstvách kvalitativní přeměny, přičemž vzniká charakteristická morfologie povrchu. Z hlediska uspořádání nerovností patří tryskaný povrch do skupiny neorientovaných – izotropních povrchů, jejichž charakter je dán zejména tvarem použitého zrna tryskacího prostředku. Na charakter mikrogeometrie vedle tvaru zrn má také vliv jejich tvrdost, zrnitost, druh materiálu a hmotnost zrna. Kvantitativní účinek tryskání je dán jeho režimem, především rychlostí letu zrna, úhlem dopadu, jakostí substrátu, ale hlavně jeho tvrdostí.

Působení částic na povrch je zpravidla doprovázeno plastickou deformací povrchové vrstvy substrátu, přičemž dochází:

- ke zvýšení napětí v povrchové vrstvě. Tenká vrstva na povrchu substrátu má vysoké tlakové napětí, které je v rovnováze z vnitřním tahovým napětím.
- k plastickému toku povrchu materiálu, jehož důsledkem je zpevnění materiálu.
- k topografickým změnám navazujícím na napěťové kombinace.

Těchto vlivů se využívá prakticky ke zpevnění strojních součástí (ozubená kola, povrch ložisek, lopatek apod.).

Při předúpravě povrchu pod následné povlaky se má tryskáním vedle požadavku morfologie, docílit rovněž dokonalé očištění povrchu od okují, korozních zplodin, případně jiných nečistot. Čistota povrchu závisí na pokrytí povrchu stopami po dopadu jednotlivých zrn tryskacího prostředku. Proces odkujení je charakterizován tzv. úběrovými křivkami. Významný vliv zde hraje také tvar zrn. Při použití kulatého tryskacího prostředku dochází zčásti k zatlačování nečistot do povrchu materiálu. Při ostrohranném tryskacím prostředku se zase projevuje zasekávání zrn do povrchových vrstev materiálu.

#### 3.5.1.1 Tryskací materiál

Druh tryskacího materiálu se volí podle druhu upravovaného povrchu, materiálu, stupně znečištění a podle tloušťky stěn předmětu. Předměty z měkkých materiálu, tenkostěnné, se otryskávají nižším tlakem, jemnějšími zrny a naopak hrubší a těžké výrobky hrubozrnnou drtí.

Při tryskání se používá těchto materiálů:

- křemičitý písek,
- litinová drť,
- brusiva (karbid křemíku, umělý korund),
- sekaný drát,
- speciální materiály (např. drť z plastických hmot).

### **3.6 Měření tvrdosti**

Zkoušky tvrdosti patří mezi nejstarší a nejrozšířenější zkoušky kovů a jiných technických materiálů. Jedná se prakticky o zkoušky nedestruktivní, neboť funkční a vzhledové porušení zkoušených dílů je většinou zanedbatelné.

Tvrdot je obecně definována jako vlastnost materiálu, která se projevuje odporem proti pružné nebo plastické deformaci nebo odporem proti oddělování části povrchu, popřípadě jejich kombinací. Zjednodušeně můžeme tvrdost definovat jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa.

Pro měření tvrdosti se nejvíce rozšířily statické metody, u kterých je měřítkem tvrdosti velikost plastické deformace (zkoušky dle Brinella, Vickerse) nebo metody, u kterých je měřítkem tvrdosti velikost elasticko-plastické deformace (zkouška dle Rockwella).

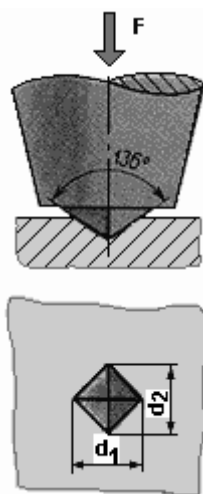
Zkušební tělesa používaná při zkouškách jsou obvykle jednoduchého geometrického tvaru (koule, kužel, jehlan) nebo tvaru, který se těmto tvarům přibližuje – např. kužel s malým zaoblením vrcholu, u některých zkoušek dle Rockwella. Zvolením těchto tvarů se sledovala jednoduchost a reprodukovatelnost jejich výroby, optimální využití vlastností materiálu tělesa (např. tvar tělesa u zkoušky dle Vickerse respektuje tvar krystalu diamantu a tak i jeho maximální tvrdost). Volbou tvaru kužele a jehlanu se sledovala možnost stanovování tvrdosti nezávislé na velikosti použité zkušební síly (podobnost vtisků).

#### **3.6.1 Zkouška tvrdosti dle Vickerse**

##### **3.6.1.1 Podstata zkoušky**

Diamantové těleso ve tvaru pravidelného čtyřbokého jehlanu se čtvercovou základnou a s daným vrcholovým úhlem mezi protilehlými stěnami je vlačováno do povrchu vzorku. Následně je měřena úhlopříčka vtisku, která zůstane po odlehčení zkušebního zatížení  $F$  viz obr. č. 9. Tvrdot dle Vickerse je vyjádřena jako poměr

zkušebního zatížení k ploše povrchu vtisku, jenž se uvažuje jako pravidelný čtyřboký jehlan se čtvercovou základnou a s vrcholovým úhlem, který se rovná úhlu zkušebního tělesa.



**Obrázek č. 9** Zkouška tvrdosti dle Vickerse

Tvrdot podle Vickerse  $HV = 0,102 * \frac{2F * \sin \frac{136}{2}}{d^2}$ , kde:

- F – je zkušební zatížení [N],
- d – je aritmetický průměr dvou délek úhlopříček  $d_1, d_2$  [mm].

Podle použitého zkušebního zatížení se metoda dle Vickerse člení na tři oblasti viz tabulka č. 11.

**Tabulka č. 11** Členění metody Vickers

Zkušební zatížení F [N]	Symbol tvrdosti	Označení
$F \geq 49,03$	$\geq HV5$	zkouška tvrdosti dle Vickerse
$1,961 \leq F < 49,03$	HV 0,2 až < HV5	zkouška tvrdosti dle Vickerse při nízkém zatížení
$0,09807 \leq F < 1,961$	HV 0,01 až < HV 0,2	zkouška mikrotvrdosti dle Vickerse

Zdroj: [www.metrotest.cz/hardness/zkousky\\_tvrlosti.pdf](http://www.metrotest.cz/hardness/zkousky_tvrlosti.pdf)

### 3.6.1.2 Zkušební tělesa a zkušební síly

Zkušební těleso je shodné pro všechny metody dle Vickerse. Tvoří ho diamant ve tvaru pravidelného čtyřbokého jehlanu se čtvercovou základnou. Vrcholový úhel je  $136^\circ \pm 0,5^\circ$ . Při zkoušce musí být použito jednoho z následujících zkušebních zatížení (viz tabulka č. 12).

**Tabulka č. 12** Zkušební zatížení při zkoušce tvrdosti metodou Vickers

Zkouška tvrdosti		Zkouška tvrdosti při malém zatížení		Zkouška mikrotvrdosti	
Symbol	Nominální hodnota zatížení F [N]	Symbol	Nominální hodnota zatížení F [N]	Symbol	Nominální hodnota zatížení F [N]
HV 5	49,03	HV 0,2	1,961	HV 0,01	0,09807
HV 10	98,07	HV 0,3	2,942	HV 0,015	0,1471
HV 20	196,1	HV 0,5	4,903	HV 0,02	0,1961
HV 30	294,2	HV 1	9,807	HV 0,025	0,2452
HV 50	490,3	HV 2	19,61	HV 0,05	0,4903
HV 100	980,7	HV 3	29,42	HV 0,1	0,9807

Zdroj: [www.metrotest.cz/hardness/zkousky\\_tvrdosti.pdf](http://www.metrotest.cz/hardness/zkousky_tvrdosti.pdf)

### 3.6.1.3 Zkoušená tělesa (vzorky)

Zkouška se provádí na povrchu, který je hladký a rovný, bez cizích tělísek a zejména zcela bez mazadel. Konečná úprava povrchu musí umožnit přesné stanovení rozměrů úhlopříček vtisku. Příprava povrchu zkušebního tělesa se provádí tak, aby byla co nejvíce omezena změna jeho vlastností vyvolaná např. ohřevem nebo tvářením při řezání, broušení a leštění vzorku. Tloušťka vzorku musí být nejméně 1,5 násobek délky úhlopříčky. Na protilehlém povrchu vzorku nesmí být patrné stopy deformace způsobené zkušebním tělesem. Při zkouškách na zakřivených površích (válcové, kulové povrchy) se používá opravných součinitelů.

### 3.6.1.4 Provedení zkoušky

Zkouška se provádí obvykle při teplotě 10 až 35 °C, v arbitrážních případech při teplotě 23 ±5 °C. Při zkoušce musí být použito některé ze zatížení podle tabulky č. 12. Vzorek musí být při zkoušce položen na tuhé podložce. Styčné plochy musí být čisté a bez cizích tělísek. Je důležité, aby vzorek ležel na podložce tak, aby se při zkoušce nepohnul. Zkušební těleso se zatlačuje do povrchu vzorku zatížením směřujícím kolmo k jeho povrchu, bez rázů a bez chvění. Doba od začátku zatěžování do dosažení zkušební síly nesmí být menší než 2 s a delší než 8 s. Při zkouškách tvrdosti s nízkým zatížením nesmí doba, od začátku zatěžování do dosažení zkušební síly, překročit 10 s. Doba působení zkušební síly je v rozmezí 10 až 15 s. Pro některé materiály mohou být použity delší časy, ty však musí být dodržovány s tolerancí ±2 s.

Vzdálenost středu vtisku od okraje vzorku musí být minimálně 2,5 násobek velikosti úhlopříčky (platí pro ocel, litinu, měď a její slitiny) a minimálně 3 násobek velikosti úhlopříčky při zkoušení lehkých kovů (olova, cínu a jejich slitin). Vzdálenost

středů dvou sousedních vtisků musí být nejméně 3 násobek velikosti úhlopříčky (platí pro ocel, litinu, měď a její slitiny) a 6 násobek velikosti úhlopříčky při zkoušení lehkých kovů (olova, cínu a jejich slitin). Po zkoušce se změří délky úhlopříček. Pro stanovení tvrdosti se bere aritmetický průměr. Na rovném povrchu se úhlopříčky nesmí lišit o více než 5 % střední hodnoty.

### 3.6.2 Metoda Rockwell

#### 3.6.2.1 Zkušební tělesa a zkušební síly

**Tabulka č. 13** Vnikací tělesa a zkušební síly pro různé metody Rockwell

Stupnice tvrdosti	Symbol tvrdosti	Zkušební těleso	Předzatížení $F_0$ [N]	Celkové zatížení $F$ [N]	Oblast použití
A	HRA	Diamantový kužel	98,07	588,4	20 – 88 HRA
B	HRB	Ocelová kulička Ø 1,5875 mm		980,7	20 – 100 HRB
C	HRC	Diamantový kužel		1471	20 – 70 HRC
D	HRD	Diamantový kužel		980,7	40 – 70 HRD
E	HRE	Ocelová kulička Ø 3,175 mm		980,7	70 – 100 HRE
F	HRF	Ocelová kulička Ø 1,5875 mm		588,4	60 – 100 HRF
G	HRG	Ocelová kulička Ø 1,5875 mm		1471	30 – 94 HRG
H	HRH	Ocelová kulička Ø 3,175 mm		588,4	80 – 100 HRH
K	HRK	Ocelová kulička Ø 3,175 mm		1471	40 – 100 HRK
15 N	HR 15 N	Diamantový kužel		29,42	147,1
30 N	HR 30 N	Diamantový kužel	294,2		42 – 86 HR 30 N
45 N	HR 45 N	Diamantový kužel	441,3		20 – 77 HR 45 N
15 T	HR 15 T	Ocelová kulička Ø 1,5875 mm	147,1		67 – 93 HR 15 T
30 T	HR 30 T	Ocelová kulička Ø 1,5875 mm	294,2		29 – 82 HR 30 T
45 T	HR 45 T	Ocelová kulička Ø 1,5875 mm	441,3		1 – 72 HR 45 T

Zdroj: [www.metrotest.cz/hardness/zkousky\\_tvrdosti.pdf](http://www.metrotest.cz/hardness/zkousky_tvrdosti.pdf)

V ČR jsou normalizovány tři zkoušky tvrdosti dle Rockwella. Tvrdost zjištěnou při těchto zkouškách označujeme HRA, HRB, HRC. Volba Rockwellovy stupnice (tj. druhu zkušebního tělíska) závisí hlavně na předpokládané tvrdosti zkoušeného materiálu.

**HRA** – tvrdost určená diamantovým kuželem při celkovém zatížení 600 N. Pro slinuté karbidy a tenké povrchové vrstvy.

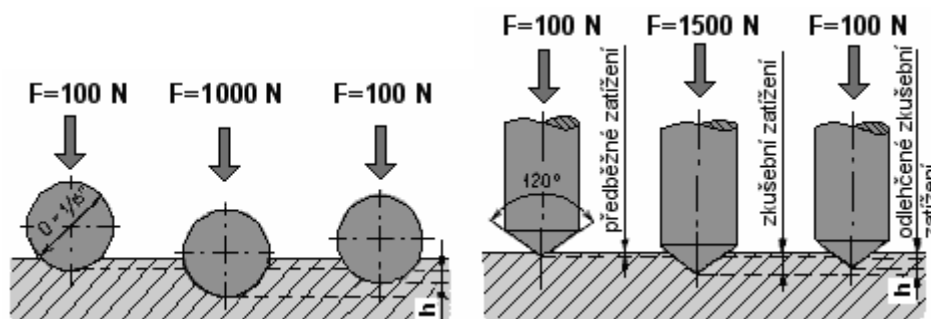
**HRB** – tvrdost určená ocelovou kuličkou při celkovém zatížení 1 000 N.

**HRC** – tvrdost určená diamantovým kuželem při celkovém zatížení 1 500 N. Doporučuje se používat pro rozsah HRC = 20 – 67.

Kužel má vrcholový úhel  $120^\circ$  a poloměr kulové části 0,2 mm (HRA, HRC). Kulička má průměr 1,5875 mm (HRB).

### 3.6.2.2 Zkoušená tělesa (vzorky)

Zkouška se provádí na povrchu, který je hladký a rovný, bez cizích tělísek a zejména zcela bez mazadel (s výjimkou titanu, kde může být použito mazadlo, ale tato skutečnost musí být uvedena v protokolu). Příprava povrchu zkušebního tělesa se provádí tak, aby byla co nejvíce omezena změna jeho vlastností vyvolaná např. ohřevem nebo tvářením při řezání, broušení a leštění vzorku. Na protilehlém povrchu vzorku nesmí být patrné stopy deformace způsobené zkušebním tělesem. Při zkouškách na vypuklých površích (válcové, kulové povrchy) se používá opravných součinitelů. V případě, že nejsou k dispozici opravné součinitele pro kulové a vyduté válcové plochy, musí být zkoušky na těchto plochách předmětem zvláštní dohody. Mimořádnou pozornost je třeba věnovat zkoušce na zaobleném povrchu. Vypuklá strana musí být obrácena ke zkušebnímu tělesu. Jestliže je ke zkušebnímu tělesu obrácen vydutý povrch, může dojít k chybám v důsledku zploštění v podložce.



**Obrázek č. 10** Zkouška tvrdosti podle Rockwella (HRB, HRC)

### 3.6.2.3 Provedení zkoušky

Zkouška se provádí obvykle při teplotě 10 až 35 °C, v arbitrážních případech při teplotě 23 ±5 °C. Vzorek musí být při zkoušce položen na tuhé podložce. Styčné plochy musí být čisté a bez cizích tělísek. Je důležité, aby vzorek ležel na podložce tak, aby se při zkoušce nepohnul. Zkušební těleso se zatlačuje do povrchu vzorku zatížením směřujícím kolmo k jeho povrchu, bez rázů a chvění až na hodnotu předzatížení (viz obr. č. 10). Po dosažení předzatížení se nuluje měřicí zařízení hloubky vtisku. Doba náběhu hlavního zatížení je v rozmezí 2 až 8 s u metod HRA až K a 1 až 8 s u metod HR xx N a T.

Doba působení hlavního zatížení je:

- 1 až 3 s u materiálů, které nevykazují závislost plastické deformace na čase,
- 1 až 5 s u materiálů, které vykazují omezenou závislost plastické deformace na čase,
- 10 až 15 s u materiálů, které vykazují silnou závislost plastické deformace na čase.

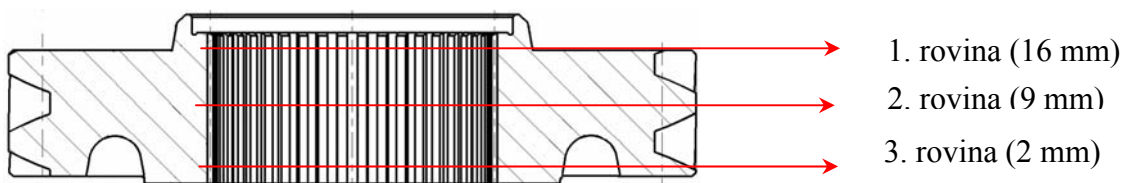
Vzdálenost mezi středy dvou sousedních vtisků musí být alespoň 4 násobek průměru vtisku (ale nejméně 2 mm). vzdálenost středu vtisku od okraje vzorku musí být minimálně 2,5 násobek průměru vtisku (platí pro metody HRA – K). vzdálenost mezi středy dvou sousedních vtisků musí být alespoň 3 násobek průměru vtisku. vzdálenost středu vtisku od okraje vzorku musí být minimálně 2,5 násobek průměru vtisku (platí pro metody HR xx N a T).



## 4 Návrhy omezení protahování ozubených kol po tepelném zpracování

V této kapitole se budu věnovat možnostem omezení nebo odstranění tvrdého protahování. Existuje několik možností jak odstranit výše zmíněný problém. Návrhy jsou přehledně seřazeny do diagramu příčin a důsledků obr. č. 12 (resp. Ishikawova diagramu, což je diagram jehož cílem je nalezení nejpravděpodobnější příčiny řešeného problému). V diagramu jsou čtyři varianty omezení nebo odstranění tvrdého protahování, které jsou podrobněji rozebrány dále v textu.

Z nutnosti dokázat nebo vyvrátit vhodnost uvedených opatření, bylo nutné provádět měření daných ozubených kol. U některých zkoušek bylo měření prováděno ve třech rovinách jemného drážkování, viz obr. č. 11.



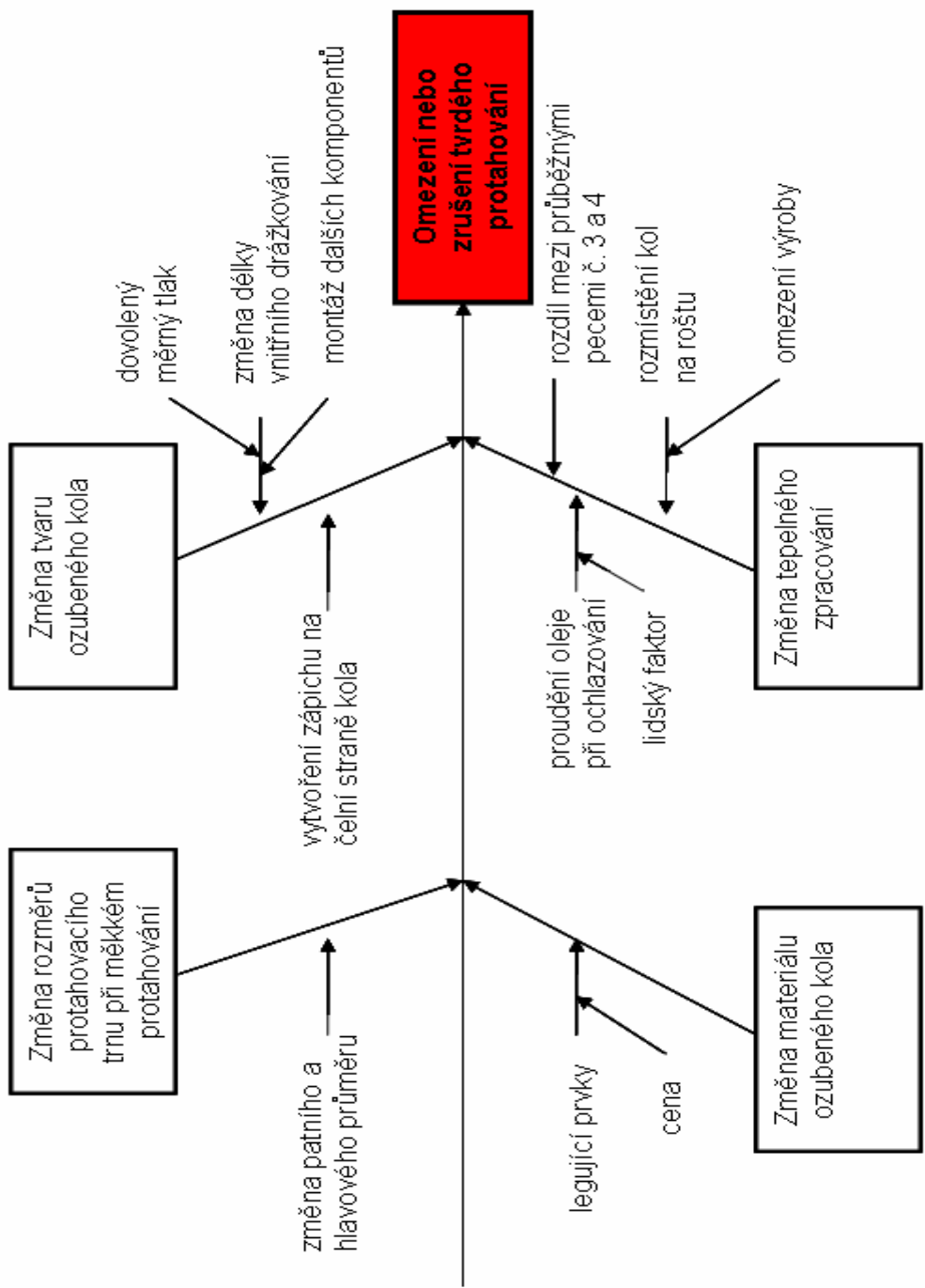
**Obrázek č. 11** Roviny měření

Pro posouzení kuželovitosti resp. toho jestli je vnitřní drážkování v požadované toleranci použijeme průměr  $M_{dk}$ , který se bere jako hlavní ukazatel. Patní a hlavové průměry nebyly měřeny. Předpoklad, jestli průměr  $M_{dk}$  bude v oblasti výkresové tolerance, měl by být v požadované výkresové tolerance i průměr patní ( $d_f$ ) a hlavový ( $d_a$ ). Hodnoty jemného vnitřního drážkování jsou uvedeny v tabulce č. 14.

**Tabulka č. 14** Rozměry vnitřního jemného drážkování

Rozměry vnitřního jemného drážkování	
počet zubů - z	44
modul - m	0,79375 mm
úhel mezery vnitřní	71°00'
šířka zubu - b	18,5 mm
pásmo na profilu $L_\alpha$	0,44 mm
pásmo na sklonu $L_\beta$	15,5 mm
začátek vyhod. $d_1$	35,1 mm
pr. dotyku	0,8 mm
vzdálenost zub. mezer	1,231 mm
Výkresová tolerance	
průměr $M_{dk}$	32,332 – 32,387 mm
hlavový průměr $d_a$	34,250 – 34,350 mm
patní průměr $d_f$	35,460 – 35,510 mm

Zdroj: Škoda Auto a.s.



Obrázek č. 12 Diagram příčin a důsledků

#### 4.1 Změna rozměru protahovacího trnu

Podstatný vliv na deformaci vnitřního jemného drážkování má rozměr protahovacího trnu. Z tohoto důvodu byla navržena korekce rozměrů protahovacího trnu, a to přidáním 0,02 mm u patního i hlavového průměru trnu. Původní rozměry protahovacího trnu, patní průměr trnu 35,475 +0,005 mm a hlavový průměr trnu 34,289 +0,005 mm. Po korekci trnu má patní průměr rozměr 35,495 +0,005 mm a hlavový průměr má rozměr 34,309 +0,005 mm.

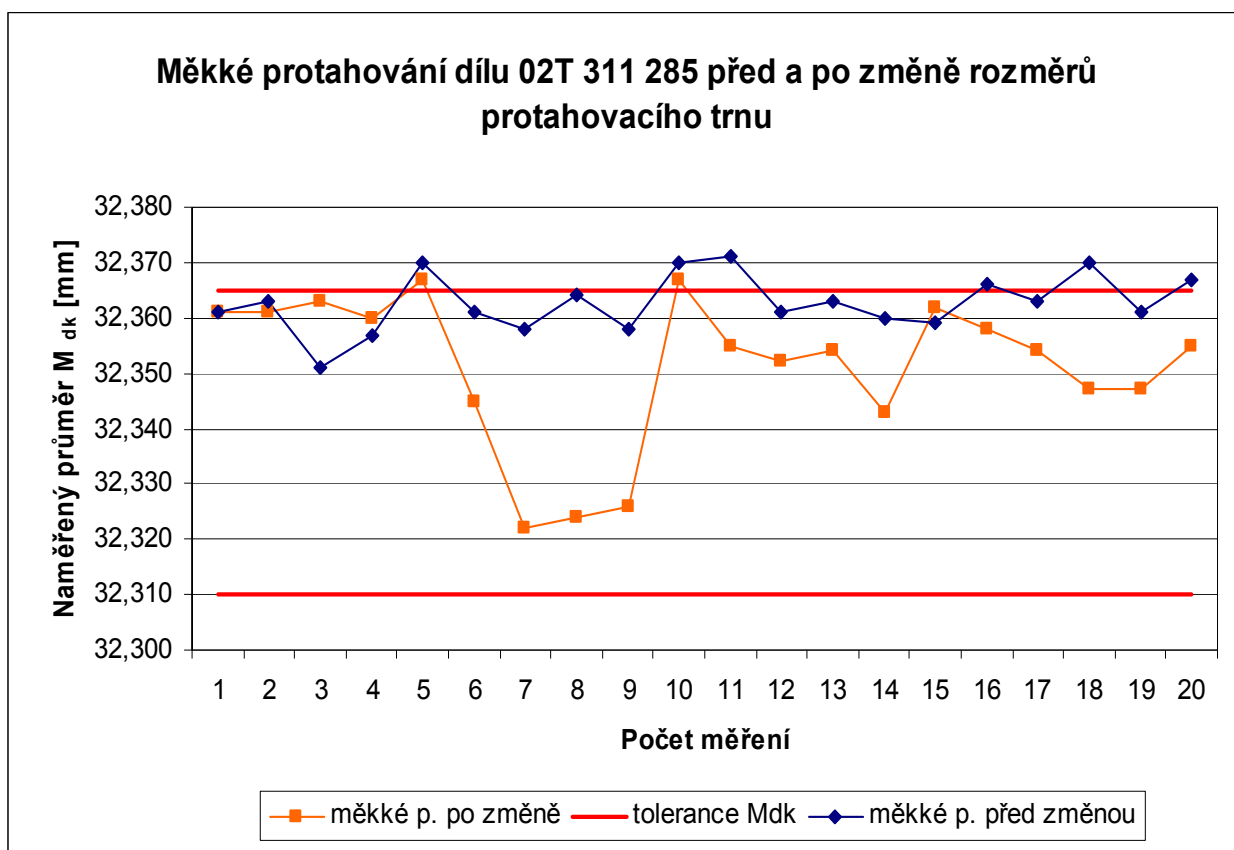
Tabulka č. 15 Měkké a tvrdé protahování před změnou protahovacího trnu

Počet měřené	Měkké protahování		Tvrdé protahování					
	před změnou	po změně	před změnou			po změně		
			1. rovina	2. rovina	3. rovina	1. rovina	2. rovina	3. rovina
	M <sub>dk</sub> [mm]	M <sub>dk</sub> [mm]	M <sub>dk</sub> [mm]	M <sub>dk</sub> [mm]	M <sub>dk</sub> [mm]	M <sub>dk</sub> [mm]	M <sub>dk</sub> [mm]	M <sub>dk</sub> [mm]
1	32,361	32,361	32,336	32,399	32,388	32,325	32,391	32,388
2	32,363	32,361	32,337	32,398	32,383	32,326	32,393	32,387
3	32,351	32,363	32,337	32,392	32,388	32,333	32,398	32,388
4	32,357	32,360	32,339	32,396	32,392	32,327	32,393	32,383
5	32,370	32,367	32,334	32,403	32,392	32,334	32,399	32,386
6	32,361	32,345	32,341	32,408	32,394	32,333	32,398	32,385
7	32,358	32,322	32,333	32,403	32,389	32,333	32,394	32,387
8	32,364	32,324	32,340	32,399	32,388	32,341	32,395	32,388
9	32,358	32,326	32,342	32,398	32,392	32,333	32,391	32,388
10	32,370	32,367	32,343	32,395	32,384	32,336	32,394	32,390
11	32,371	32,355	32,344	32,393	32,389	32,335	32,391	32,382
12	32,361	32,352	32,337	32,403	32,387	32,337	32,388	32,385
13	32,363	32,354	32,343	32,395	32,391	32,343	32,392	32,385
14	32,360	32,343	32,349	32,395	32,392	32,336	32,396	32,383
15	32,359	32,362	32,348	32,398	32,388	32,332	32,393	32,388
16	32,366	32,358	32,345	32,399	32,389	32,329	32,393	32,382
17	32,363	32,354	32,343	32,397	32,390	32,343	32,389	32,387
18	32,370	32,347	32,341	32,396	32,391	32,326	32,385	32,381
19	32,361	32,347	32,335	32,401	32,385	32,329	32,390	32,382
20	32,367	32,355	32,340	32,394	32,387	32,325	32,383	32,374

Zdroj: Vlastní měření

V tabulce č. 15 jsou uvedeny naměřené hodnoty měkkého protahování před a po změně protahovacího trnu, tyto hodnoty byly měřeny ve střední (druhé) rovině podle stanovených výrobních postupů (protokol o měření viz příloha č. 1) a naměřené hodnoty tvrdého protahování před a po změně protahovacího trnu. Hodnoty u tvrdého protahování byly měřeny ve třech rovinách viz obr. č. 11. Červené hodnoty v tabulce č. 15 označují rozměry, které jsou mimo výkresovou toleranci. Výkresová tolerance je uvedena v tabulce č. 14.

Z naměřených hodnot byl vytvořen graf pro měkké protahování (graf č. 1), z kterého je možno vidět dané překračování tolerančních rozměrů u dílů protahovaných starými trny. Z naměřených hodnot u tvrdého protahování, viz graf č. 2, je také patrné překračování tolerančních rozměrů. Z tohoto překračování vyplývá nutnost vnitřní jemné drážkování tvrdě protahovat.



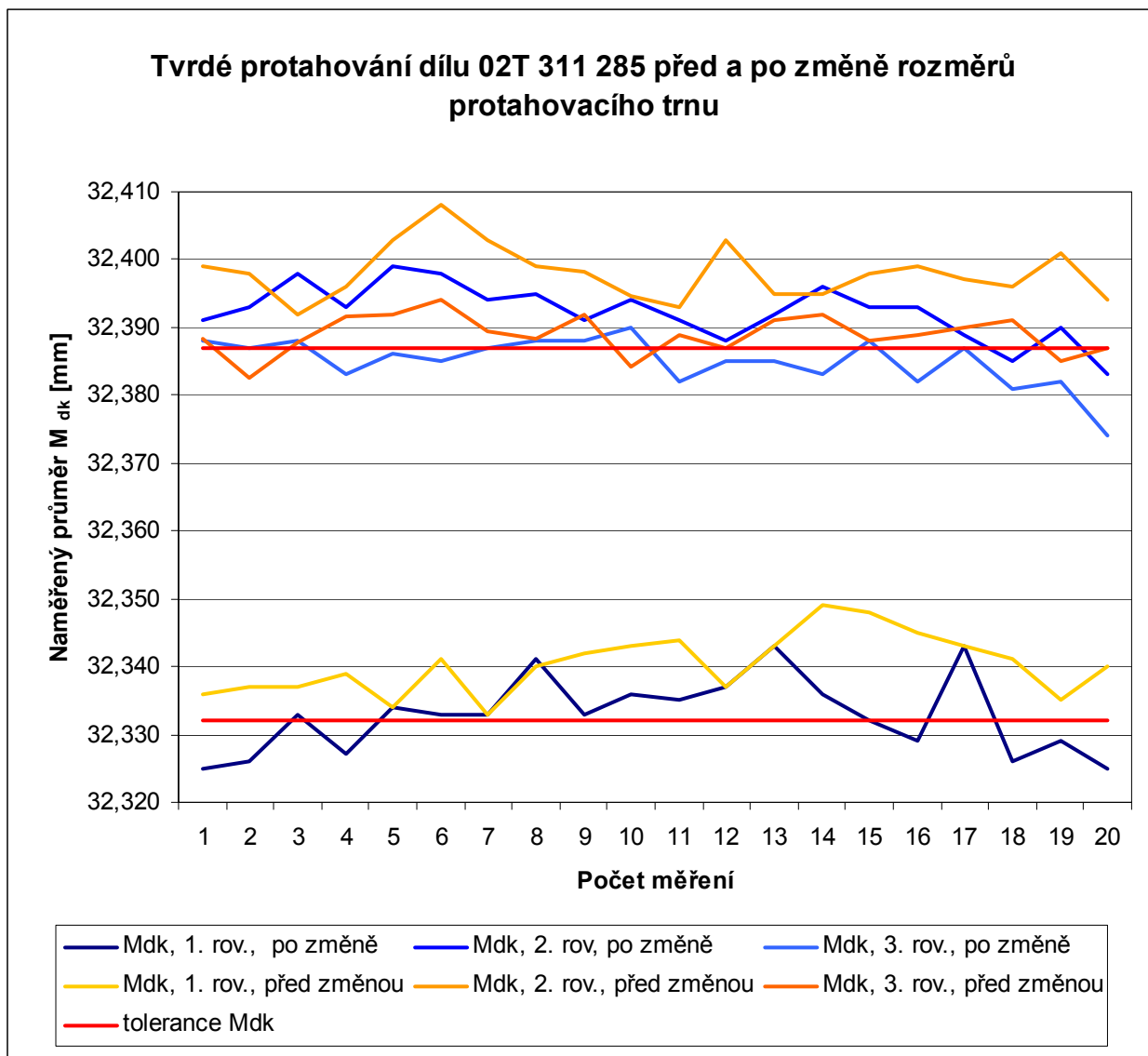
**Graf č. 1** Měkké protahování před a po změně rozměrů protahovacího trnu

Změnou rozměrů protahovacího trnu se docílilo výrazně menšího překračování tolerančního pole u měkkého protahování, což je patrné z tab. č. 15 a grafu č. 1.

U tvrdého protahování došlo k mírnému zlepšení rozměrů po tepelném zpracování hlavně ve druhé a třetí rovině měření, což sice vede k menší odebírané třísece a menšímu

opotřebení pracovního nástroje (protahovacího trnu), ale potřebné odstranění tvrdého protahování se tímto způsobem nepodařilo docílit.

Další změna protahovacího trnu nebyla navržena. Důvod byl dán další opatřením, které se ukázalo být výhodnější. Ve výrobním procesu, ale přesto zůstaly trny s nově navrženými rozměry.



**Graf č. 2** Tvrdé protahování před a po změně rozměrů protahovacího trnu

## 4.2 Úprava tvaru ozubeného kola

Největší vliv na deformaci vnitřního jemného drážkování má přesazený náboj kola nebo jednostranné čelní vybrání. Z tohoto poznání bylo navrženo doplnění výkresu kola třetího rychlostního stupně o volbu soustruženého čelního zápichu do hloubky 2 mm s tolerancí +0,5 mm. Tato úprava by se měla provádět u kol třetího rychlostního stupně s průměrem 51-0,5 mm/průměr  $D_1 = (D_{fmax} - 8) - 0,5$  dle náčrtu viz příloha č. 2.

Tento návrh byl ověřen předběžnou zkouškou, která byla provedena na osmi dílech, z toho byly čtyři díly typu 02T 311 285 N a čtyři díly typu 02T 311 285 Q. Výsledky zkoušky jsou v tabulce č. 16 (hodnoty v tabulce jsou uvedeny v milimetrech). Pokud porovnáme rozdíl mezi první měřicí rovinou a třetí měřicí rovinou u kol se zápichem a u kol bez zápichu (pro přibližné porovnání jsem vzal prvních osm hodnot z tab. č. 15), můžeme tvrdit, že touto předběžnou zkouškou se podařilo prokázat, že zápich snižuje deformaci drážkovaného otvoru. Výkresová tolerance je uvedena v tabulce č. 14.

**Tabulka č. 16** Předběžná zkouška změny tvaru kola

02T 311 285 N						
Počet měření	Po kalení H - $M_{dk}$			Rozdíl nahoře a dole	Max. rozdíl	Rozdíl nahoře a dole (tab. č. 15)
1	32,341	32,379	32,358	0,017	0,038	0,063
2	32,343	32,380	32,353	0,010	0,037	0,061
3	32,343	32,380	32,360	0,017	0,037	0,055
4	32,340	32,374	32,352	0,012	0,034	0,056
02T 311 285 Q						
1	32,355	32,386	32,369	0,014	0,031	0,052
2	32,349	32,384	32,369	0,020	0,035	0,052
3	32,346	32,379	32,364	0,018	0,033	0,054
4	32,34	32,337	32,351	0,010	0,015	0,047

Zdroj: Vlastní měření

Podle předběžné zkoušky by tento návrh měl z výroby odstranit tvrdé protahování. Pro podrobnější ověření tohoto tvrzení je nutné provést rozsáhlejší zkoušku. Proto pracovníci VAT3 – Sériová technologie – Převodovka MQ200 provedli následující úkony.

Aby se takto upravená ozubená kola mohla zkusit ve výrobním procesu včetně montáže do převodovky je nutno udělat následující. Za prvé, podat návrh na zlepšení stavu, za druhé, musí vývojové středisko vystavit odchylku na provedení kol s čelním zápichem (příloha č. 3) a za třetí, musí být vystaven zkušební list (příloha č. 4). Po tomto procesu se upraví pouze výrobní operace č. 5. Při této operaci se bude navíc soustružit čelní zápich.

Tato zkouška je časově náročná a v tabulce č. 17 jsou uvedeny výsledky jen z vybraných období. Měření zkoušených dílů bylo prováděno v KMS podle stanovených výrobních postupů. U tvarově upravených dílů se měření provádělo jen po tepelném zpracování (před TZ není nutné provádět měření – důvod: deformace vznikají až po TZ). Měření se provádělo ve třech rovinách.

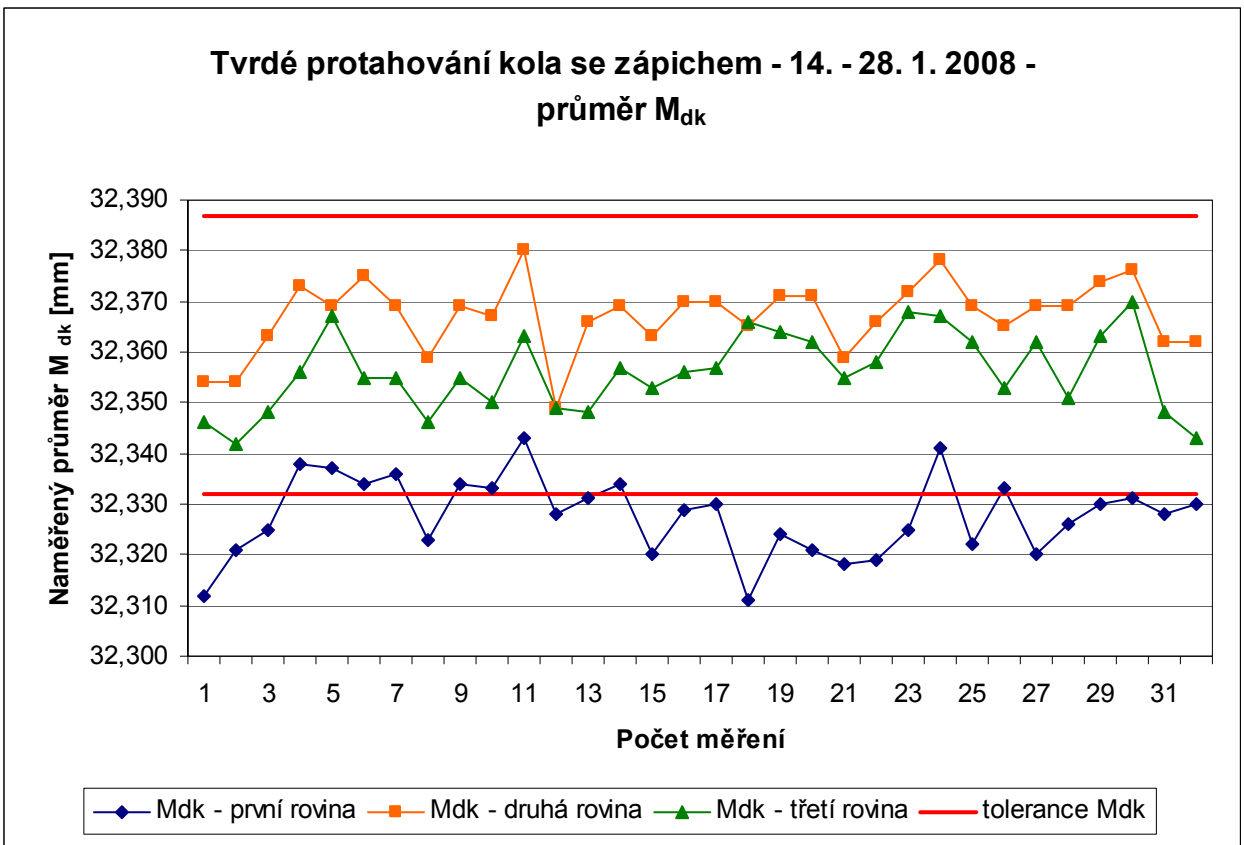
**Tabulka č. 17** Tvrdé protahování u kola se zápichem

<b>Tvrdé protahování u dílu 02T 311 285 se zápichem</b>						
<b>Počet měření</b>	<b>Míra přes kuličku – <math>M_{dk}</math></b>					
	zkouška – 14. – 28. 1. 2008			zkouška – 27. – 29. 2. 2008		
	$M_{dk}$ [mm]	$M_{dk}$ [mm]	$M_{dk}$ [mm]	$M_{dk}$ [mm]	$M_{dk}$ [mm]	$M_{dk}$ [mm]
1	32,312	32,354	32,346	32,323	32,365	32,355
2	32,321	32,354	32,342	32,333	32,374	32,361
3	32,325	32,363	32,348	32,322	32,363	32,349
4	32,338	32,373	32,356	32,332	32,373	32,353
5	32,337	32,369	32,367	32,337	32,364	32,354
6	32,334	32,375	32,355	32,329	32,367	32,352
7	32,336	32,369	32,355	32,328	32,363	32,344
8	32,323	32,359	32,346	32,328	32,373	32,357
9	32,334	32,369	32,355	32,332	32,368	32,361
10	32,333	32,367	32,350	32,326	32,367	32,359
11	32,343	32,38	32,363	32,330	32,373	32,358
12	32,328	32,349	32,349	32,326	32,363	32,354
13	32,331	32,366	32,348	32,339	32,369	32,358
14	32,334	32,369	32,357	32,321	32,365	32,352
15	32,320	32,363	32,353	32,335	32,371	32,357
16	32,329	32,370	32,356	32,327	32,369	32,352
17	32,33	32,370	32,357	32,335	32,363	32,354
18	32,311	32,365	32,366	32,329	32,370	32,360
19	32,324	32,371	32,364	32,325	32,369	32,358
20	32,321	32,371	32,362	32,333	32,367	32,360
21	32,318	32,359	32,355	32,331	32,374	32,357
22	32,319	32,366	32,358	32,332	32,371	32,358
23	32,325	32,372	32,368	32,338	32,378	32,364
24	32,341	32,378	32,367	32,336	32,375	32,365
25	32,322	32,369	32,362	32,339	32,368	32,362
26	32,333	32,365	32,353	32,329	32,374	32,367
27	32,320	32,369	32,362	32,331	32,377	32,368
28	32,326	32,369	32,351	32,331	32,377	32,364
29	32,33	32,374	32,363	32,326	32,372	32,365
30	32,331	32,376	32,370	32,328	32,375	32,368

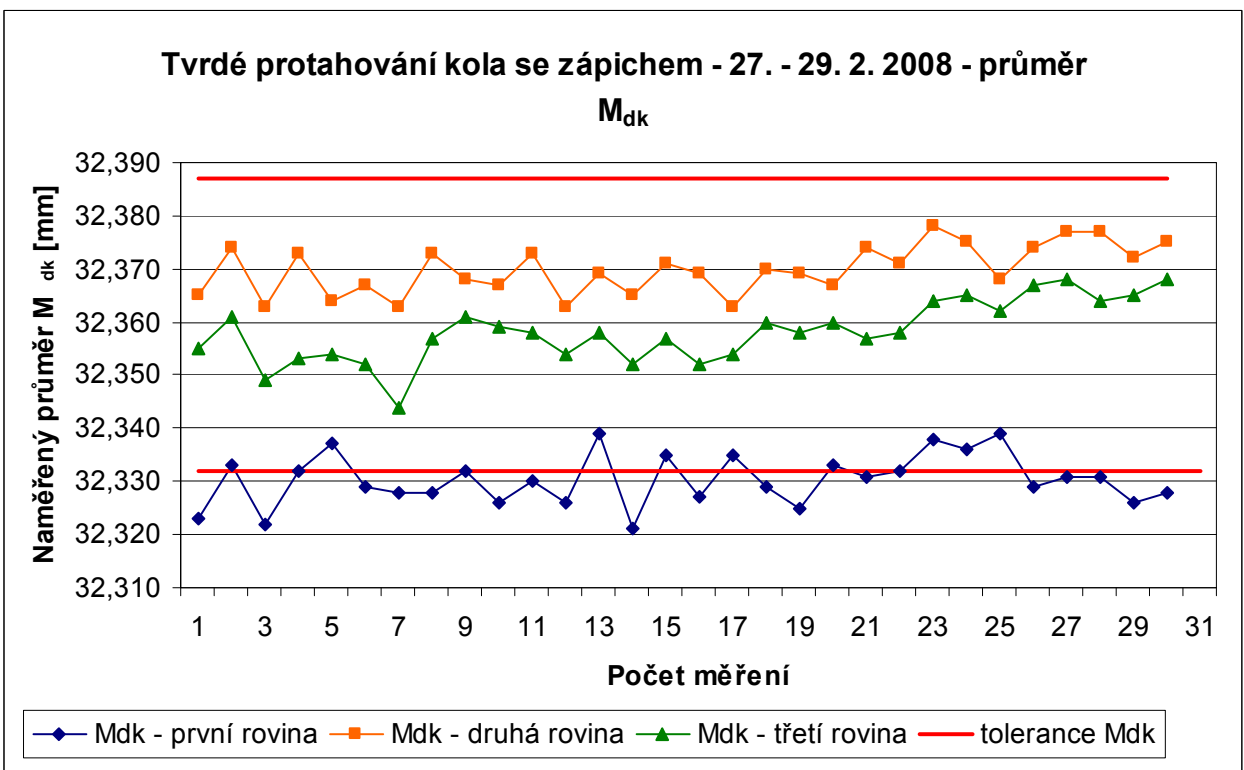
Zdroj: Vlastní měření

Z průměrů  $M_{dk}$  uvedených v tabulce č. 17 byly vytvořeny následující grafy (graf č. 3 a č. 4). Z těchto grafů je patrné nepřekračování tolerančních rozměrů ve druhé a třetí měřící rovině. V první měřící rovině stále dochází k překračování tolerančních rozměrů. Toto překračování se dá tolerovat, jestli dané vnitřní drážkování projde kontrolou kalibrem, pro kterou platí: překročení úchylek ozubení jakož i menší míra mezi kuličkami jsou možné pokud přejímka kalibrem je v pořádku.





Graf č. 3 Tvrde protahování kola se zápichem - 14. - 28. 1. 2008



Graf č. 4 Tvrde protahování kola se zápichem - 27. - 29. 2. 2008

### 4.3 Vliv tepelného zpracování

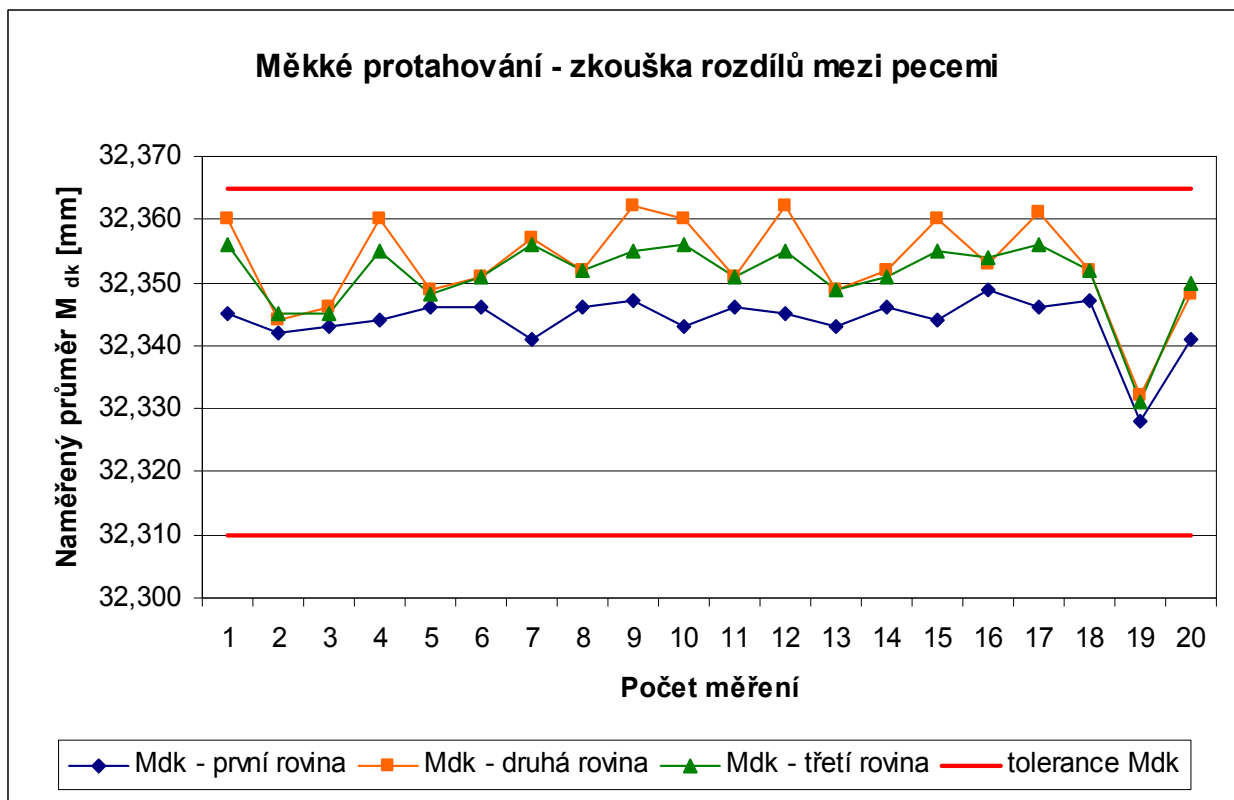
Hlavní vliv na tvorbu deformace vnitřního drážkování má tepelné zpracování, resp. rozmístění kol na roštu a rychlost proudění oleje při ochlazování. Další významný vliv na tvorbu deformací vnitřního drážkování má volba průběžné pece. Pro tepelné zpracování dílu 02T 311 285 se používají průběžné pece číslo tři a čtyři.

Z tohoto důvodu byla navržena zkouška, která měla výše uvedené důvody prokázat nebo vyvrátit. Pro zkoušku byla pozastavena dávka 384 dílů typu 02T 311 285 Q. Náhodně bylo vybráno šedesát dílů. Z těchto šedesáti dílů bylo náhodným výběrem vybráno dvacet dílů z důvodu toho, aby bylo možné tvrdit, že deformace drážkování vzniká až po tepelném zpracování. Z tabulky č. 18 (hodnoty v tabulce uvedeny v milimetrech) je naprosto zřejmé, že deformace vnitřního drážkování vyžadující tvrdé protahování opravdu vzniká až po tepelném zpracování. Toto tvrzení dokazuje i graf č. 5, z něhož lze vidět, že všechny rozměry měřených kol jsou v požadované výkresové toleranci.

**Tabulka č. 18** Měkké protahování při změně tepelného zpracování

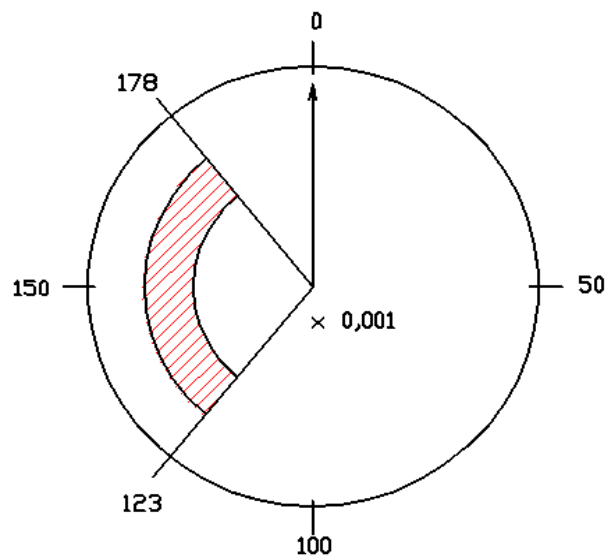
<b>Měkké protahování dílu 02T 311 285 Q</b>			
<b>počet měření</b>	<b>rovina měření</b>		
	1. rovina	2. rovina	3. rovina
1	32,345	32,360	32,356
2	32,342	32,344	32,345
3	32,343	32,346	32,345
4	32,344	32,360	32,355
5	32,346	32,349	32,348
6	32,346	32,351	32,351
7	32,341	32,357	32,356
8	32,346	32,352	32,352
9	32,347	32,362	32,355
10	32,343	32,360	32,356
11	32,346	32,351	32,351
12	32,345	32,362	32,355
13	32,343	32,349	32,349
14	32,346	32,352	32,351
15	32,344	32,360	32,355
16	32,349	32,353	32,354
17	32,346	32,361	32,356
18	32,347	32,352	32,352
19	32,328	32,332	32,331
20	32,341	32,348	32,350

Zdroj: Vlastní měření




**Graf č. 5** Měkké protahování, zkouška rozdílů mezi pecemi

Měření průměru  $M_{dk}$  bylo prováděno ručně na kontrolním přístroji za podmínek uvedených v tabulce č. 19. Měření se provádělo následujícím postupem. Díl vložíme mezi kuličky úchylkoměru. Kuličky nastavíme tak, aby se dotýkaly měřeného průměru  $M_{dk}$  a bylo zachováno předepsané předpnutí odchylky. Tímto způsobem jsme nastavili měření v první měřené rovině. Z ukazatele odečteme naměřenou úchylku. Úchylku odečítáme od jednoho z tolerančních rozměrů viz obr. č. 13. Pro získání skutečného rozměru je nutné, takto odečtenou úchylku přičíst ke spodní toleranci, jestliže jsme zvolili odečítání od spodní tolerance, která odpovídá danému rozměru nebo odečíst od horní tolerance, jestliže jsme zvolili odečítání od horní tolerance, která taktéž odpovídá předem stanovenému rozměru viz tabulka č. 19. Kontrolní přístrojem má přesně nastavené další dvě polohy, které odpovídají druhé a třetí měřící rovině. Získání daného rozměru se provádí stejným způsobem jaký je popsán výše. Ukazatel je znázorněn na obr. č. 13.



**Obrázek č. 13** Ukazatel kontrolního přístroje

Legenda:

- ↗ poloha ukazatele po nastavení rozměru,
-  přepočtená hodnota,
- 123 = 32,310 mm,
- 178 = 32,365 mm.

**Příklad:**

- ukazatel po nastavení rozměru ukazuje na hodnotu 150,
- odečteme úchylku od tolerance 123 – úchylka = 150 – 123 = 27  $\mu\text{m}$ ,
- tolerance 123 odpovídá skutečnému rozměru 32,310 mm,
- úchylku 0,027 mm přičteme ke skutečnému rozměru 32,310 mm:
  - skutečný měřený rozměr = 32,310 + 0,027 = 32,337 mm.

**Tabulka č. 19** Údaje o kontrolním přístroji měření

<b>Údaje o kontrolním přístroji měření</b>	
kontrolní přístroj	V1-16-8750-1
výrobní operace číslo	11
typ měřidla	1-85-18772-3
rozměr číslo 6	32,365 - 32,310
odchylka etalonu	0 - 0,001
nastavení předpnutí odchylky	0,2
<b>Průvodní karta měřidla</b>	
datum kontroly	6.2.2008
výsledek kontroly	vyhovuje
kalibrace provedena	listopad 2007
příští kalibrace	listopad 2008
měření se provádí přes kuličku - průměr kuličky	1,6
<b>Nastavení úchylkoměru</b>	
průměr 32,365 =	178
průměr 32,310 =	123

Zdroj: Vlastní

Dále, po měření dílů za měkka, bylo nutné všech šedesát dílů označit číselně (číslování od 1 do 60) a drátkem pro lepší orientaci. Číslování slouží pro orientaci umístění kol na roštu a drátek slouží k tomu, aby pracovník obsluhující danou průběžnou pec poznal zkoušené díly a mohl tyto díly po tepelném zpracování oddělit od zbytku. Takto označené díly byly vloženy na rošty. Jelikož každá dávka obsahuje cca 384 dílů, rozloží se tyto díly na tři rošty o šesti patrech. Z tohoto důvodu jsem rozmístil zkoušené díly dle schématu viz příloha č. 5. Zkoušené díly byly rozloženy do dvou dávek. Každá dávka byla zkoušena v jiné průběžné peci. Podmínky tepelného zpracování v jednotlivých průběžných pecích jsou v tabulce č. 20.

Podle schématu rozložení kol na roštu je v jednu roštu šest pater, ale zkoušené díly byly rozmístěny jen do pěti pater. Důvod je následující, ve spodním patře jsou rozmístěny zmetky. Z dlouhodobého pozorování bylo prokázáno, že nejvíce zmetků pochází z prvního patra, kde na díly působí největší tepelný šok při vnořování do chladícího oleje. Aby se zabránilo produkci zmetků, bylo první patro dobrých dílů nahrazeno zmetky.

**Tabulka č. 20** Podmínky tepelného zpracování

<b>Pec číslo 3 - nastavené podmínky TZ</b>			
regulace teploty - kalící pec			
zóna – nastavená teplota			
1	2	3	
900 °C	900 °C	830 °C	
uhlíkový potenciál			
2. zóna	0,95 % C		
3. zóna	0,85 % C		
<b>Popouštění</b>			
zóna			
1	2	3	
150 °C	150 °C	150 °C	
<b>Pec číslo 4 - nastavené podmínky TZ</b>			
regulace teploty - kalící pec			
zóna – nastavená teplota			
1	2	3	4
900 °C	900 °C	900 °C	830 °C
uhlíkový potenciál			
3. zóna	1,09 % C		
4. zóna	0,84 % C		
teplota olejové lázně – 120 °C – nastavená teplota			
<b>Popouštění</b>			
zóna – nastavená teplota			
1	2	3	
150 °C	150 °C	150 °C	

Zdroj: Vlastní

Prvních třicet dílu bylo tepelně zpracováno v průběžné peci č. 4 a druhých třicet dílu bylo tepelně zpracováno v průběžné peci č. 3. Po tepelném zpracování byly provedeny operace 105, 110, 112 přesně dle výrobního postupu (viz kap. 2.4). Takto připravené díly byly opět proměřeny na stejném kontrolním přístroji, jako při měkkém protahování. Naměřené hodnoty jsou v tabulce č. 22, 23, 24 (viz níže). Jelikož měření bylo prováděno ručně, bylo vybráno osm dílů a tyto díly byly předány k proměření na kontrolní měrové středisko (KMS), aby byla ověřena přesnost ručního měření.

Takto naměřená data byla vyhodnocována několika metodami:

1. hodnocení pomocí průměrné hodnoty rozkmitů u jednotlivých roštů,
2. srovnání průměrné hodnoty  $M_{dk}$  mezi jednotlivými průběžnými pecemi a rošty,
3. hodnocení pomocí statistických metod.

### 4.3.1 Hodnocení pomocí průměrné hodnoty rozkmitů u jednotlivých roštů

Touto metodou je možné učinit předběžné závěry o tom, která z průběžných pecí vytváří mírnější deformace vnitřního drážkování a jestli je významný rozdíl mezi jednotlivými rošty dané dávky.

Postup hodnocení je následující. Každý díl byl měřen ve třech rovinách (viz obr. č. 11). Z těchto tří hodnot určíme maximální a minimální hodnotu. Tyto hodnoty od sebe odečteme. Z takto vzniklých rozdílů vytvoříme průměrné hodnoty pro jednotlivé rošty (matematický zápis viz níže). Rozdíly rozkmitů a jejich průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 21. (rozdíly jsou vytvořeny z dat v tabulce č. 22, 23, 24, viz níže). Hodnoty jednotlivých rozdílů rozkmitů a průměrné hodnoty z těchto rozdílů vyneseme do grafu (graf č. 6). Hodnoty v tabulce č. 21 jsou uvedeny v milimetrech.

#### Matematický zápis

- pro jednotlivé měření máme hodnoty –  $x_1, x_2, x_3$ ,
- z těchto hodnot zjistíme maximum a minimum, př.:  $x_2 = \max.$  a  $x_1 = \min.$ ,
- rozdíl:  $y = x_2 - x_1$ ,
- pro jeden rošt dostaneme –  $(y_1, y_2, \dots, y_{10})$ ,
- průměr:  $z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ .

**Tabulka č. 21** Rozdíly rozkmitů u jednotlivých roštů

Pozice na roštu	Průběžná pec č. 3					
	1. rošt		2. rošt		3. rošt	
	rozdíl	průměr rozdílů	rozdíl	průměr rozdílů	rozdíl	průměr rozdílů
1	0,031	0,0409	0,034	0,0401	0,041	0,0418
2	0,037		0,044		0,038	
3	0,037		0,045		0,046	
4	0,039		0,037		0,035	
5	0,040		0,037		0,038	
6	0,049		0,046		0,044	
7	0,045		0,040		0,043	
8	0,042		0,043		0,047	
9	0,040		0,041		0,040	
10	0,049		0,034		0,046	
Pozice na roštu	Průběžná pec č. 4					
	1. rošt		2. rošt		3. rošt	
	rozdíl	průměr rozdílů	rozdíl	průměr rozdílů	rozdíl	průměr rozdílů
1	0,042	0,0387	0,043	0,0379	0,043	0,042
2	0,041		0,037		0,039	
3	0,041		0,030		0,040	
4	0,041		0,044		0,039	
5	0,027		0,036		0,029	
6	0,038		0,042		0,045	
7	0,035		0,028		0,046	
8	0,045		0,041		0,046	
9	0,036		0,044		0,046	
10	0,041		0,034		0,047	

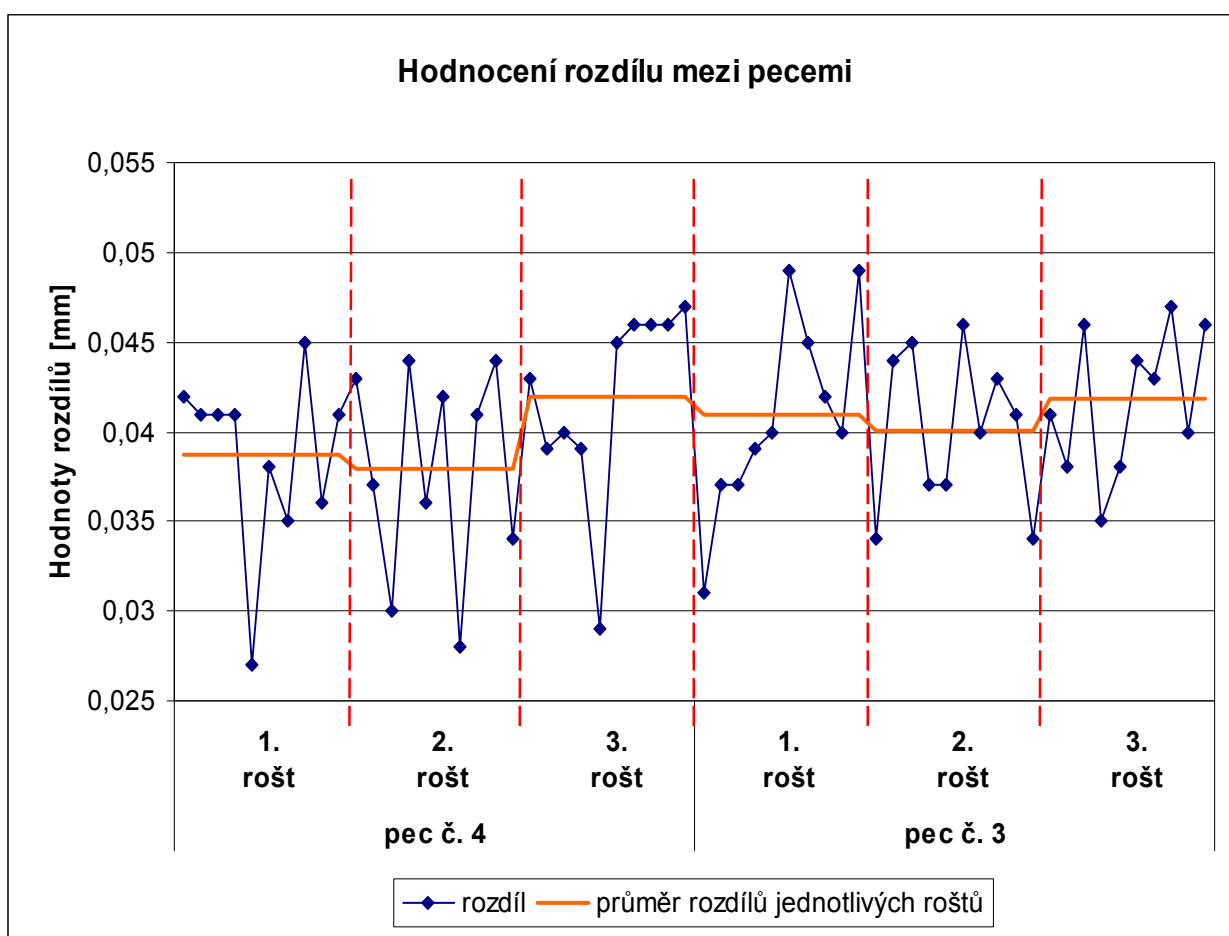
Zdroj: Vlastní

Z grafu č. 6 lze odvodit rozdíl mezi jednotlivými průběžnými pecemi. Vidíme, že u průběžné pece č. 4 vznikají menší rozdíly mezi deformacemi v jednotlivých měřených rovinách. Což také znamená vznik menšího deformačního kužele. Z toho lze usuzovat, že průběžná pec č. 4 je výhodnější, právě z důvodu vzniku menšího deformačního kužele.

U průběžné pece č. 3 jsou rozdíly rozkmitů u jednotlivých roštů téměř shodné a liší se pouze v tisícinách milimetru. U průběžné pece č. 4 jsou rozdíly rozkmitů také v tisícinách milimetru, ale u třetí roštu nastává rozdíl již v setinách milimetru. Takto velký rozdíl je nápadný a neměl by nastat. Proto se při vyhodnocování výsledků pátralo po příčině tohoto rozdílu.



Při zpětné kontrole podmínek tepelného zpracování u průběžné pece č. 4 bylo zjištěno, že došlo k předčasnému snížení otáček elektromotoru olejového čerpadla. Se snížením otáček elektromotoru tedy poklesla rychlost proudění chladicího oleje, což pravděpodobně vedlo ke změně proudění oleje (viz příloha č. 6). Touto chybou obsluhy bylo dokázáno, že významný vliv na tvorbu deformací má druh a rychlost proudění chladicího oleje. Podrobnější dokazování a modelování proudění je nad rámec této diplomové práce (pozn. autora: toto dokazování by byla další diplomová práce). Z tohoto důvodu jsem v dalším vyhodnocování třetí rošt u průběžné pece č. 4 zanedbal.



Graf č. 6 Hodnocení rozdílu mezi pecemi

#### 4.3.2 Srovnání průměrné hodnoty $M_{dk}$ mezi jednotlivými průběžnými pecemi a rošty

Předešlé hodnocení je vyhovující, ale ovšem trochu nepřesné. Při bližším vyhodnocování jednotlivých roštů je sice předešlé tvrzení pravdivé, ale u prvních roštů opačné. Naměřené hodnoty jsou v tabulce č. 22, 23, 24. Z těchto dat byl vytvořen graf č. 7, 8, 9.

Vytvoření grafů z hodnot uvedených v tabulce č. 22, 23, 24 provádíme následujícím způsobem. Pro jednotlivé průběžné pece vždy vezmeme jednotlivé pozice na roštu. Z takto vybraných dat vypočítáme aritmetický průměr (např. vybereme pozici 1 u daných tří roštů, čímž vytvoříme průměrnou hodnotu liché pozice). Tento průměr následně vynásíme do grafu.

V grafu č. 7, 8, 9 jsou vždy čtyři křivky, které znázorňují průměrné hodnoty naměřené u jednotlivých pozic a u jednotlivých roštů, pátá křivka vždy znázorňuje hranici tolerančního pole, ke které mají dané křivky rozměrově blíže (znázorněním celého tolerančního pole by se grafy staly nepřehledné). Pomocí těchto křivek můžeme hodnotit jak rozdíly mezi jednotlivými průběžnými pecemi, tak mezi sudými (označení v grafu „sp“) a lichými (označení v grafu „lp“) pozicemi.

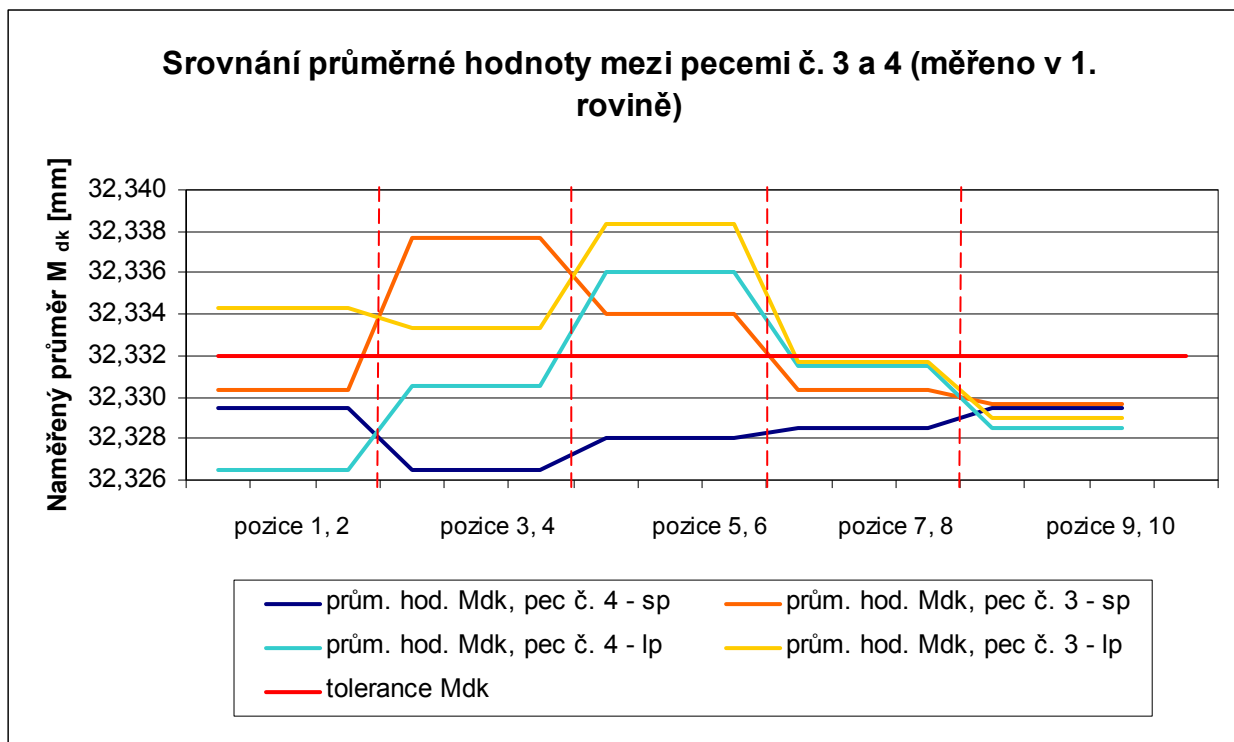
#### 4.3.2.1 První rovina měření

Tabulka č. 22 První rovina měření - rozdíl mezi pecemi

Pozice na roštu	1. rovina měření				
	Průběžná pec č. 3			Průběžná pec č. 4	
	1. rošt	2. rošt	3. rošt	1. rošt	2. rošt
1	32,331	32,332	32,340	32,323	32,330
2	32,331	32,327	32,333	32,333	32,326
3	32,327	32,332	32,341	32,322	32,339
4	32,332	32,336	32,345	32,332	32,321
5	32,341	32,331	32,343	32,337	32,335
6	32,334	32,335	32,333	32,329	32,327
7	32,327	32,337	32,331	32,328	32,335
8	32,331	32,333	32,327	32,328	32,329
9	32,331	32,332	32,328	32,332	32,325
10	32,326	32,334	32,329	32,326	32,333

Pozn.: hodnoty uvedeny v milimetrech

Zdroj: Vlastní měření



**Graf č. 7** Srovnání průměrné hodnoty  $M_{dk}$  mezi pecemi – 1. rovina

Červeně označené hodnoty v tabulce č. 22 jsou mimo předepsanou toleranci. Z grafu č. 7 je možné určit následující. Výkresová tolerance je od 32,332 mm do 32,387 mm, v grafu č. 7 je znázorněna pouze hodnota 32,332 mm. S ohledem na toleranční pole je v této rovině měření lepší průběžná pec č. 3, jelikož u průběžné pece č. 4 vznikají větší úchytky od předepsané tolerance téměř u všech pozorovaných pozic. Jen u pozic devět a deset, což je horní patro roštu, jsou odchylky, u obou roštů, od předepsané tolerance téměř shodné. To je způsobeno pravděpodobně prouděním oleje. Pokud budeme hodnotit sudé a liché pozice u jednotlivých roštů (viz příloha č. 5), můžeme konstatovat u průběžné pece č. 3 toto, liché pozice se pohybují častěji nad tolerancí než sudé pozice, což vede ke vzniku menšího deformačního kužele u lichých pozic, z čehož vyplývá, že liché pozice jsou pro tepelné zpracování výhodnější. Podobně i u průběžné pece č. 4 jsou liché pozice výhodnější.

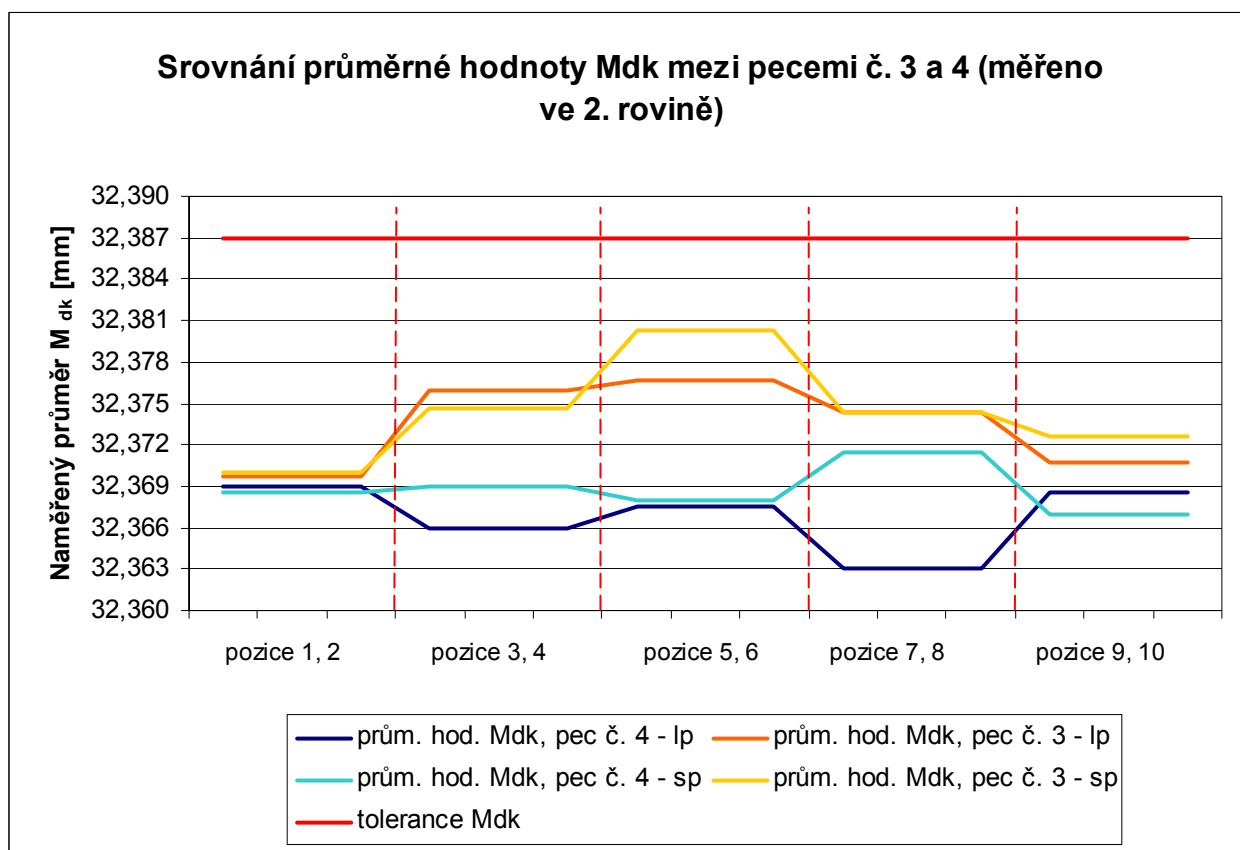
#### 4.3.2.2 Druhá rovina měření

Tabulka č. 23 Druhá rovina měření - rozdíl mezi pecemi

Pozice na roštu	2. rovina měření				
	Průběžná pec č. 3			Průběžná pec č. 4	
	1. rošt	2. rošt	3. rošt	1. rošt	2. rošt
1	32,362	32,366	32,381	32,365	32,373
2	32,368	32,371	32,371	32,374	32,363
3	32,364	32,377	32,387	32,363	32,369
4	32,371	32,373	32,380	32,373	32,365
5	32,381	32,368	32,381	32,364	32,371
6	32,383	32,381	32,377	32,367	32,369
7	32,372	32,377	32,374	32,363	32,363
8	32,373	32,376	32,374	32,373	32,370
9	32,371	32,373	32,368	32,368	32,369
10	32,375	32,368	32,375	32,367	32,367

Pozn.: hodnoty uvedeny v milimetrech

Zdroj: Vlastní měření



Graf č. 8 Srovnání průměrné hodnoty M<sub>dk</sub> mezi pecemi – 2. rovina

Z grafu č. 8 je možné určit následující. Výkresová tolerance je od 32,332 mm do 32,387 mm, v grafu č. 8 je znázorněna pouze hodnota 32,387 mm. S ohledem na toleranční pole je v této rovině měření výhodnější průběžná pec č. 4, jelikož u průběžné pece č. 3 vznikají úchyly, které se více přibližují předepsané toleranci u všech pozorovaných pozic. Pokud budeme hodnotit sudé a liché pozice u jednotlivých roštů (viz příloha č. 5), můžeme konstatovat u obou průběžných pecí následující, liché i sudé pozice, až na malé výjimky, můžeme považovat za shodné. Shodnost lichých a sudých pozic ve druhé a třetí měřicí rovině oproti první měřicí rovině je dána určitými tepelnými ději, které se odehrávají v materiálu při ochlazování. Hlavní vliv na tyto děje má hlavně přesazený náboj kola.

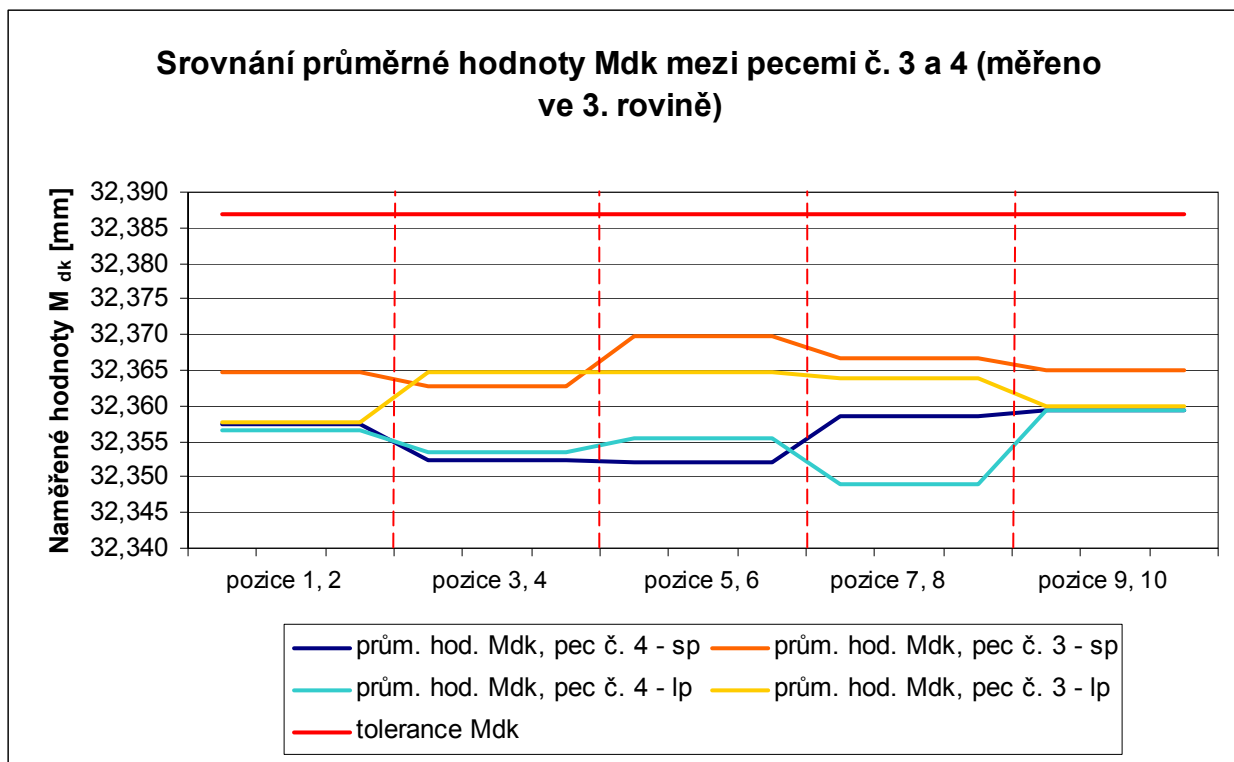
#### 4.3.2.3 Třetí rovina měření

Tabulka č. 24 Třetí rovina měření - rozdíl mezi pecemi

Pozice na roštu	3. rovina měření				
	Průběžná pec č. 3			Průběžná pec č. 4	
	1. rošt	2. rošt	3. rošt	1. rošt	2. rošt
1	32,353	32,355	32,365	32,355	32,358
2	32,361	32,370	32,363	32,361	32,354
3	32,352	32,369	32,373	32,349	32,358
4	32,360	32,361	32,367	32,353	32,352
5	32,368	32,353	32,373	32,354	32,357
6	32,375	32,366	32,368	32,352	32,352
7	32,365	32,365	32,362	32,344	32,354
8	32,363	32,369	32,368	32,357	32,360
9	32,363	32,365	32,357	32,361	32,358
10	32,370	32,362	32,363	32,359	32,360

Pozn.: hodnoty uvedeny v milimetrech

Zdroj: Vlastní měření



**Graf č. 9** Srovnání průměrné hodnoty M<sub>dk</sub> mezi pecemi - 3. rovina

Z grafu č. 9 je možné určit následující. Výkresová tolerance je od 32,332 mm do 32,387 mm, v grafu č. 9 je znázorněna pouze hodnota 32,387 mm. S ohledem na toleranční pole je v této rovině měření výhodnější průběžná pec č. 4, jelikož u průběžné pece č. 3 vznikají úchyly, které se více přibližují předepsané toleranci u všech pozorovaných pozic. Pokud budeme hodnotit sudé a liché pozice u jednotlivých roštů (viz příloha č. 5), můžeme konstatovat u obou průběžných pecí následující, liché i sudé pozice můžeme považovat za shodné. Shodnost lichých a sudých pozic ve druhé a třetí měřící rovině oproti první měřící rovině je dána určitými tepelnými ději, které se odehrávají v materiálu při ochlazení. Hlavní vliv na tyto děje má hlavně přesazený náboj kola.

#### 4.3.3 Hodnocení pomocí statistických metod

Daný vzorek měřených dat můžeme hodnotit podle několika statistických metod, jako např. pomocí popisné statistiky nebo pomocí testování hypotéz. V popisné statistice (tabulka č. 25) se významné vlastnosti statistického souboru vyjadřují v koncentrované formě jako následující číselné charakteristiky. Jde zejména o charakteristiky polohy, variability a souměrnosti.

**Tabulka č. 25** Popisná statistika

Charakter.	Průběžná pec č. 3			Průběžná pec č. 4		
	1. rovina	2. rovina	3. rovina	1. rovina	2. rovina	3. rovina
výběrový průměr	32,333	32,374	32,364	32,329	32,368	32,355
medián	32,331	32,368	32,365	32,333	32,363	32,354
modus	32,332	32,374	32,365	32,329	32,368	32,357
směr. odchylka	0,00504	0,00555	0,00568	0,00487	0,00376	0,00448
rozptyl	$2,54 \cdot 10^{-5}$	$3,081 \cdot 10^{-5}$	$3,226 \cdot 10^{-5}$	$2,37 \cdot 10^{-5}$	$1,42 \cdot 10^{-5}$	$2,004 \cdot 10^{-5}$
šikmost	0,0579	-0,3835	0,0478	-0,4929	-1,2047	0,7379

Pozn.: hodnoty uvedeny v milimetrech

Zdroj: Vlastní měření

### Výběrový průměr

- stanovíme tak, že sečteme jednotlivé výsledky měření a dělíme celkový součet počtem jednotek.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

### Medián $\tilde{x}$

- rozděluje statistický soubor na „dolní polovinu“ a „horní polovinu“ hodnot  $x_i$ . Jde o robustní charakteristiku, která je oproti aritmetickému průměru málo citlivá na extrémně odchylené hodnoty. Pro roztříděný soubor se k výpočtu mediánu užívá vhodná aproximace.

### Modus $\hat{x}$

- je číslo, v jehož okolí je nejvíce hodnot  $x_i$ , resp. je to střed  $x_j$  třídy s největší absolutní četností  $f_j$ . Modus má tytéž vlastnosti jako aritmetický průměr i medián a dle potřeby se počítá vhodnou aproximací (např. pro roztříděný soubor).

### Výběrový rozptyl

- je aritmetický průměr kvadrátů odchylek od aritmetického průměru. Vetší proměnlivosti znaku X odpovídá větší rozptyl a naopak.

$$s^2 = \frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

### Výběrová směrodatná odchylka

- je odmocnina z rozptylu. Vetší proměnlivosti znaku X odpovídá větší směrodatná odchylka a naopak.

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

### Koeficient šikmosti

- vyjadřuje tvar rozdělení četnosti pomocí jediného čísla. Pokud je šikmost rovna nule, potom je histogram četnosti symetrický. Koeficient šikmosti je tím menší (záporný), čím je graf polygonu četnosti více zešikmen doleva, naopak, šikmost je větší (kladná), čím je graf zešikmen více doprava.

$$s_k = \frac{3(\bar{x} - \tilde{x})}{s}$$

Z hodnot v tabulce č. 25 lze odvodit stejné závěry jako byly učiněny v předchozím hodnocení, tedy že průběžná pec č. 4 dosahuje lepších výsledků resp. vytváří menší deformační kužel než průběžná pec č. 3. Toto tvrzení lze především podepřít o hodnoty výběrových průměrů a výběrových směrodatných odchylek.

#### 4.3.3.1 Testování hypotéz

Statistickou hypotézou rozumíme každé tvrzení o tvaru nebo parametrech rozdělení jednoho nebo několika statistických proměnných. Pokud hypotézy vyslovují určitá tvrzení o hodnotách parametrů základního souboru, označujeme testy sloužící k jejich ověření jako parametrické. Tvrzení týkající se zákonů rozdělení se zabývají testy neparametrické. Zde je použit parametrický test o shodě dvou průměrů při neznámých rozptylech.

Postup testu je následující. Pracujeme se vzorky, jejich rozsah je menší než 30, pokud je splněna podmínka, že oba populační rozptyly  $\sigma_1^2$  a  $\sigma_2^2$  jsou přibližně shodné (tuto podmínku ověřujeme F-testem), můžeme použít statistiku  $t$ , definovanou tímto zamítacím pravidlem (za předpokladu  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ):

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2}} \cdot \sqrt{n_1 + n_2 - 2} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}} \rangle t_\alpha [n_1 + n_2 - 2]$$

#### F-test

nulová hypotéza  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

alternativní hypotéza  $H_1: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$

zamítací pravidlo:  $F = \frac{\max(s_1^2, s_2^2)}{\min(s_1^2, s_2^2)} \rangle F_{\alpha/2} [v_1, v_2]$ ,

kde  $v_1 = n_1 - 1$  a  $v_2 = n_2 - 1$ , jestliže  $s_1^2 \rangle s_2^2$ ,

$v_1 = n_2 - 1$  a  $v_2 = n_1 - 1$ , jestliže  $s_1^2 \langle s_2^2$ .



Necht'  $X_1$  označuje výběrové průměry průběžné pece č. 3 a  $X_2$  výběrové průměry průběžné pece č. 4. Lze předpokládat, že naměřené hodnoty jsou náhodné veličiny s logaritmicke-normálním rozložením (tento předpoklad lze dokázat např.: koeficientem šikmosti, testem dobré shody nebo normal probability plotem). Vždy dva výběrové průměry u stejně číslovaných rovin (první, druhá, třetí) jsou shodné, jestliže  $\mu_1 = \mu_2$ . Odtud nulová hypotéza  $H_0 : \mu_1 = \mu_2$  a alternativní hypotéza  $H_1 : \mu_1 > \mu_2$ . Výsledky jednotlivých výpočtů dle výše uvedených vzorců jsou v tabulce č. 26.

**Tabulka č. 26** Test o shodě dvou průměrů

Průběžná pec č. 3			Roviny měření u obou pecí	Průběžná pec č. 4		
$n_1$	$\bar{x}_1$ [mm]	$s_1^2$ [mm]		$\bar{x}_2$ [mm]	$s_2^2$ [mm]	$n_2$
30	32,333	0,00002535	1. rovina	32,329	0,0000237	20
	32,374	0,00003081	2. rovina	32,367	0,00001416	
	32,364	0,00003226	3. rovina	32,355	0,00002004	
Test o shodě dvou průměrů u jednotlivých roštů stejného pořadí						
	1. rovina	2. rovina	3. rovina			
F	1,06962	2,175847	1,60978			
$F_{\alpha/2}[v_1, v_2]$	2,71					
t	2,788237	4,927279	5,953554			
$t_\alpha[n_1 + n_2 - 2]$	2,0003					

Zdroj: Vlastní

V tabulky č. 26 vyplývá, že zamítací pravidlo je splněno ve všech třech případech, a proto můžeme zamítnout hypotézu  $H_0$ , jak při F-testu, z čehož plyne, že rozdíl mezi rozptyly není statisticky významný a tedy můžeme použít vzorec t-testu uvedený výše, tak při testu o shodě dvou průměrů při neznámých rozptylech. Při zvolené hladině významnosti 5 % se nám statisticky podařilo prokázat, že výběrové průměry zjištěné u průběžné pece č. 4 nejsou stejné jako u průběžné pece č. 3. Průběžná pec č. 4, s ohledem na předepsanou toleranci, tedy vytváří menší deformační kužel než průběžná pec č. 3.

#### 4.3.3.2 Neparametrické testy

Důkaz, že naměřené hodnoty, které jsem statisticky vyhodnocoval mají logaritmicke-normální rozložení. Posouzení provedeme pomocí grafické metody (N-P plot). Daná metoda je prováděna u hodnot naměřených v průběžné pece č. 3, u první roviny měření ( $n = 30$ ).

### Normal probability plot (N-P plot)

Umožňuje graficky posoudit, zda data pocházejí z normálního rozložení. N-P plot konstruujeme tak, že na vodorovnou osu vynášíme uspořádané hodnoty  $x_1 \leq \dots \leq x_n$  a na svislou osu  $u_{\alpha_j}$ , kde

$$\alpha_j = \frac{3j-1}{3n+1}.$$

Pocházejí-li data z normálního rozložení, pak budou všechny dvojice  $(x_j, u_{\alpha_j})$  ležet na přímce. Pro data z rozložení s kladnou šikmostí se budou dvojice  $(x_j, u_{\alpha_j})$  řadit do konvexní křivky. Pro data z rozložení se zápornou šikmostí se budou dvojice  $(x_j, u_{\alpha_j})$  řadit do konkávní křivky.

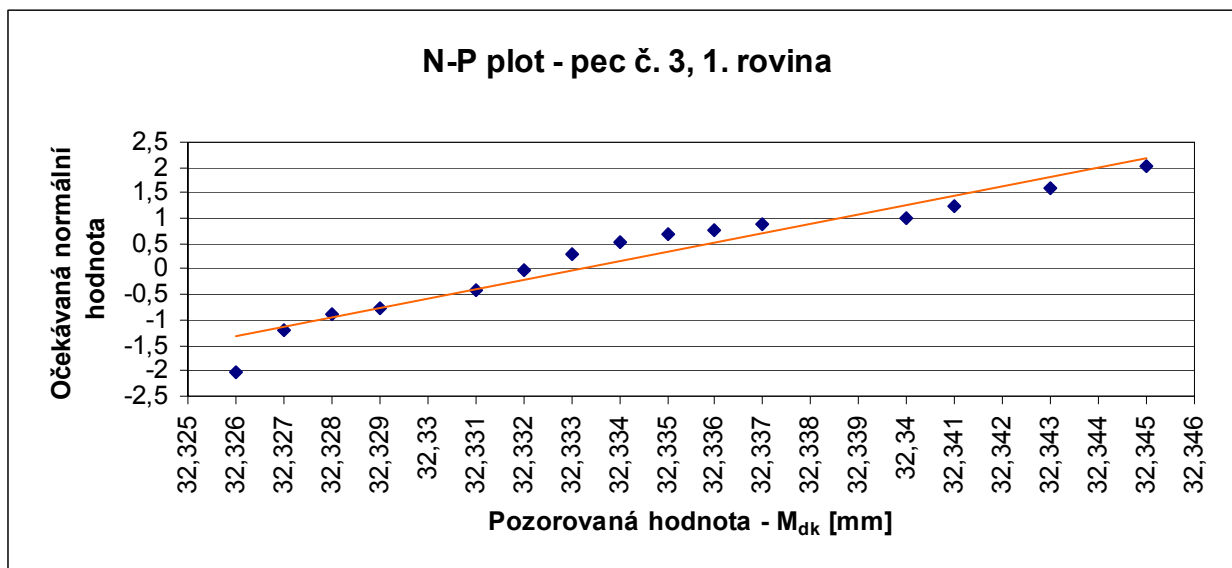
Postup, uspořádáme pozorovaný soubor dat, určíme průměrné pořadí, spočítáme  $\alpha_j$  a určíme dané kvantily podle tabulky studentova rozdělení. Tyto hodnoty jsou uspořádány v tabulce č. 27. Z grafu č. 10 lze odvodit, že data se řadí do konvexní křivky a rozložení tedy bude s kladnou šikmostí.

Z grafu č. 10 a z šikmosti (uvedené v tabulce č. 25) lze usoudit, že měřená data mají logaritmicko-normální rozložení. Podle tohoto důkazu můžeme tvrdit, že data v ostatních měření mají stejné vlastnosti, a proto také logaritmicko-normální rozložení.

**Tabulka č. 27** Normal probability plot

prům. pořadí - j	usp. hodnoty [mm]	$\alpha_i$	kvantil - $u_{\alpha_i}$
1	32,326	0,021978	-2,01409
3,5	32,327	0,104396	-1,20076
6	32,328	0,186813	-0,89664
7	32,329	0,21978	-0,77219
10,5	32,331	0,335165	-0,42619
15,5	32,332	0,5	0
19	32,333	0,615385	0,2924
21,5	32,334	0,697802	0,5244
23	32,335	0,747253	0,6744
24	32,336	0,78022	0,77219
25	32,337	0,813187	0,8779
26	32,340	0,846154	1,01544
27,5	32,341	0,895604	1,25404
29	32,343	0,945055	1,59819
30	32,345	0,978022	2,01409

Zdroj: Vlastní



Graf č. 10 N-P plot pec č. 3, 1. rovina

#### 4.4 Změna materiálu ozubeného kola

Další možností jak omezit nebo odstranit tvrdé protahování je změnou materiálu ozubeného kola. Ve výrobě se používá legovaná cementační ocel, označení materiálu TL 4227 (značení dle Škoda Auto a.s.). Toto značení materiálu odpovídá podle normy ČSN EN 10084 oceli s označením 16MnCr5 (číselné značení 1.7131). Tato ocel má chemické složení uvedené v tabulce č. 28.

**Tabulka č. 28** Chemické složení materiálu TL 4227 v hmotnostních %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	N <sup>1)</sup>
0,14 až 0,22	≤ 0,12	1,00 až 1,50	≤ 0,035	0,020 až 0,035	0,80 až 1,30	0,015 až 0,040	≤ 0,015

1) poměr Al/N musí být minimálně 2:1

Zdroj: Škoda Auto a.s.

**Tabulka č. 29** Chemické složení materiálu TL 4521 v hmotnostních %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	O <sub>2</sub>	Ni	Ti	Al	Cu	N <sup>1)</sup>
0,15 až 0,23	≤ 0,12	0,50 až 0,80	≤ 0,035	0,025 až 0,035	0,65 až 0,85	0,28 až 0,38	≤ 0,0025	1,5 až 1,9	≤ 0,0050	0,015 až 0,040	≤ 0,5	≤ 0,015

1) poměr Al/N musí být minimálně 2:1

Zdroj: Škoda Auto a.s.

K ověření tohoto tvrzení jsem navrhl zkoušku, kde stávající materiál nahradíme materiálem s vyšším podílem legujících prvků, protože právě legující prvky mají významný vliv na vlastnosti ocelí. Byl vybrán materiál s označením, podle normy ČSN EN 10084, 17CrNi6-6. Označení dle Škoda Auto a.s. je TL 4521. Tato ocel má chemické složení uvedené v tabulce č. 29.

Postup zkoušky byl následující. Z polotovaru se vyrobila kola typu 02T 311 285 N podle daného výrobního postupu (viz kapitola 2.4). Tyto kola se označila číselně (číslování od 1 do 30) a drátkem pro lepší orientaci. Číslování slouží pro orientaci umístění kol na roštu a drátek slouží k tomu, aby pracovník obsluhující danou průběžnou pec poznal zkoušené díly a mohl tyto díly po tepelném zpracování oddělit od zbytku. Takto označené díly byly vloženy na rošty. Díly jsem rozložil na tři rošty o šesti patrech. Rozmístění zkoušených dílů dle schématu viz příloha č. 5. Tepelné zpracování bylo prováděno v průběžné peci č. 4. Podmínky tepelného zpracování pro průběžnou pec č. 4 jsou v tabulce č. 30. Po tepelném zpracování byly provedeny operace 105, 110, 112 přesně dle výrobního postupu (viz kap 2.4).

Takto připravené díly měly být proměřeny na kontrolním přístroji stejným postupem jako při zkoušce změny tvaru ozubeného kola (viz kapitola 4.2). Měření na kontrolním přístroji se nedalo provést z důvodu příliš velké změny vnitřního jemného drážkování. Drážkování se dále kontrolovalo kalibrem, kde byla zjištěna neprůchodnost všech zkoušených kol. Měření se provádělo jen po tepelném zpracování. Měření po měkkém protahování není nutné z důvodu toho, že předpokládané deformace vznikají až po tepelném zpracování. Hodnocení zkoušky viz kapitola číslo pět.

**Tabulka č. 30** Podmínky tepelného zpracování

<b>Pec číslo 4 - nastavené podmínky TZ</b>			
regulace teploty - kalící pec			
zóna – nastavená teplota			
1	2	3	4
900 °C	900 °C	900 °C	830 °C
uhlíkový potenciál			
3. zóna	1,09 % C		
4. zóna	0,84 % C		
teplota olejové lázně – 120 °C – nastavená teplota			
<b>Popouštění</b>			
zóna – nastavená teplota			
1	2	3	
150 °C	150 °C	150 °C	

Zdroj: Vlastní

## 5 Závěr, vyhodnocení návrhů

Tato práce se zabývala omezením nebo zrušením tvrdého protahování vnitřního jemného drážkování ozubených kol po tepelném zpracování. Hlavní část měla být věnována posouzení stability tepelného zpracování, resp. k zjištění rozdílů mezi pecemi a návrhu rozměrů protahovacích trnů před tepelným zpracováním. Dále se práce věnovala návrhem jiné možné optimalizace tak, aby bylo možné z výrobního postupu odstranit tvrdé protahování po tepelném zpracování. K danému problému byly navrženy čtyři varianty na omezení nebo odstranění tvrdého protahování po tepelném zpracování, které v této kapitole budu porovnávat. Jednou navrženou variantou se podařilo odstranit tvrdé protahování po tepelném zpracování.

První možností jak omezit tvrdé protahování byla korekce protahovacích trnů při měkkém protahování. Z dané změny vyplývá následující. Změna rozměrů trnů vedla k určitému zlepšení rozměrů vnitřního jemného drážkování, resp. rozměru  $M_{dk}$ , ale tímto způsobem se nepodařilo omezit tvrdé protahování požadovaným způsobem, ale jen se podařilo snížit deformační kužel. V důsledku toho zůstaly takto změněné trny ve výrobním procesu.

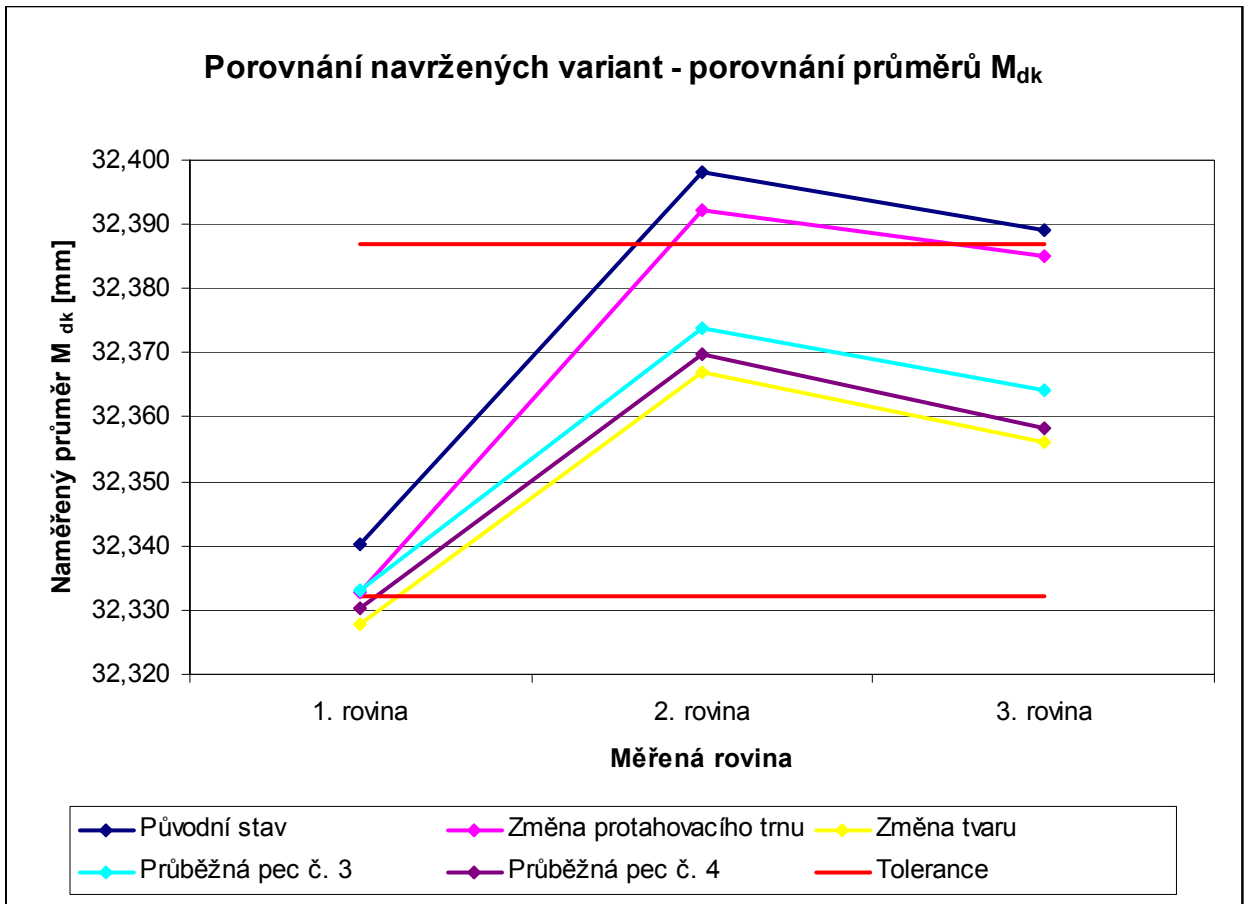
Druhou možností byla úprava tvaru ozubeného kola, resp. výroba zápichu. Tento návrh umožňuje z výrobního postupu odstranit operaci č. 135. Což je z ekonomického hlediska nejvýhodnější, a to z toho důvodu, že se neměnil stávající výrobní postup. Jen se mírně poupravil, a to tak, že se pro výrobu zápichu pouze upravila operace č. 5. Tato zkouška byla ovšem dlouhodobého charakteru. Ukončení a vyhodnocování této zkoušky časově kolidovalo z odevzdáním této diplomové práce. Z tohoto důvodu jsou závěry zde prezentované předčasné, ale po konzultacích s technologi, kteří za danou zkoušku zodpovídají, pravdivé (závěry viz níže).

Třetí možnost jak omezit nebo odstranit tvrdé protahování po tepelném zpracování byla změna právě tepelného zpracování, resp. umístění kol na roštu a výběr vhodné průběžné pece. Tato zkouška se prováděla už z tvarově upravenými koly. Touto zkouškou se prokázalo, že průběžná pec č. 4 je výhodnější než průběžná pec č. 3. U kol s upraveným tvarem je tento rozdíl nepatrný. Z tohoto důvodu by bylo ekonomicky nepřijatelné k tepelnému zpracování využívat jen jednu průběžnou pec. Využívání jen jedné průběžné pece by zásadním způsobem omezilo výrobu, proto se ve výrobě používají dále obě průběžné pece.

Čtvrtý a poslední způsob jak omezit nebo odstranit tvrdé protahování po tepelném zpracování bylo změnou materiálu ozubeného kola. Touto zkouškou se však nepodařilo prokázat ani omezení, ani odstranění tvrdého protahování. Zkoušená kola se tepelně zpracovávala podle stávajícího výrobního postupu, což zřejmě vedlo, s ohledem na chemické složení materiálu, ke vzniku příliš rozměrově velkého deformačního kužele. Metalografický výbrus materiálu před tepelným zpracováním viz příloha č. 7. Ze zkoušky vyplývají tři velké nevýhody. Za prvé, při změně materiálu ozubeného kola by se musely změnit podmínky tepelného zpracování, což by vedlo k prodlevám ve výrobě. Za druhé, cena polotovaru materiálu TL 4521 je v průměru dvakrát vyšší než cena materiálu TL 4227, z čehož vyplývá možné prodražení výroby. Ekonomické hledisko by bylo otázkou podrobné analýzy, ale podmínkou by byla nutnost prokázat odstranění tvrdého protahování při změně materiálu (z časových důvodů nemůže být tento důkaz podán v této práci). Za třetí, styk zubů dvou ozubených kol z různých materiálů. Zkouškou by se musela prokázat odolnost např. proti otláčení atd.

Porovnání všech možných variant je v grafu č. 11. Graf je vytvořen z průměrných hodnot měření každé zkoušené varianty. Na tomto grafu je dobře vidět, jak se podařilo každou variantou, kromě změny materiálu, snížit deformační kužel. Tvrdé protahování se podařilo odstranit změnou tvaru ozubeného kola, resp. výrobou zápichu. Tímto návrhem se dosáhlo předepsané tolerance po tepelném zpracování, a proto nebude dále nutné provádět tvrdé protahování, čímž se ušetří náklady na nákup speciálních protahovacích trnů a uvolní se protahovací stroj pro jiné operace. Zkouška ještě není ukončena, ale můžeme tvrdit, že po ukončení a vyhodnocení této zkoušky zůstanou takto upravená kola ve výrobě.

Porovnáním dvou hlavních variant (změna rozměrů protahovacího trnu a změna tvaru ozubeného kola) můžeme určit vývoj budoucího stavu. Změnou rozměrů protahovacího trnu se docílilo mírného snížení deformačního kužele cca o 10 %. Změnou tvaru ozubeného kola se podařilo docílit snížení deformačního kužele (podle předběžných výsledků) o cca 60 %. Takto velkého snížení deformace se ale dosáhlo i díky změně rozměrů protahovacích trnů, které zůstaly ve výrobním procesu. Je proto otázkou jestli by k takovému snížení došlo i bez změny rozměrů protahovacího trnu. Můj osobní názor je, že ano. Toto tvrzení by však bylo nutné ověřit dalšími zkouškami. Po těchto úvahách se jeví jako nejvýhodnější řešení změna tvaru ozubeného kola. I když navržená změna nemusí být optimální, protože vždy se musí hledat určitý kompromis mezi cenou, ale také např. montáží. Všechny další možné změny jsou však předmětem dalších zkoušek.



**Graf č. 11** Porovnání navržených variant - porovnání průměru  $M_{dk}$

## Seznam pramenů a odborné literatury

- [1] Budíková, M., Lerch, T., Mikoláš, Š. *Základní statistické metody*. 1. vyd. Blansko: Tiskárna Blansko, 2005. ISBN 80-210-3886-1.
- [2] Macek, K., Zuna, P., Janovec, J. *Tepelné úpravy kovových materiálů*. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2001. ISBN 80-01-02287-0.
- [3] Machek, V., Sodomka, J. *Struktury kovových materiálů – 1. část*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2006. ISBN 80-01-03379-1.
- [4] Mohyla, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1217-7.
- [5] Kocman, K., Prokop, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [6] Řasa, J., Gabriel, V. *Strojírenská technologie 3 - 1. díl: Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 2. vyd. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
- [7] Souček, E. *Základy pravděpodobnosti a statistiky*. 2. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-611-7
- [8] Informace Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav, VAP.
- [9] ConVERTER, Tvrdost [online]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/tvrdost.htm>, [13. 11. 2007].
- [10] Metrotest, Zkoušky tvrdosti [online]. Dostupné z: [http://www.metrotest.cz/hardness/zkousky\\_tvrdosti.pdf](http://www.metrotest.cz/hardness/zkousky_tvrdosti.pdf), [13. 11. 2007].
- [11] MM Průmyslové spektrum, Protahování kaleného předhrubovaného vnitřního profilu [online]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/protahovani-kaleneho-predhrubovaneho-vnitriho-profilu>, [19. 2. 2008].



## Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Nářadí a jeho doporučená životnost u operace č. 135 .....	11
Tabulka č. 2 Kontrolní plán operace číslo 5 - 02T 311 285 .....	16
Tabulka č. 3 Kontrolní plán operace číslo 10 - 02T 311 285 .....	18
Tabulka č. 4 Kontrolní plán operace číslo 11 - 02T 311 285 .....	19
Tabulka č. 5 Kontrolní plán operace číslo 45 - 02T 311 285 .....	20
Tabulka č. 6 Kontrolní plán operace číslo 70 - 02T 311 285 .....	21
Tabulka č. 7 Kontrolní plán operace číslo 135 - 02T 311 285 .....	24
Tabulka č. 8 Směrné hodnoty $C_{Fc}$ a $y_{Fc}$ pro stanovení $F_c$ při protahování.....	28
Tabulka č. 9 Řezné podmínky při protahování nástroje z rychlořezné oceli .....	32
Tabulka č. 10 Parametry dosahujících se při protahování.....	32
Tabulka č. 11 Členění metody Vickers .....	42
Tabulka č. 12 Zkušební zatížení při zkoušce tvrdosti metodou Vickers.....	43
Tabulka č. 13 Vnikací tělesa a zkušební síly pro různé metody Rockwell .....	44
Tabulka č. 14 Rozměry vnitřního jemného drážkování .....	47
Tabulka č. 15 Měkké a tvrdé protahování před změnou protahovacího trnu .....	49
Tabulka č. 16 Předběžná zkouška změny tvaru kola.....	52
Tabulka č. 17 Tvrdé protahování u kola se zápichem.....	54
Tabulka č. 18 Měkké protahování při změně tepelného zpracování .....	56
Tabulka č. 19 Údaje o kontrolním přístroji měření .....	59
Tabulka č. 20 Podmínky tepelného zpracování.....	60
Tabulka č. 21 Rozdíly rozkmitů u jednotlivých roštů .....	62
Tabulka č. 22 První rovina měření - rozdíl mezi pecemi .....	64
Tabulka č. 23 Druhá rovina měření - rozdíl mezi pecemi .....	66
Tabulka č. 24 Třetí rovina měření - rozdíl mezi pecemi .....	67
Tabulka č. 25 Popisná statistika .....	69
Tabulka č. 26 Test o shodě dvou průměrů.....	71
Tabulka č. 27 Normal probability plot .....	72
Tabulka č. 28 Chemické složení materiálu TL 4227 v hmotnostních %.....	73
Tabulka č. 29 Chemické složení materiálu TL 4521 v hmotnostních %.....	73
Tabulka č. 30 Podmínky tepelného zpracování.....	74

## Seznam grafů

Graf č. 1 Měkké protahování před a po změně rozměrů protahovacího trnu .....	50
Graf č. 2 Tvrdé protahování před a po změně rozměrů protahovacího trnu .....	51
Graf č. 3 Tvrdé protahování kola se zápichem - 14. - 28. 1. 2008 .....	55
Graf č. 4 Tvrdé protahování kola se zápichem - 27. - 29. 2. 2008 .....	55
Graf č. 5 Měkké protahování, zkouška rozdílů mezi pecemi .....	57
Graf č. 6 Hodnocení rozdílů mezi pecemi .....	63
Graf č. 7 Srovnání průměrné hodnoty $M_{dk}$ mezi pecemi – 1. rovina .....	65
Graf č. 8 Srovnání průměrné hodnoty $M_{dk}$ mezi pecemi – 2. rovina .....	66
Graf č. 9 Srovnání průměrné hodnoty $M_{dk}$ mezi pecemi - 3. rovina .....	68
Graf č. 10 N-P plot pec č. 3, 1. rovina .....	73
Graf č. 11 Porovnání navržených variant - porovnání průměru $M_{dk}$ .....	77

## Seznam obrázků

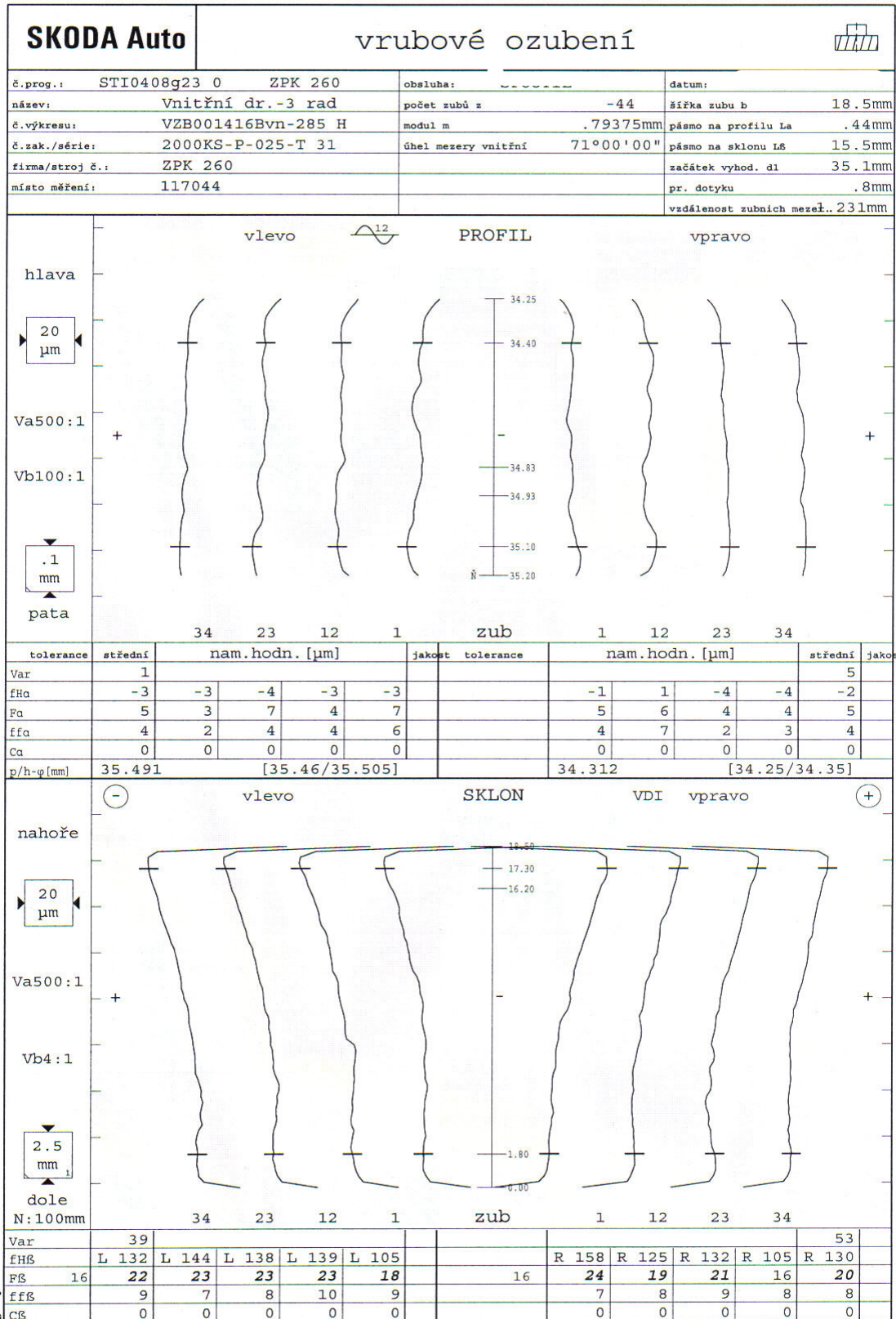
Obrázek č. 1 Schéma výrobního postupu .....	14
Obrázek č. 2 Záběr zubů protahovacího trnu s obrobkem.....	27
Obrázek č. 3 Protahovací trn .....	29
Obrázek č. 4 Tvar zubů protahovacího trnu .....	29
Obrázek č. 5 Protahovací trn s břity ze slinutého karbidu.....	30
Obrázek č. 6 Protahovačky (zleva) vodorovná, svislá.....	30
Obrázek č. 7 Příklad protahovacích tvarů vnitřních ploch .....	31
Obrázek č. 8 Schéma ševingování .....	34
Obrázek č. 9 Zkouška tvrdosti dle Vickerse.....	42
Obrázek č. 10 Zkouška tvrdosti podle Rockwella (HRB, HRC).....	45
Obrázek č. 11 Roviny měření .....	47
Obrázek č. 12 Diagram příčin a důsledků .....	48
Obrázek č. 13 Ukazatel kontrolního přístroje.....	58

## **Seznam příloh**

- Příloha č. 1** Protokol o měření vnitřního drážkování
- Příloha č. 2** Náčrt tvarově upraveného ozubeného kola
- Příloha č. 3** Odchylka pro díl 02T 311 285 s čelním zápichem
- Příloha č. 4** Zkušební list
- Příloha č. 5** Schéma umístění kol na roštu – 02T 311 285, průběžná pec č. 3 a 4
- Příloha č. 6** Změna proudění oleje u průběžné pece č. 4
- Příloha č. 7** Metalografický výbrus použitých materiálů

# Příloha č. 1

## Protokol o měření vnitřního drážkování

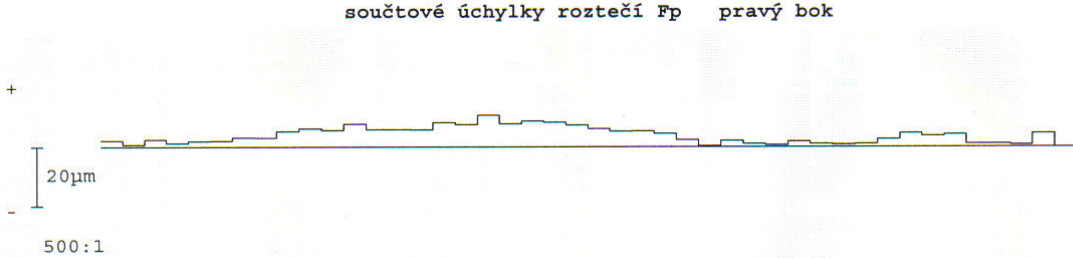
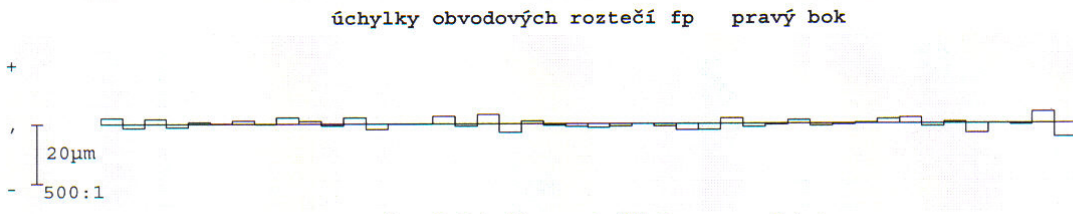
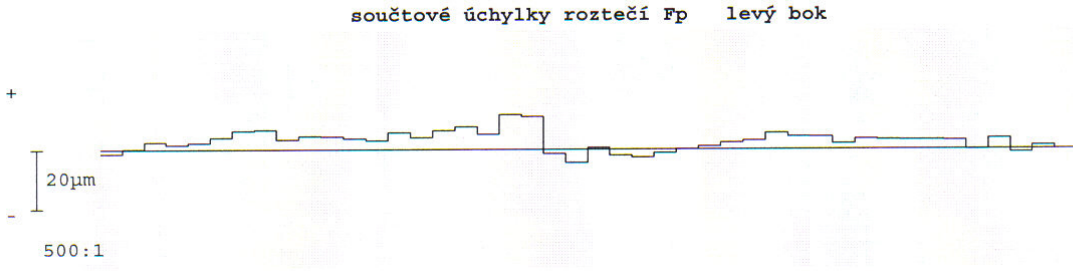


**SKODA Auto**

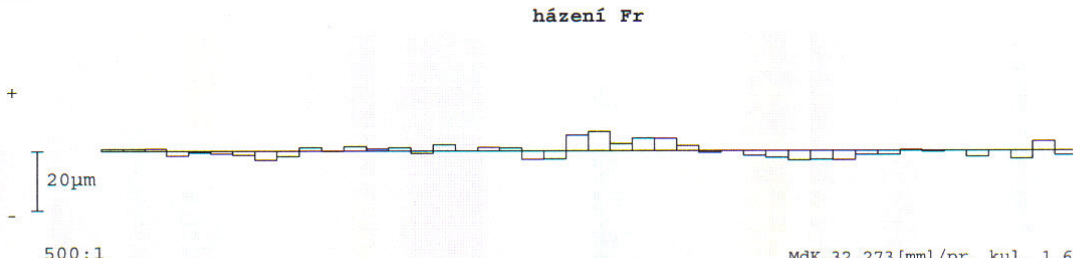
vrubové ozubení rozteče



č.prog.:	STI0408g23 0 ZPK 260	obsluha:		datum:	
název:	Vnitřní dr.-3 rad	počet zubů z	-44	úhel mezery vnitřní	71°00'00"
č.výkresu:	VZB001416Bvn-285 H	modul m	.79375mm		
č.zak./série:	2000KS-P-025-T 31	místo měření:	117044		
firma/stroj č.:	ZPK 260				



	levý bok		pravý bok	
	nam.hodn.	jako.	nam.hodn.	jako.
max. úch. obvod roztečí fp max	13		5	
max. úch. soused. roztečí fu max	12		8	
kolísání roztečí Rp	20		9	
součtová úchytky roztečí Fp	16	43	11	43
součtová úch. roztečí k zubů Fpz/s	15		7	



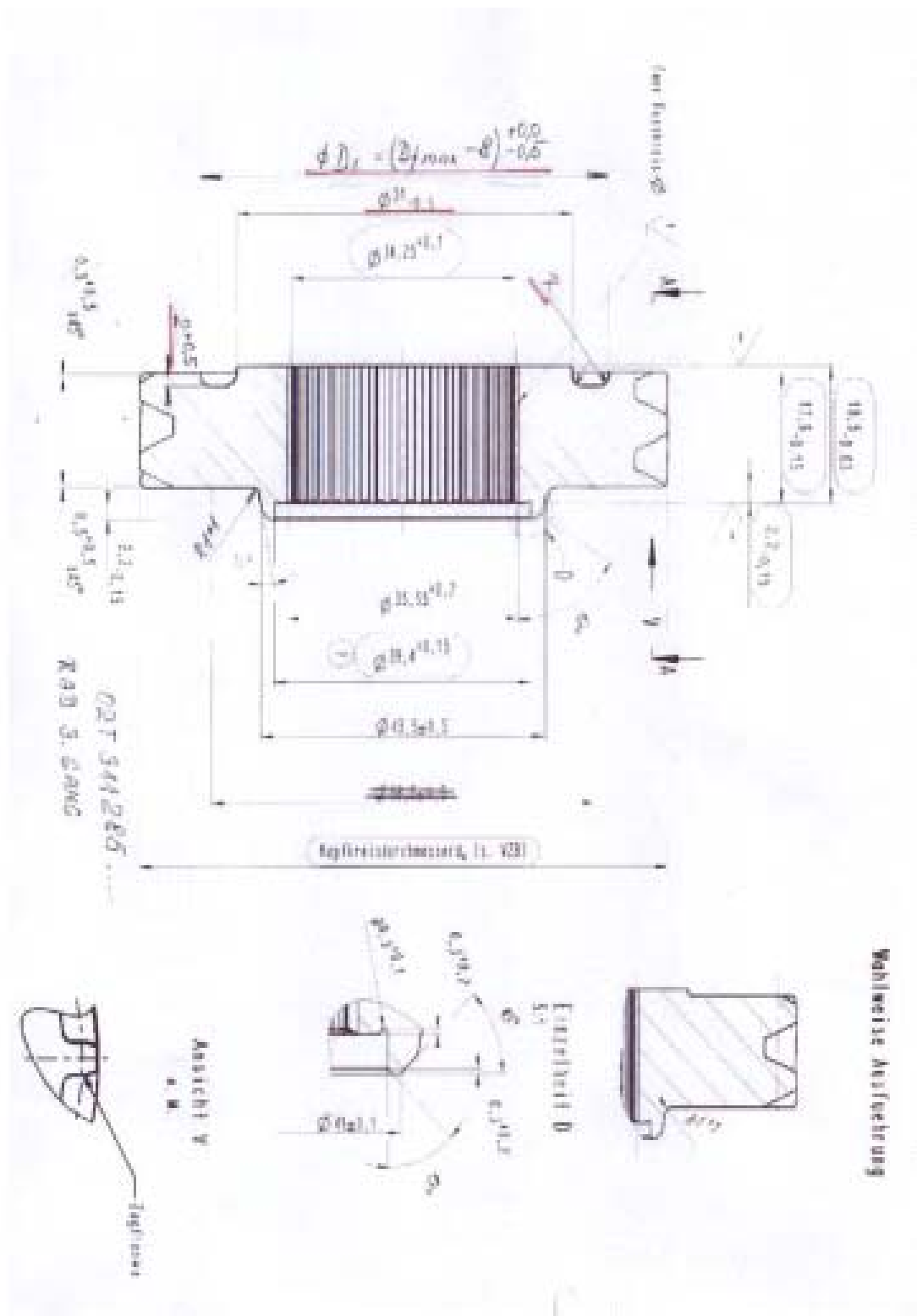
		levý bok		pravý bok	
		nam.hodn.	jako.	nam.hodn.	jako.
obvodové házení ozubení Fr		10	50	dov.hodn. 32.387	32.332
kolísání tloušťky zubu Rs		17	9	nam. 32.339	32.346 32.333

MdK 32.273 [mm] / pr. kul. 1.6



# Příloha č. 2

Náčrt tvarově upraveného ozubeného kola



## Příloha č. 3

Odchyłka pro díl 02T 311 285 s čelním zápichem

ŠKODA AUTO a. s.  
Mladá Boleslav

### PROTOKOL O ODCHYLCE Abweichungsprotokoll

Číslo/Nr.

1034 / GQH / ves

vypňuje Řízení kvality závodu  
füllt Qualitätssicherung Werke aus

Týká se závodu / Nebenwerke sind betroffen  VZB  VA  VZV  VZK

Číslo dílu/Teil Nr. 02T 285 N.P.Q

Název dílu/Teilbenennung Rad 3.Gang

Odchyłka (stručný popis)/Abweichung (kurze Beschreibung)

Kontrolní číslo/Kontrollheft-Nr.

Tvar kola soustružit s čelním zápichem do hloubky 2 + 0,5 dle přiložené skici.

pro období od/für Zeitraum von 30.11.2007 do/bis 30.4.2008

množství/Menge

Důvod odchyłky/Begründung der Abweichung

PKO opatření - odpadnutí tvrdého protahování vnitřního evolventního drážkování.

Datum 28.11.2008

souhlas/Zustimmung

- Seriové plánování  
Serienplanung
- Technická kontrola  
Inspektion
- Technický vývoj  
Technische Entwicklung
- Výroba  
Produktion
- Řízení kvality nákup. dílů  
Qualitätssicherung Kaufteile
- Prodej  
Vertrieb



# Příloha č. 4

## Zkušební list



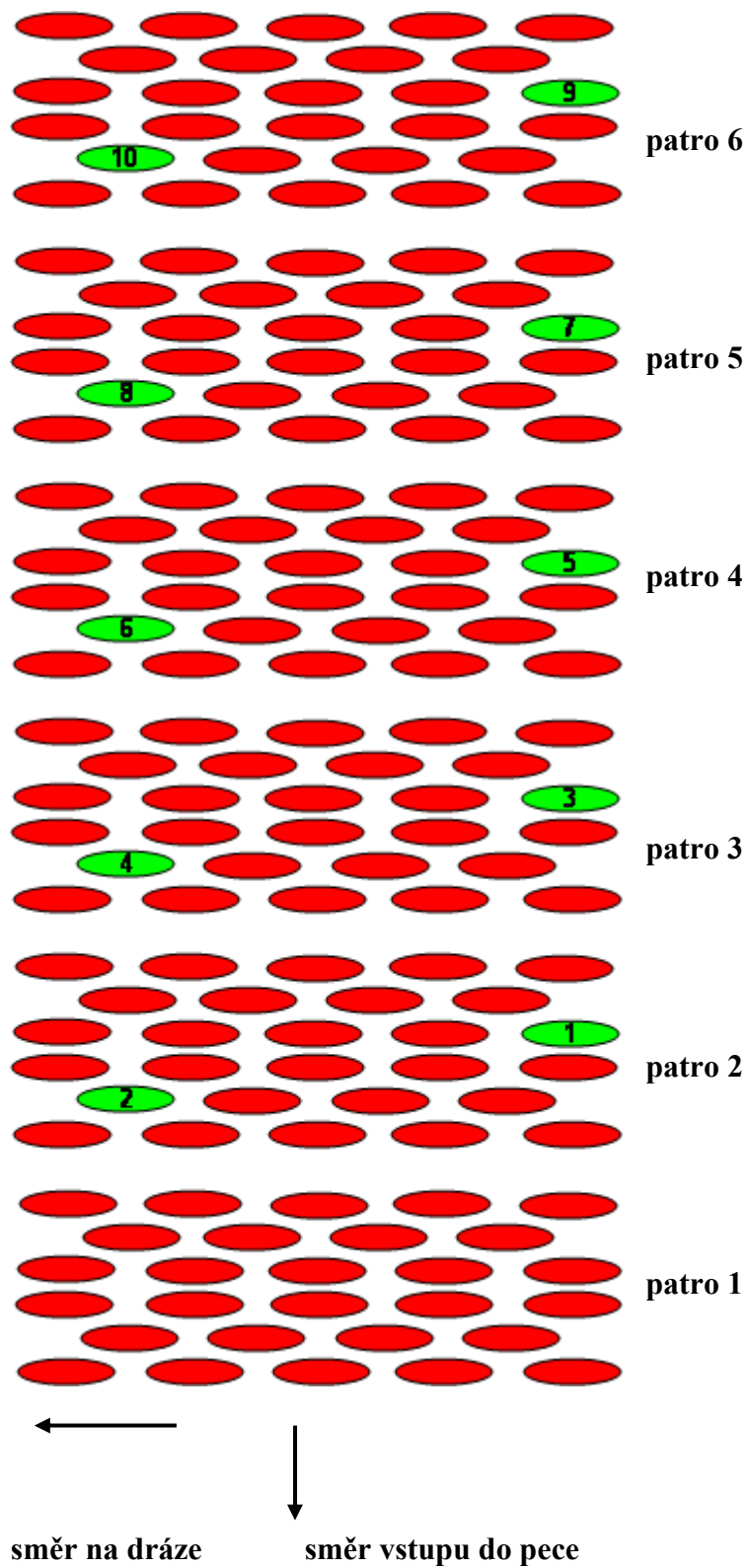
ŠKODA a.a.s.

**ZKUŠEBNÍ LIST**

Typ	Zkouška: Kola 3. rychlosti	Arch. č.																										
<b>MQ 200</b>	Č.d. 02T.311.285.N ;P ;Q	<b>135/2250/2007</b>																										
Navrhuje: VAT/3 - technologie	Obj. dne: 15.11.2007	Referent:																										
<p><b>Důvod a popis zkoušky</b>                  Na základě žádosti p. Hielschera z EAGH odzkoušejte výrobu kol 3. rychlosti s čelním vybráním dle přiložené skici. Důvod zkoušky – snížení deformací vnitřního drážkování po kalení a tím zajištění rozměrů drážkování ve výkresových hodnotách.</p> <p><b>Ukoly:</b></p> <table border="0"> <tr> <td>1. Vystavení odchylky na čelní zápich pro uvedená kola</td> <td>TPH T: 22.11.2007</td> </tr> <tr> <td>2. Zajištění nástrojů od fy. ISCAR</td> <td>VAT/2 T: 10.12.2007</td> </tr> <tr> <td>3. Seřízení strojů EMAG.</td> <td>ISCAR T: 14.12.2007</td> </tr> <tr> <td>4. Prověření dopadu do normy.</td> <td>VI T: 19.12.2007</td> </tr> <tr> <td>5. Kontrola dílů dle nového KPO</td> <td>VAT/3 T: od 14.12.2007</td> </tr> <tr> <td>6. Kontrola vnitř. drážkování po kalení ve 3 rovínách - z dávky</td> <td>VAT/5 T: od 14.12.2007</td> </tr> <tr> <td>7. Vyhodnocení zkoušky</td> <td>VAT/3 T: 11.7.2008</td> </tr> </table> <p>Termín zkoušky: 30.11.2007 – 11.7.2008</p> <p>Obdrží všichni zúčastnění +</p> <table border="0"> <tr><td></td><td>GQH</td></tr> <tr><td></td><td>VAP</td></tr> <tr><td></td><td>VAT/3</td></tr> <tr><td></td><td>VAP</td></tr> <tr><td></td><td>VAT/2</td></tr> <tr><td></td><td>VAP</td></tr> </table>			1. Vystavení odchylky na čelní zápich pro uvedená kola	TPH T: 22.11.2007	2. Zajištění nástrojů od fy. ISCAR	VAT/2 T: 10.12.2007	3. Seřízení strojů EMAG.	ISCAR T: 14.12.2007	4. Prověření dopadu do normy.	VI T: 19.12.2007	5. Kontrola dílů dle nového KPO	VAT/3 T: od 14.12.2007	6. Kontrola vnitř. drážkování po kalení ve 3 rovínách - z dávky	VAT/5 T: od 14.12.2007	7. Vyhodnocení zkoušky	VAT/3 T: 11.7.2008		GQH		VAP		VAT/3		VAP		VAT/2		VAP
1. Vystavení odchylky na čelní zápich pro uvedená kola	TPH T: 22.11.2007																											
2. Zajištění nástrojů od fy. ISCAR	VAT/2 T: 10.12.2007																											
3. Seřízení strojů EMAG.	ISCAR T: 14.12.2007																											
4. Prověření dopadu do normy.	VI T: 19.12.2007																											
5. Kontrola dílů dle nového KPO	VAT/3 T: od 14.12.2007																											
6. Kontrola vnitř. drážkování po kalení ve 3 rovínách - z dávky	VAT/5 T: od 14.12.2007																											
7. Vyhodnocení zkoušky	VAT/3 T: 11.7.2008																											
	GQH																											
	VAP																											
	VAT/3																											
	VAP																											
	VAT/2																											
	VAP																											
Zakázkové číslo	Běž. č.	Referent																										
<p><u>Výsledek zkoušky:</u></p>																												

## Příloha č. 5

Schéma umístění kol na roštu – 02T 311 285, průběžná pec č. 3 a 4



Legenda:

–  zkoušený díl,

–  sériový díl,

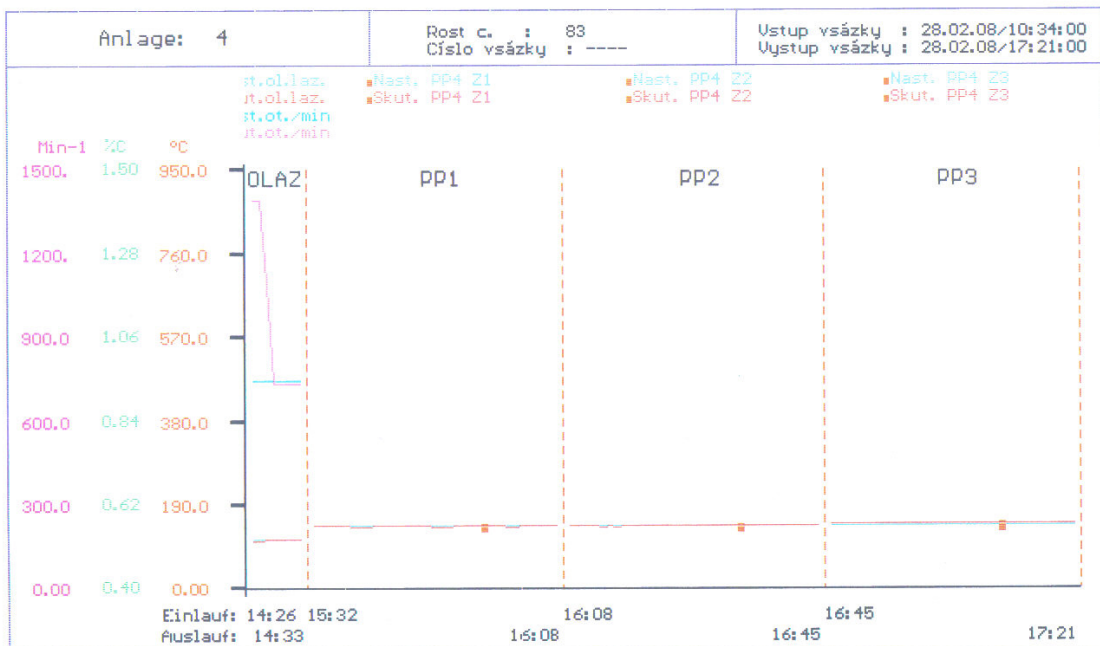
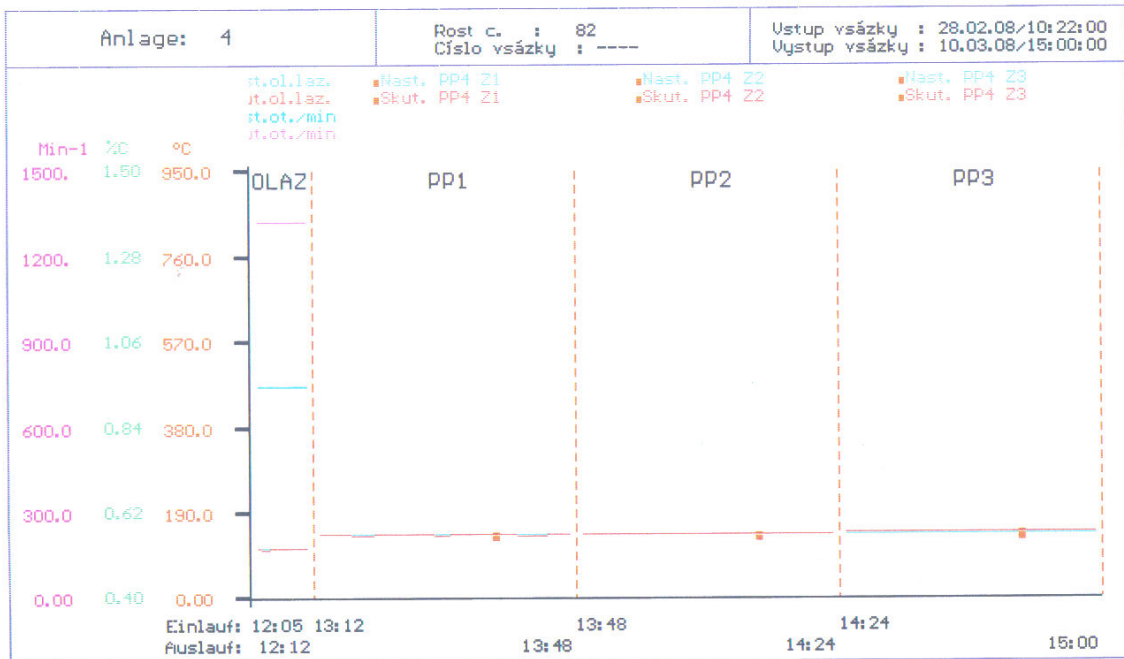
– umístění kola na roštu,



Pozn. čísla 1 - 10 jsou měřená kola na jednotlivých roštích, která odpovídají pořadovým.

## Příloha č. 6

### Změna proudění oleje u průběžné pece č. 4





## Příloha č. 7

Metalografický výbrus použitých materiálů

### Materiál TL 4521



Výsledek:

- lamelární perlit + ferit,
- velikost zrna – 8,5 (EN ISO 643),
- řádkovitost – 3/2B (ČSN 42 0469).

### Materiál TL 4227



Výsledek:

- lamelární perlit + ferit,
- velikost zrna – 8,5 (EN ISO 643),
- řádkovitost – 1/2B (ČSN 42 0469).