

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Magisterský studijní program: strojírenská technologie

Zaměření: obrábění a montáž

ZAVÁDĚNÍ NOVÝCH DOKONČOVACÍCH METOD OBRÁBĚNÍ OZUBENÍ VE ŠKODA AUTO a.s.

IMPLEMENTING NEW METHODS OF FINAL MACHINING OF TOOTHING AT ŠKODA AUTO a.s.

KOM - 1047

Jan Žák

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Konzultant: Ing. Jaroslav Prokop (Škoda Auto a.s.)

Počet stran: 73

Počet příloh a tabulek: 10

Počet obrázků: 62

Počet modelů nebo jiných příloh: -

Datum: 21.5.2006

ZAVÁDĚNÍ NOVÝCH DOKONČOVACÍCH METOD OBRÁBĚNÍ OZUBENÍ VE ŠKODA AUTO a.s.

ANOTACE:

Práce se zabývá porovnáváním technologií ševingování, brusného honování a broušení ozubení hnacího hřídele automobilové převodovky MQ200 vyráběné ve firmě Škoda Auto a.s. Součástí práce jsou porovnávací měření a hodnocení integrity povrchu. Byly proměřeny parametry ozubení, drsnosti, tvrdosti, zbytkového napětí a hluku. Závěrečné zhodnocení bylo provedeno i s ohledem na ekonomická kritéria.

IMPLEMENTING NEW METHODS OF FINAL MACHINING OF TOOTHING AT ŠKODA AUTO a.s.

ANNOTATION:

The thesis compares the MQ 200 transmission input shaft shaving, honing and grinding technologies used at the Škoda Auto company. The thesis contains comparative measurements and evaluation of surface integrity, tothing specifications, roughness, hardness, residual stress and noise. Concluding evaluation also applies economic criteria.

**Klíčová slova: OBRÁBĚNÍ, OZUBENÍ, ŠEVINGOVÁNÍ, BRUSNÉ HONOVÁNÍ,
BROUŠENÍ**

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2006

Archivní označ. zprávy:

Počet stran:	73
Počet stran příloh:	270
Počet obrázků:	62
Počet tabulek:	2
Počet diagramů:	-

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího a konzultanta.

V Liberci 21.5. 2006

.....

1. ÚVOD

Diplomová práce se zabývá porovnáváním dokončovacích metod obrábění ozubení ve firmě Škoda Auto a.s. Jedná se o stávající technologii ševingování a nově zaváděné technologie broušení a brusného honování.

1.1. Stručná historie podniku

Historie podniku sahá na konec devatenáctého století, kdy počátkem roku 1895 začal mechanik Václav Laurin a knihkupec Václav Klement v Mladé Boleslavi vyrábět jízdní kola značky Slavia. Za několik let, roku 1899, zahájila firma Laurin&Klement výrobu motocyklů a v roce 1905 byl vyroben první automobil Voiturette A [7].

V roce 1925 došlo ke spojení se strojírenskou firmou Škoda Plzeň a to znamená zároveň konec značky Laurin&Klement.

Po druhé světové válce byla automobilka oddělena od plzeňské části firmy Škoda a její název byl změněn na AZNP Mladá Boleslav. V roce 1991 se firma Škoda a.s. stala součástí koncernu Volkswagen [8].

1.2. Stručná historie výroby převodovky MQ 200

S nástupem platformy PQ 24 byla zahájena výroba nové koncernové převodovky MQ 200. Postupná realizace výroby začala v závodě Kassel (SRN) a následně ve španělském Gearboxu. Ve firmě Škoda Auto a.s. byla příprava výroby této převodovky zahájena v roce 1999. Sériová výroba začala počátkem roku 2000.



Obr. 1. Převodovka MQ 200

Výroba skříňových dílů a synchronizace včetně samotné montáže převodovky se provádí v nově vybudované hale M6. Ozubená kola a hřídele se vyrábějí v zrekonstruované hale M2, kde se také používají dokončovací technologie výroby ozubení porovnávané v této diplomové práci.

1.3. Cíle diplomové práce

Na základě zadání byly stanoveny hlavní cíle diplomové práce:

- a) shrnutí dosavadních poznatků o technologiích ševingování, brusného honování a broušení ozubení
- b) zmapování dosahovaných hodnot parametrů ozubení, drsnosti, zbytkového napětí, tvrdosti a hluku
- c) porovnání technologií z hlediska kvality výroby
- d) porovnání technologií z hlediska finančních nákladů
- e) závěrečné zhodnocení dosažených výsledků a zvolení nejvýhodnější technologie.

2. POPIS POROVNÁVANÝCH TECHNOLOGIÍ

2.1. Ševingování ozubení

Největší část produkce ozubení při výrobě převodovky MQ 200 je zhotovena technologií ševingování. Jedná se o třískovou dokončovací technologii, kterou se obrábějí nezakalená ozubená kola. Tato metoda se využívá převážně v sériové a hromadné výrobě, kde má i přes některé nevýhody technické i ekonomické uplatnění.

Popis technologie

Ševingovací ozubené kolo na evolventní ozubení je korigované ozubené kolo, na jehož evolventních bocích zubů jsou zhotoveny drážky vhodných rozměrů. Tím se vytvoří řada řezných hran, které při vmáčknutí do obrobku odebírají vlivem řezného pohybu jemné třísky. Proto nástroj vzhledem k obrobku ustavujeme do polohy záběru dvou kol s mimoběžnými osami. Vzniklý relativní skluz zubů ozubení je vlastní řezný pohyb (obr. 2). Některé stroje mají osy ševingovacího kola a obrobku rovnoběžné (např. Fellows No 18), a proto je řezný pohyb vyvozen podélným kmitáním. Při ševingování je nástroj s obrobkem v záběru bez vůle. Jeden člen z dvojice je poháněn, zatímco druhý se volně unáší. U malých a středních modulů je hnacím elementem ševingovací kolo, u těžkých ozubených kol je to obrobek, aby se při reverzaci neulamovaly břity nástroje. Obvodová rychlost nástroje se pohybuje mezi 60 až 140 m/min. Během práce se nástroj (v některých případech obrobek) posouvá:

- a) ve směru osy obráběného kola při osovém (podélném) ševingování
- b) příčně u tangenciálního ševingování
- c) úhlopříčně na strojích zařízených pro diagonální ševingování [14].

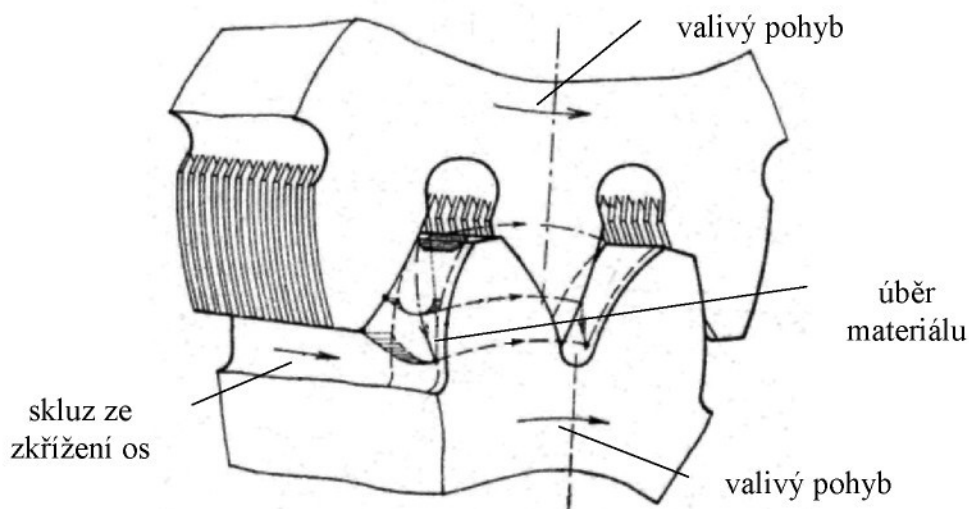
Při ponorném (zapichovacím) ševingování tento posuv odpadá.

Posuv je nutný hlavně pro ševingování celé šířky zubů a odstranění třísek z drážek, neboť styk nástroje s kolem je teoreticky v bodě, který leží na nejkratší vzdálenosti os. Tomu napomáhá vydatný přívod řezné kapaliny. V krajních polohách se mění smysl otáčení jak ševingovacího, tak i ševingovaného kola za současné změny smyslu posuvu, a kromě hladicích zdvihů se provádí ještě radiální přísuv na hloubku třísky 0,02 až 0,04 mm. U diagonálního ševingování tento přísuv odpadá, neboť se uskuteční při prvním najetí a obrábění se ukončí na dva zdvihy.

ad a) Při podélném ševingování vykonává obráběné kolo osový reverzační pohyb. Pásmo dotyku se na nástroji nemění. Aby se nástroj využilo po celé šířce,

přemisťuje se osově k jednomu nebo druhému okraji. Toho se s výhodou využívá např. při ševingování dvojkolí. Přeběhy se nastavují řádově 1 až 5 mm a přídavek na bok 0,04 až 0,08 mm se ševinguje za 6 až 12 zdvihů pracovních a 2 až 4 zdvihy hladicí (bez radiálního přísuvu). Přestože výhodnější a přesnější je ševingování diagonální, má podélné ševingování význam při využívání starých strojů a u širokých ozubených kol (velkých rozměrů), u kterých šikmé ševingování ztrácí své výhody.

ad b) Tangenciální způsob ševingování se dnes již nepoužívá pro jeho menší přesnost. Zanechává vlnitý povrch od řezných drážek, neboť obrobek se osově neposouvá. Těto metody se dá vyjímecně použít pro ševingování dvojkolí velmi těsně navrženého. Nástroj musí být širší než obráběný věnec. Při ševingování vykonává obrobek malý a pomalý příčný posuv. Tím se bod zkrížení os přemístí přes celou šířku kola. Toto přemístění nahrazuje podélný posuv. Používá se větších přísuvů, a tedy i menšího počtu zdvihů.



Obr. 2. Princip ševingování [15]

ad c) při diagonálním ševingování vykonává obrobek šikmý posuv. Během ševingování nástroj pracuje celou svou šířkou, neboť pásmo dotyku se přemisťuje. Tím dosahujeme lepší přesnosti i jakosti povrchu zubů, neprojevuje se tak výrazně chyba evolventy obráběného kola v okolí roztečné kružnice a nástroj se opotřebí rovnoměrněji po celé šířce, takže se značně prodlužuje jeho životnost. Strojní čas je podstatně kratší než u jiných způsobů ševingování. Strojní čas se skládá ze dvou částí. První je pracovní, ve kterém se odebere celý přídavek najednou po celé délce zubu, druhý je hladicí. Tím

se snižuje velikost otupení břitů, což má velký význam při ševingování tvrdých materiálů. Aby jeden břit neubíral příliš tlustou třísku, osvědčilo se použít menšího zkřížení os 8 až 10°. Jedinou nevýhodou šikmého ševingování je nutnost speciálních strojů s šikmým posuvem a šířka nástroje musí být větší asi o 2 mm (v závislosti na úhlu zkřížení) než šířka ozubení.

Na některých strojích, opatřených výkyvným stolem, lze dosáhnout podélné modifikace zubů (soudečkování), která má snížit hluk a zabránit rohovému záběru.

Ve firmě Škoda Auto a.s. se k ševingování ozubení používá metoda ponorného (zapichovacího) ševingování. Ponorné ševingování je nejvýkonnější způsob ševingování. Podélná i příčná modifikace je zde vytvářena pouze nástrojem. Jediným pohybem je kromě pohonu přísuv nástroje do řezu. Tento způsob se především využívá pro velkosériovou výrobu v automobilovém průmyslu a to především pro kola s malými moduly ($m < 3$) [10].



Obr. 3. Ševingovací stroj Gleason Hurth ZSE 150T

Při výrobě ozubení se snažíme o vytvoření dokonalého evolventního profilu boků zubů, aby byly dodrženy správné záběrové poměry v převodu. Provedené výzkumy a řada experimentálních prací dokázaly, že zejména u rychloběžných a velmi namáhaných kol je nutné ke snížení hluku a zabránění hranového rázu, který vzniká pružnou deformací zubů, vyrábět kola s určitými přesně stanovenými odchylkami, tj.

modifikovaná. Jestliže se švinguje nástrojem s přesnými evolventními zuby, vzniká jak u kol s přímými, tak i šikmými zuby úchylka od teoretické evolventy. V prvním případě vzniká žlábek v okolí roztečné kružnice a dochází k seřezání hlav zubů. U kol se šikmými zuby dochází hlavně k seřezání hlavy. Ozubená kola švingujeme velmi často před kalením, při kterém dochází k deformacím kol, zejména profilu. K zaručení správného záběru je proto nutné švingovat kola s opačnou úchylkou, než jaká vznikne po kalení. Z toho vyplývají jednotlivé typy modifikací švingovacích kol:

- modifikace pro vstupní vůli či jinou úpravu ozubení
- úprava profilu nástroje k odstranění chyb kol v okolí roztečné kružnice
- modifikace k snížení odchylek profilu ozubení, způsobených tepelným zpracováním, hlavně kalením [14].



Obr. 4. Švingovací nástroj

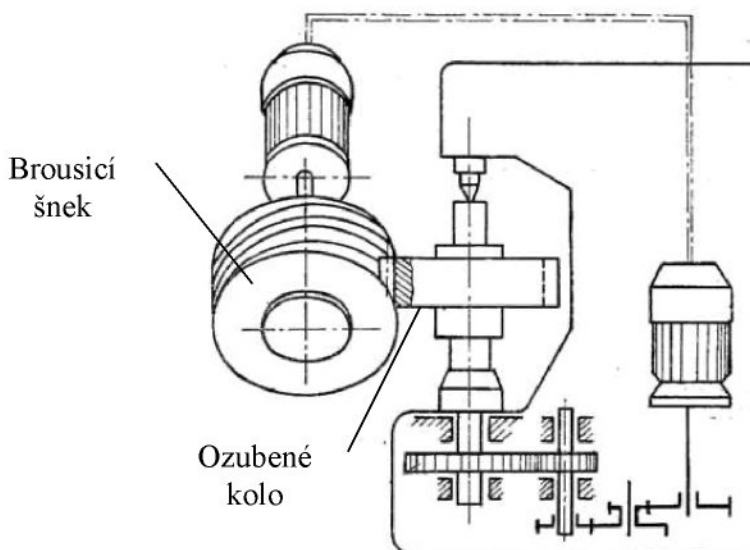
2.2. Broušení ozubení brousicím šnekem

První nově zaváděnou dokončovací technologií výroby ozubení ve firmě Škoda Auto a.s., která bude součástí porovnávacích experimentů, je broušení ozubení brousicím šnekem. Tato technologie se oproti švingování provádí po tepelném zpracování.

Popis technologie

Při broušení ozubení se největšího výkonu dosahuje na odvalovacích bruskách pracujících brousicím šnekem (obr. 5). Tyto stroje svým způsobem práce připomínají odvalovací frézky – pracují plynule bez dělicího pochodu. Jednoduchý, popř. i

dvouchodý brousicí šnek vytváří nekonečným počtem obálkových profilů svého závitu profil ozubení. Šnek má průměr 350 až 400 mm. Profil jeho závitu se předběžně tvaruje kladkou a dokončuje se buď diamanty vedenými podle šablony, nebo lze použít produktivnějšího způsobu orovnávaní diamantovými kladkami. Menší moduly ozubení kol lze brousit do plného materiálu [15].



Obr. 5. Odvalovací broušení ozubení brousícím šnekem [15]

S ohledem na broušený modul ozubení je průměr šneku značný, úhel stoupání je 15 až 20', a šnek je tudíž v osovému řezu přímoboký. Základní podmínkou tohoto výrobního způsobu je zcela synchronní běh nástroje a obrobku, tvořený dvěma synchronními reakčními motory pro pohon obrobku a brousícího kotouče.

Předpokladem pro dobrou jakost vyráběného ozubení je správný profil brousícího kotouče, především profil závitu a jeho stoupání. Na strojích je možno podélně modifikovat ozubení podle předem připravené šablony.

Všechny pohyby, jako radiální posuv, svislý posuv, krokování brousícího kotouče, orovnávaní a polohování brousícího kotouče, jsou automatizovány, takže obsluha pouze vyměňuje obrobek a spustí stroj.

Výrobní časy broušení ozubení na strojích pracujících brousícím šnekem v porovnání s jinými způsoby broušení ozubení jsou mnohem kratší. Dosahovaná přesnost v mezích průměrných tolerancí odpovídá 4. až 5. třídě přesnosti.

Popis stroje

K broušení ozubení dílů převodovky MQ 200 se používá ozubárenská bruska RZ 400 od firmy Reishauer (obr. 6). RZ 400 je CNC ozubárenská bruska pracující odvalovacím způsobem s orovnatelnými brusnými šneky. Lze na ní obrábět obrobky do vnějšího průměru 400 mm a to ozubená kola s vnějším přímým a šikmým ozubením a hřídele s přímým a šikmým ozubením [12].



Obr. 6. Ozubárenská bruska RZ 400 [12]

Na RZ 400 lze v principu brousit všechny profily ozubení, které lze obrábět odvalovacím způsobem. Nebezpečí kolize brusného nástroje s díly upnutí, nebo konturou obrobku, ale může vést k omezením pracovní oblasti. Brousitelnost je třeba zkontrolovat případ od případu a zohlednit při tom možné kolize.



Obr. 7. Brousicí nástroj [12]

Orovnávání brousicích nástrojů

Orovnávání brousicích nástrojů je důležitou součástí technologie broušení. Jeho účelem je vytvoření nebo obnovení požadovaného tvaru kotouče a obnovení struktury funkční plochy kotouče s původní řezivostí odstraněním otupených zrn brousicího materiálu a zbytků obroušeného materiálu. Nejrozšířenější jsou orovnávače diamantové.

U ozubárenské brusky RZ 400 se k orovnávání brusného šneku používá profilační přístroj Reishauer. Tento orovnávací přípravek obsahuje 2 horizontální vřetena orovnávacího motoru. Orovnávací nástroje mohou být díky snadnému upínání v krátkém čase upnuty nebo vyměněny. Pomocí přesoustružovacího přípravku lze přesoustružit vnější průměr brusného šneku.



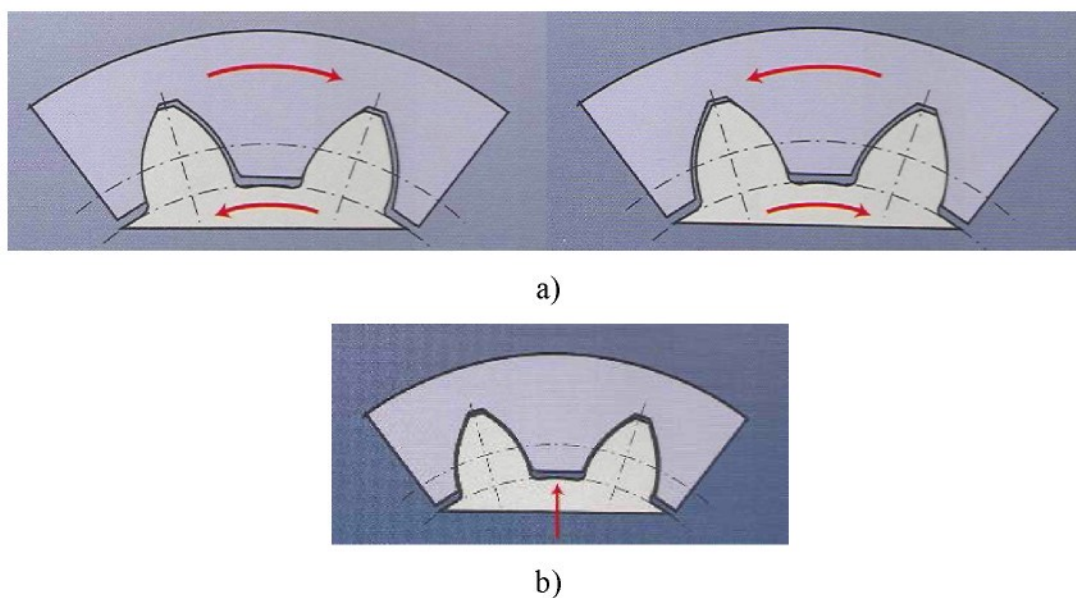
Obr. 8. Brousicí nástroj v orovnávací pozici [12]

2.3. Brusné honování ozubení

Druhou nově zaváděnou dokončovací technologií výroby ozubení ve firmě Škoda Auto a.s., která bude součástí porovnávacích experimentů, je brusné honování. Tato technologie, se stejně jako broušení ozubení, provádí až po tepelném zpracování.

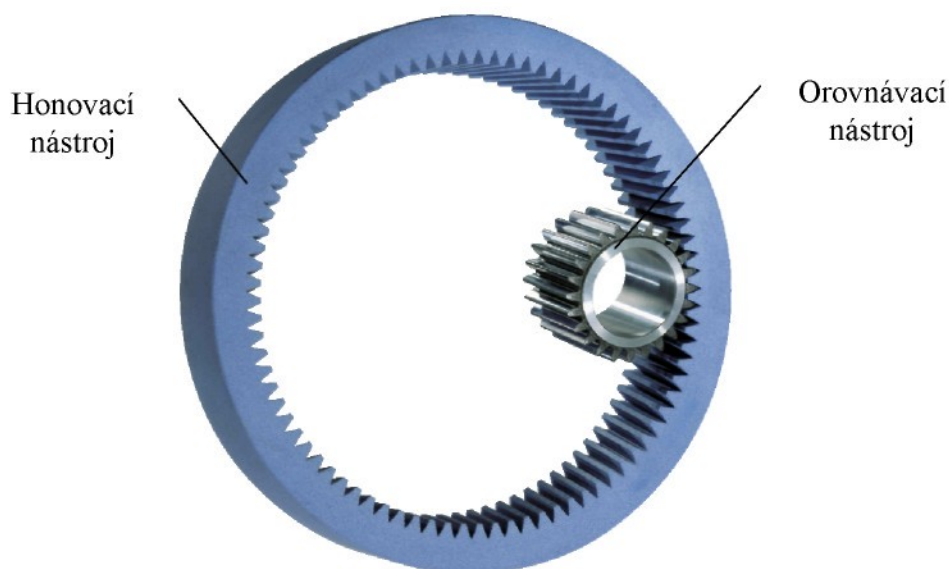
Popis technologie

Technologie brusného honování spočívá v relativním pohybu obrobku (např. ozubeného kola) a nástroje (keramického kroužku), který je podmíněný úhlem křížení jejich os v oblasti záběru. Otáčky nástroje a obrobku jsou ve stejném poměru jako počty jejich zubů. Díky přesně definované změně otáček, v kladném i záporném smyslu, se přesně stanoví hloubka odebíraného materiálu na obou stranách zubu. Směr otáčení se při obrábění obou stran zubu nemění [11].



Obr. 9. Způsoby přisuvu [11]

- a) přisuv uskutečněný relativním úhlem natočení nástroje a obrobku
- b) přisuv v radiálním směru



Obr. 10. Honovací a orovnávací nástroj [11]

Obrobky, jejichž šířka zubu překračuje šířku honovacího nástroje, je možné při zapnutí oscilačního pohybu obrobku obrábět v celé jejich šířce.

Důležitým předpokladem k bezpečnému provozu stroje je vyrovnaná teplota nástroje, obrobku a honovacího oleje. Proto je v zařízení na úpravu honovacího oleje instalován systém na stabilizaci teploty. Ideální pracovní teplota je mezi 22 až 26°C.



Obr. 11. Honovací stroj HSFL 203 W [11]

Orovnávání nástroje

Opotřebením nástroje se koncový rozměr honovaných dílů plynule mění. Velikost tolerančního rozsahu ozubení stanoveného ve výkresové dokumentaci určuje četnost orovnění. Podle zkušeností je to po cca. 40 – 50 obrocích. Tento interval se ukládá v automatickém programu a provádí se tak dlouho, dokud se nedosáhne zvětšení vnitřního průměru honovacího kroužku o 5 mm. Pak se na displeji ukáže výměna nástroje. V každém orovnávacím cyklu se nástroj orovná o cca 1 mm. Potom se provádí automaticky programová korektura vzdálenosti os. Ozubení honovacího kroužku a hlava zubu se orovňávají oddělenými orovnávacími nástroji a mají také oddělené orovnávací cykly. Díky tomu se hlava zubu může orovňovat při každém 2. orovnávacím cyklu. Oba orovnávací nástroje jsou připravené v zásobníku ve stroji.



a)



b)

Obr. 12. Orovnávací nástroje [11]

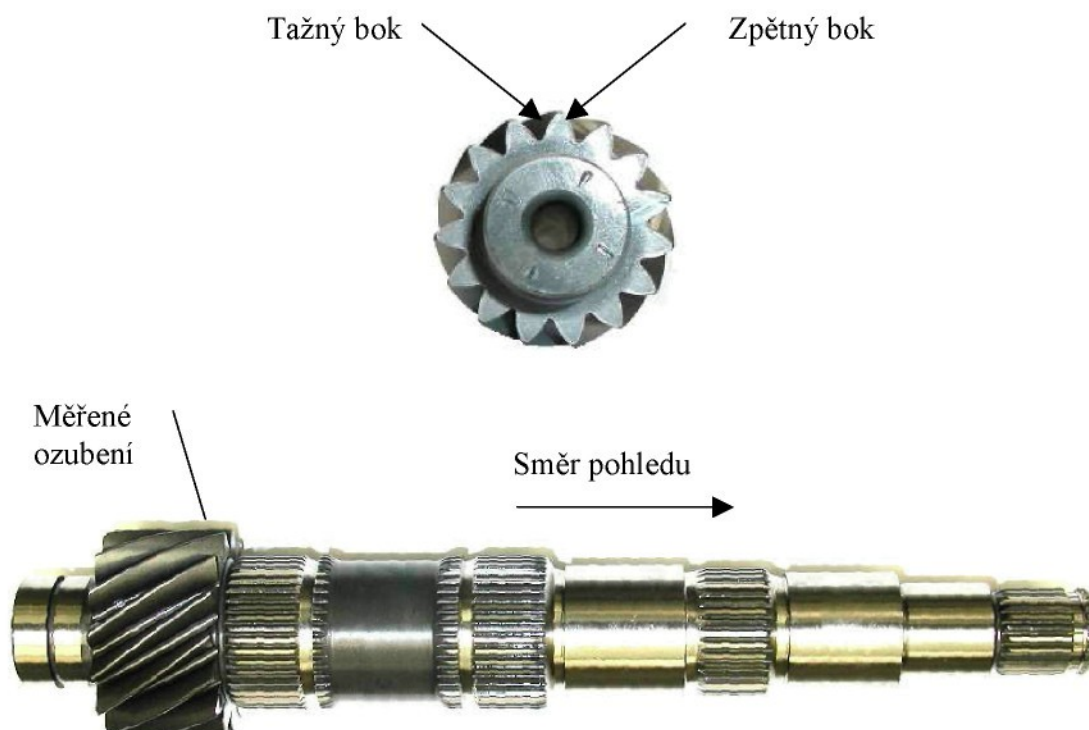
a) na ozubení b) na hlavový průměr

3. METODIKA MĚŘENÍ

3.1. Popis měřeného dílu

Při porovnávání jednotlivých dokončovacích technologií výroby ozubení bude provedeno celkem 5 experimentů. Tyto experimenty spočívají v porovnávacích měřeních prováděných na vybraných dílech. Bude provedeno měření parametrů ozubení, měření drsnosti ozubení, měření zbytkového napětí na boku zubu, měření tvrdosti ozubení a měření hluku.

Vzhledem k tomu, že se jedná o porovnávací měření je nutné vybrat díl, který se vyrábí všemi třemi technologiemi a je vyroben ze stejného materiálu. Tomuto odpovídá hnaný hřídel (pastorek), jehož ozubení je možné vyrobit ševingováním, broušením i brusným honováním (obr. 13). Pro technologii ševingování bude proměřen díl číslo 02T 311 205 M s normálním modulem ozubení 2,25 mm, pro brusné honování díl číslo 02T 311 205 AK s normálním modulem ozubení 2,50 mm a pro broušení díl číslo 02T 311 205 AG s normálním modulem ozubení 2,25 mm. Ozubení všech typů pastorků je čelní s 15-ti šikmými zuby. Díly jsou vyrobeny ze stejného materiálu TL 4521. Pastorky budou náhodně vybrány z vyráběných součástí po zhotovení poslední operace, před odesláním na montáž.



Obr. 13. Hnaný hřídel (pastorek) – č.d. 02T 311 205

3.2. Experiment 1 – Měření parametrů ozubení

Prvním měřicím místem bude Kontrolní a měrové středisko (KMS) v hale M2. Zde budou změřeny tyto parametry ozubení :

Úhlová úchylka profilu $f_{H\alpha}$

Úhlová úchylka profilu $f_{H\alpha}$ je vzdálenost mezi jmenovitými profily, které v počátečním a koncovém bodě hodnocené oblasti profilu protínají měřený profil. Úhlová úchylka profilu $f_{H\alpha}$ se zpravidla udává jako délkový rozměr v mikrometrech, přiřazený hodnocené oblasti profilu L_a . Úhlová úchylka profilu je způsobena úchylnou úhlu záběru nebo vyosením základní kružnice, které se na jednotlivém zubu projeví stejným způsobem jako výše zmíněná úchylka [1].



Obr. 14. Úhlová úchylka profilu $f_{H\alpha}$ [3]

Tvarová úchylka profilu $f_{f\alpha}$

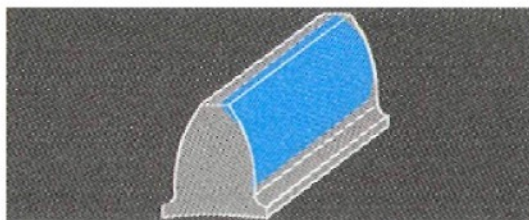
Tvarová úchylka profilu $f_{f\alpha}$ boku zubu je vzdálenost mezi dvěma evolventami skutečné základní kružnice, které v hodnocené oblasti mezi sebou ohraničují skutečný profil. Tvarová úchylka profilu zahrnuje také hloubku vlny zvlnění profilu [1].



Obr. 15. Tvarová úchylka profilu $f_{f\alpha}$ [3]

Výšková modifikace c_a

Výšková modifikace c_a je úmyslně vytvořená odchylka od teoretického tvaru boků zubů, kterou kompenzujeme nepříznivé účinky na záběr ozubených kol. Mezi modifikace lze zařadit sražení hran na hlavě zubu a podřezání paty zubu [10].

Obr. 16. Výšková modifikace c_a [3]

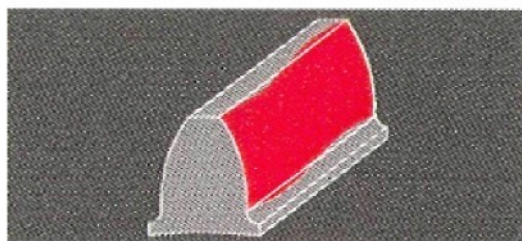
Úhlová úchylka sklonu zubu $f_{H\beta}$

Úhlová úchylka sklonu zubu $f_{H\beta}$ je vzdálenost v čelním řezu mezi jmenovitými bočními křivkami, které v počátečním a koncovém bodě hodnocené oblasti sklonu zubu protínají šroubovici se skutečným stoupáním. Úhlová úchylka sklonu zubu $f_{H\beta}$ se zpravidla udává jako délkový rozměr v mikrometrech, přiřazený hodnocené oblasti sklonu zubu L_β . Úhlová úchylka sklonu zubů je způsobena odchylkou sklonu zubů nebo nedodržením rovnoběžnosti os ozubení a rotace [1].

Obr. 17. Úhlová úchylka sklonu zubu $f_{H\beta}$ [3]

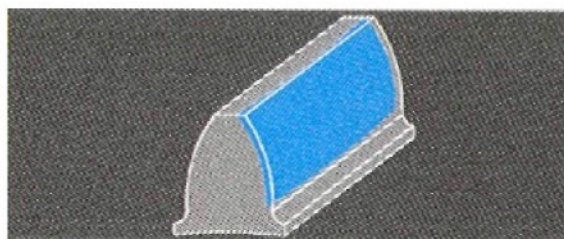
Tvarová úchylka sklonu zubu $f_{f\beta}$

Tvarová úchylka sklonu zubu $f_{f\beta}$ je vzdálenost mezi dvěma šroubovicemi se skutečným stoupáním, které mezi sebou ohraničují skutečnou boční křivku. Tvarová úchylka sklonu zubu $f_{f\beta}$ zahrnuje také hloubku vlny zvlnění boční křivky [1].

Obr. 18. Tvarová úchylka sklonu zubu $f_{f\beta}$ [3]

Podélná modifikace c_b

Podélná modifikace boční křivky c_b je úmyslně vytvořená odchylka od teoretického tvaru boční křivky zubů, která eliminuje deformace způsobené zatížením hřídelů, těles kol, ložisek, skříní a také výrobní úchyly sklonu zubů [10].

Obr. 19. Podélná modifikace c_b [3]Úchylka obvodových roztečí f_p :

Úchylka obvodových roztečí f_p je rozdíl skutečného rozměru a jmenovitého rozměru jednotlivé čelní rozteče pravých, případně levých boků. Na ozubeném kole se z zubů existuje z jednotlivých úchylek čelní rozteče pravých boků a stejný počet pro boky levé. Úchyly f_p vycházejí jako rozdíly jednotlivých změřených hodnot a průměrné hodnoty ze všech z změřených hodnot. Nejvyšší hodnota jednotlivé úchyly obvodových roztečí je f_{pmax} [1].

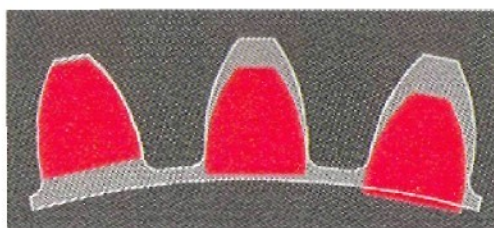
Obr. 20. Úchylka obvodových roztečí f_p [3]Součtová úchylka k roztečí $F_{pz/8}$

Součtová úchylka roztečí $F_{pz/8}$ je největší součtová úchylka pro k roztečí. Počet roztečí k , z nichž je vytvářen součet, je přibližně roven $z/8$ [1].

Obvodové házení ozubení F_r

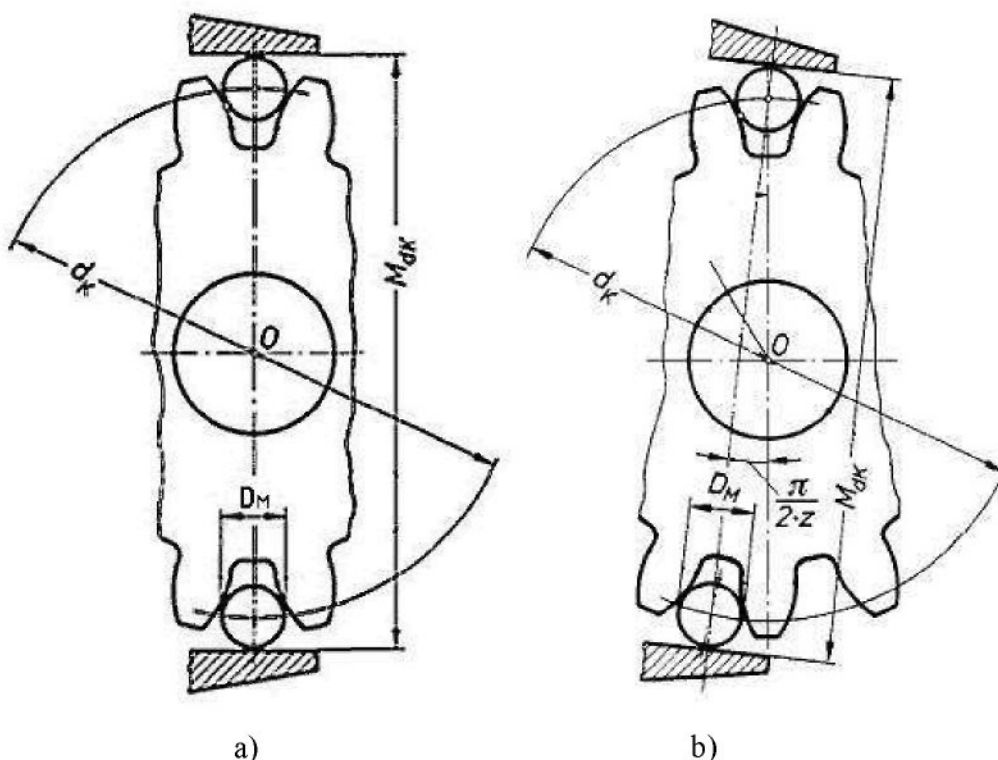
Obvodové házení ozubení F_r je radiální rozdíl polohy měřicího elementu (kulička, váleček nebo měřicí klín) vkládaného postupně do všech zubových mezer,

který se dotýká boků zubů v blízkosti roztečné kružnice, přičemž je ozubené kolo uloženo otočně ve své ose uložení. Jako F_r se označuje největší rozdíl naměřených hodnot po obvodu kola. Obvodové házení ozubení F_r je v zásadě způsobeno vyosením ozubení v měřicí rovině kolmé k ose kola a nerovnoměrnostmi zubových mezer v důsledku úchylek rozteče pravých a levých boků [1].



Obr. 21. Obvodové házení ozubení F_r [3]

Průměrový rozměr přes dvě kuličky M_{dK}



Obr. 22. Průměrový rozměr přes dvě kuličky M_{dK} [1]

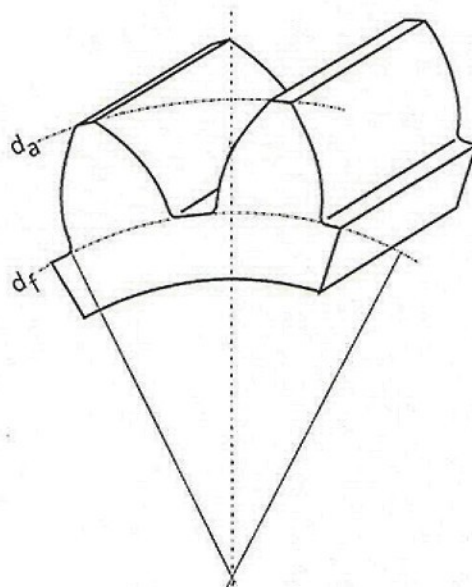
a – pro sudý počet zubů, b – pro lichý počet zubů

Průměrový rozměr přes dvě kuličky M_{dK} (obr. 22) je u kol s vnějším ozubením největší vnější rozměr přes dvě kuličky, u kola s vnitřním ozubením nejmenší vnitřní rozměr mezi dvěma kuličkami, jejichž průměr je D_M , a které dosedají na ozubeném kole na boky vzájemně nejvzdálenějších zubových mezer. Obě kuličky musejí být umístěny ve stejné rovině kolmé k ose kola. Plochy měřidla musejí být rovnoběžné s osou ozubení [1].

Pro sudý počet zubů platí: $M_{dK} = d_K + D_M$, (1)

pro lichý počet zubů platí: $M_{dK} = d_K \cdot \cos(3,14/(2 \cdot z)) + D_M$. (2)

Průměr hlavové kružnice d_a a průměr patní kružnice d_f :



Obr. 23. Průměry hlavové a patní kružnice [6]

Popis měřícího přístroje

Měření bude prováděno na měřícím centru ZPK 260 firmy KLINGELNBERG (obr. 24). Hlavní oblast jeho použití je automatické měření čelního ozubení a kontrola nástrojů, např. odvalovacích fréz a ševingovacích kol. Výsledky měření se vyhodnocují podle norem DIN 3960/3962 nebo dle volně programovatelných tolerancí [6].

Upnutí měřeného kusu se provádí vertikálně mezi hroty otočného stolu a opěrného ramene, nebo letmo na stole stroje pomocí příslušných upínacích přípravků. Ve stole je zabudován hydromechanický upínací přípravek, který umožňuje rychlou a snadnou výměnu hrotu stolu, kalibrovacího přípravku tříčelistového sklíčidla nebo

speciálních upínacích přípravků. Je-li kus vystředěn pouze na hrubo, lze upnutý kus ustavit pomocí vyrovnávacího postupu.

Princip měření

Na základě dat měřeného kusu se automaticky vytvoří program pro CNC řízení. Zavádění měřicího dotyku se volitelně provádí automaticky nebo obsluhou. Řízení měřicího cyklu probíhá vždy podle úkolu měření, buď na požadované prostorové dráze, nebo postupem Scanning. Přitom mohou být současně řízeny až tři osy stroje.

Kontrola roztečí se provádí patentovaným měřícím postupem. Může se provádět volitelně při jedné nebo dvou otáčkách měřeného kusu. Při jedné otáčce se měří úchylky roztečí na levých a pravých bocích. Při dvou otáčkách se při první otáčce měří např. pravé boky a při druhé levé. Druhá metoda je vhodná zvláště pro těžké díly.

Úchylky házení ozubení se stanoví početně z úchylek roztečí. Parametry tloušťky zubů (míra přes zuby, míra přes dvě kuličky atd.) se rovněž odvozují z úchylek roztečí.



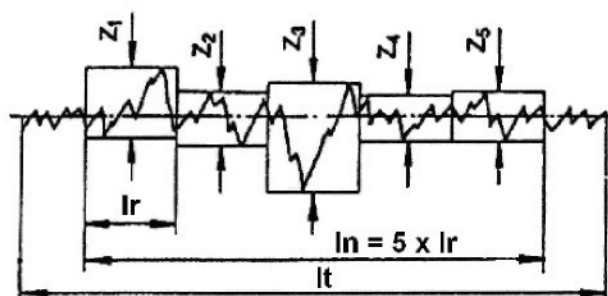
Obr. 24. Měřicí centrum ZPK 260

3.3. Experiment 2 – Měření drsnosti

Druhým měřicím místem bude pracoviště GQH v hale M2. Zde budou změřeny tyto parametry drsnosti a nosného podílu materiálu :

Střední hodnota drsnosti - R_z (dle normy DIN EN ISO 4287)

R_z je aritmetický střed jednotlivých drsností Z_1 až Z_5 z pěti vzájemně sousedících jednotlivých drah l_r měření filtrovaného profilu drsnosti [2].

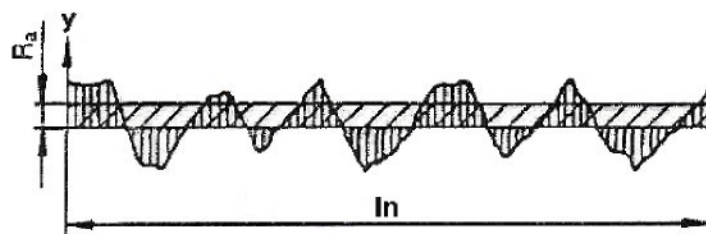


Obr. 25. Parametr R_z [2]

Střední aritmetická hodnota drsnosti – R_a (dle normy DIN EN ISO 4287)

R_a je aritmetický střed absolutních odchylek filtrovaného profilu drsnosti od střední čáry uvnitř měřené dráhy l_n .

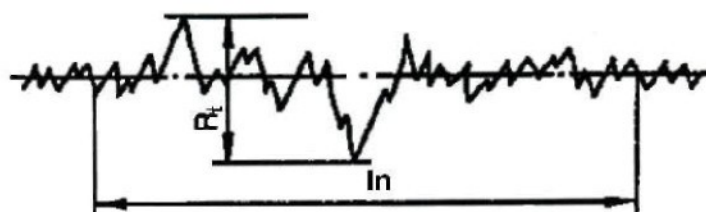
$$R_a = \frac{1}{l_n} \int_0^{l_n} |Z(x)| dx \quad (3)$$



Obr. 26. Parametr R_a [2]

Největší hloubka drsnosti – R_t (dle normy DIN EN ISO 4287)

R_t je svislá vzdálenost od nejvyššího výstupku k nejhlubší prohlubni filtrovaného profilu drsnosti uvnitř měřené délky l_n .



Obr. 27. Parametr R_t [2]

Základní hloubka – R_k (dle normy DIN EN ISO 13565)

R_k je hloubka profilu jádra drsnosti (zóna s největším nárůstem podílu materiálu nad určitou hloubku).

Redukovaná výška výstupků – R_{pk} (dle normy DIN EN ISO 13565)

R_{pk} je střední výška výstupků profilu, vyčnívající z profilu drsnosti jádra.

Redukovaná hloubka prohlubní – R_{vk} (dle normy DIN EN ISO 13565)

R_{vk} je střední hloubka prohlubní profilu, zasahujících z profilu jádra drsnosti do materiálu.

Podíl materiálu nad profilem jádra drsnosti – Mr_1 (dle normy DIN EN ISO 13565)

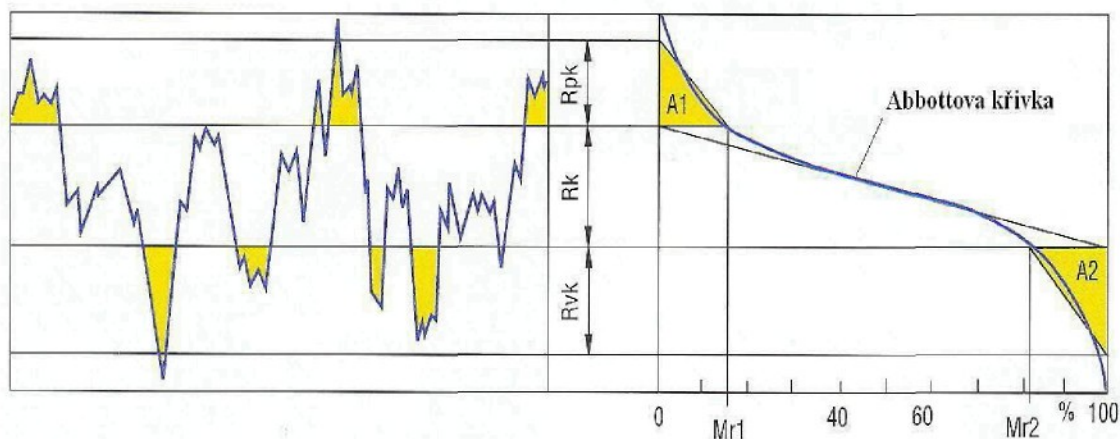
Mr_1 je určován linií řezu, která vymezuje profil jádra drsnosti ke straně bez materiálu.

Podíl materiálu pod profilem jádra drsnosti – Mr_2 (dle normy DIN EN ISO 13565)

Mr_2 je určován linií řezu, která vymezuje profil jádra drsnosti ke straně materiálu.

Plocha výstupků – A_1 (dle normy DIN EN ISO 13565)

Plocha prohlubní – A_2 (dle normy DIN EN ISO 13565)



Obr. 28. Parametry nosného podílu materiálu vyhodnocované z Abbottovy křivky [2]

Popis měřicího přístroje

Měření bude prováděno na měřicím přístroji pro měření parametrů drsnosti Hommel Tester T8000 Rauheit firmy HOMMELWERKE (obr. 29).

Přístroj se softwarem Turbo Rauheit se používá pro měření a vyhodnocování všech aktuálních parametrů drsnosti, vlnitosti a primárního profilu. Dle požadavků lze

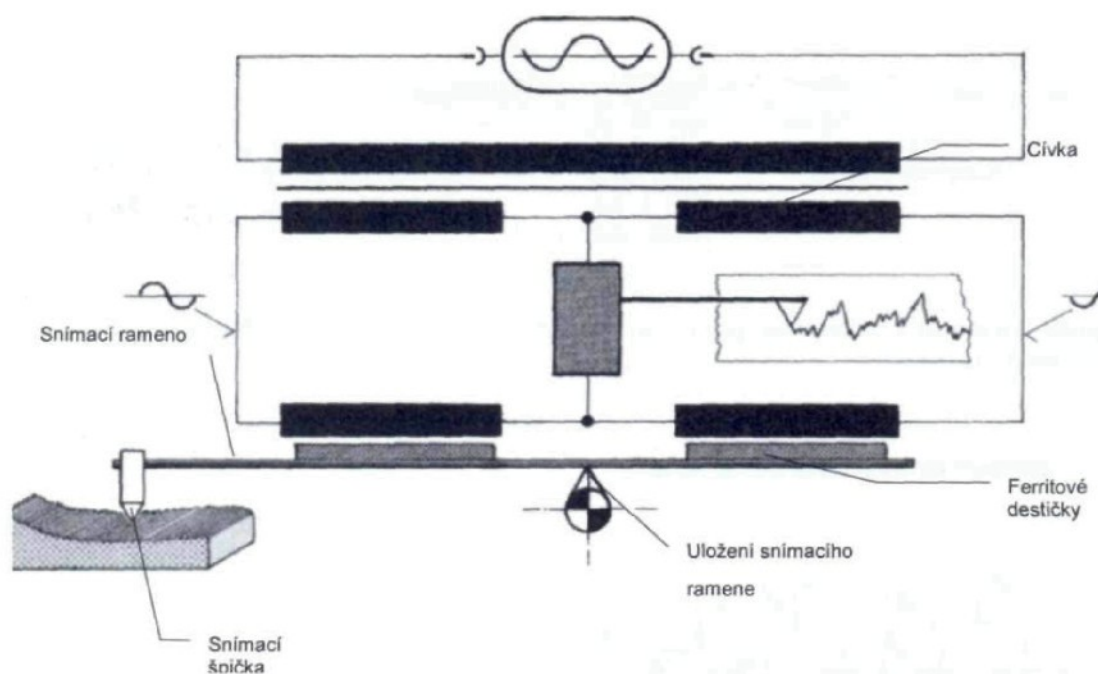
např. nastavit měřenou délku, normované délky (cut off), rychlost posuvu, měřicí rozsah, vyrovnaní naměřeného profilu [2].



Obr. 29. Měřicí přístroj Hommel Tester T8000

Princip měření

Mechanické snímání povrchu spočívá na principu indukčního systému měření dráhy (obr. 30). U tohoto systému je diamantová špička vedena měřeným povrchem.



Obr. 30. Princip snímání povrchu – schéma [2]

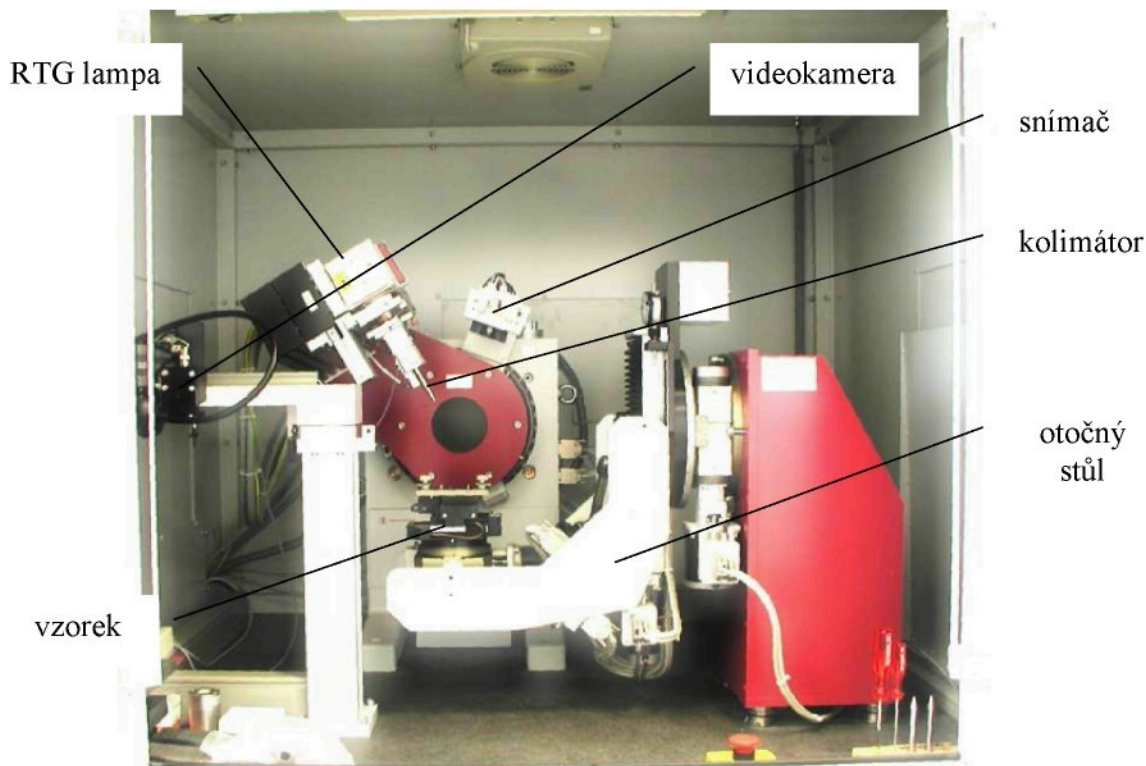
Snímací špička je upevněna na ramenu dotyku, které je uloženo vertikálně k rovině snímání. Na horní straně ramene dotyku se nacházejí dvě ferritové destičky. V klidové poloze dotyku je vzdálenost těchto destiček ke dvěma cívkám stejná. K těmto cívkám je přivedeno sinusové nosné napětí. Každá výchylka špičky dotyku následkem jeho pohybu po drsném povrchu způsobí změnu v indukčních cívkách. Změny napětí jsou vyhodnocovány a odpovídající hodnota drsnosti povrchu je zobrazována a protokolována.

3.4. Experiment 3 – Měření zbytkového napětí

Třetím měřícím místem bude pracoviště technické kontroly VAT 5 v hale M2. Zde budou změřeny hodnoty zbytkového napětí na boku zubu.

Popis měřícího přístroje

Měření bude prováděno na analytickém rentgenovém přístroji ISO - DEBYEFLEX 3003 od firmy Rich. Seifert & Co (obr. 31). Zařízení je používáno pro měření zbytkového napětí po tepelném zpracování a pevnostním tryskání. Jedná se o moderní měřicí technologii na principu rentgenové difrakce s velkou přesností měření (tolerance cca 40 MPa) [13].



Obr. 31. Měřicí přístroj ISO – DEBYEFLEX 3003

Součástí zařízení je elektrický generátor vysokého napětí, videokamera s výstupem na PC sloužící k přesnému zaměření měřeného bodu a chladicí agregát.

Princip měření

Měření probíhá na základě vyhodnocování intenzity odrazu lomeného paprsku (difrakce). Kolimovaný paprsek (cca $2,0 \text{ mm}^2$) dopadá na rovinu atomové mřížky (vzdálenosti rovin atomové mřížky se mění dle velikosti vnitřního napětí) a po vyhodnocení vlnové délky a intenzity odraženého paprsku v celkem 9 úhlech dopadu rentgenového paprsku je určena hodnota zbytkového napětí (MPa).

3.5. Experiment 4 – Měření tvrdosti a průběhu tvrdosti

Čtvrtým měřicím místem bude Metalurgická laboratoř oddělení VAH v hale M2. Zde budou na ozubení změřeny hodnoty tvrdosti a průběhu tvrdosti metodou EHT 550.

Popis měřicího přístroje

Měření tvrdosti metodou EHT 550 bude prováděno na automatickém tvrdoměru M 400 od firmy LECO (obr. 32). Tento tvrdoměr je mechanický systém skládající se z optiky, indentoru, nastavitelného stolku a kamery CCD. Optický systém je vybaven lampou pro osvětlení vzorku s možností seřízení jejího jasu. Systém je vybaven objektivy se zvětšením 10x a 40x. Pomocí kamery CCD lze u každého obrázku dosáhnout



Obr. 32. Automatický tvrdoměr M 400

zvětšení 100x nebo 400x. Objektivy nebo indentor se do pracovní polohy nastavují pomocí otočné revolverové hlavy [9].

Tvrdoměr se schopností aplikovat předem stanovené zatížení v rozsahu sil 1,961 N až 980,7 N a diamantový indentor ve tvaru jehlanu se čtvercovou základnou odpovídají předpisům normy DIN 51 225 (část 1 a 2).

Pro měření povrchové tvrdosti a tvrdosti v patě zubu bude použit tvrdoměr VICKERS HPO 250.



Obr. 33. Tvrdoměr HPO 250

Zkouška tvrdosti podle Vickerse

Zkouška tvrdosti podle Vickerse spočívá ve vtlačování diamantového indentoru ve tvaru jehlanu se čtvercovou základnou a s vrcholovým úhlem $\delta = 136^\circ$ do povrchu zkoušeného materiálu a v následném měření délky úhlopříček d_1 a d_2 vpichu, který byl zanechán v materiálu po odlehčení zkoušející síly F .

Tvrdot podle Vickerse je úměrná poměru zkoušející síly a plochy vytvořeného vpichu.

Symbole a údaje tvrdosti podle Vickerse:

δ – úhel mezi protilehlými stěnami jehlanovitého indentoru ($\delta = 136^\circ$)

F – zatěžovací síla (N)

$$HV - \text{tvrdost podle Vickerse} = 0,102 \cdot \frac{2 F \cdot \sin(\delta / 2)}{d^2} \quad (4)$$

Tvrdot podle Vickerse se označuje kombinací symbolů vyjadřujících hodnotu tvrdosti a podmínky zkoušky. Hodnota tvrdosti je uvedena jako první. Podmínky zkoušky jsou vyjádřeny kombinací :

1. kódovým písmenem HV
2. číslem udávajícím zatěžovou sílu
3. délkou výdrže zatížení v sekundách

např. 640 HV 30 / 20

Zkoušený vzorek

Zkoušený vzorek musí mít hladký povrch, bez oxidů a cizích materiálů, zvláště maziv. Úprava povrchu musí umožnit přesné stanovení délky úhlopříček vpichu. Zkoušený kus musí být připraven tak, aby vlivy na tvrdost povrchu, např. v důsledku tepelného zpracování, byly minimální. Soulad s těmito požadavky musí být tím přísnější, čím menší jsou úhlopříčky vpichu. Je důležité, aby zkoušený vzorek ležel pevně na podložce a tím bylo zabráněno jeho možnému posunutí během zkoušky.

Tloušťka zkoušeného kusu musí být taková, aby po zkoušce nebyla na spodní straně patrná žádná deformace. To je prakticky zaručeno, je-li tloušťka nejméně 1,5-násobkem délky úhlopříčky vpichu. Kontrolní měření musí být prováděno při teplotě $23 \pm 5^\circ\text{C}$. Během zkoušení nesmí být tvrdoměr vystaven rázům nebo vibracím.

Popis metody EHT 550

Pomocí metody EHT 550 se zjišťuje průběh tvrdosti na měřeném vzorku. Provádí se 10 vpichů od sebe vzdálených 0,10 mm. Dráha, na které jsou jednotlivé vpichy prováděny, směřuje od okraje vzorku k jeho středu. První vpich se provádí cca. 0,10 mm od okraje měřeného vzorku. Metodou se zjišťuje v jaké vzdálenosti tvrdost materiálu dosáhne hodnoty 550 HV. Oblast, ve které této tvrdosti musí materiál dosáhnout, je dána předpisem ve výkresové dokumentaci proměřovaného dílu.

3.6. Experiment 5 – Měření hluku

Posledním měřicím místem bude zkušební stanice vyhodnocující úroveň vibrací a hluku převodovek. Zkušební stanice č.920 je součástí montážní linky převodovky v hale M6. Zde bude změřen hluk soukolí stálého záběru, jehož součástí je porovnávaný hnáný hřídel (pastorek).

Popis měřicího přístroje

Zkušební stanice od firmy Alstom (obr. 36) slouží k měření hlučnosti převodovek konstrukčního provedení MQ 200. Skládá se z mechanické a elektrické části umístěných na základním podstavci [13]. K zatěžování zkoušených převodovek jsou k dispozici 3 hnací (brzdové) agregáty, pracující v celé oblasti otáček střídavě jako motor nebo generátor (brzda). Digitální regulační zařízení umožňuje nastavení provozních podmínek (otáčky a točivý moment). Požadované hodnoty těchto parametrů udává digitální regulace SIMANDYN, která také kontroluje správnost převodových poměrů. Akustická kontrola se provádí pomocí hlukové analýzy a kontrola snímače zpětného chodu pomocí řídicího systému. Ostatní kontroly provádí pracovník obsluhy.

Nejdůležitější skupiny řízení zkušební stanice jsou:

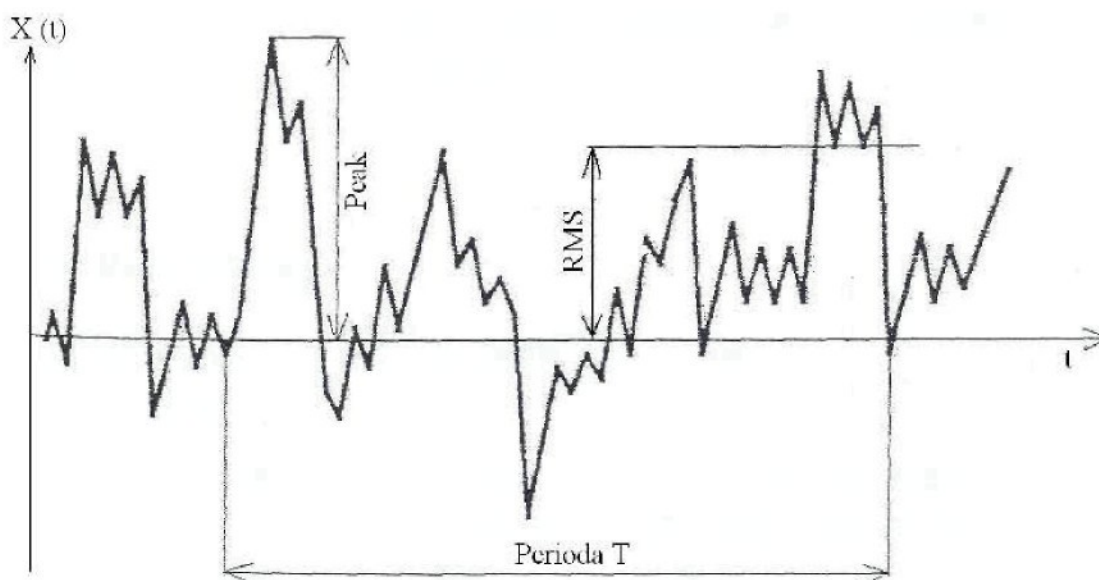
- systém vizualizace OP 37 zabudovaný v závěsném ovládacím pultu a sloužící ke kontrole a obsluze zařízení řízených řídicím systémem;
- řídicí systém Siemens S7-300 sloužící ke komunikaci mezi zkušební stanicí a vyhodnocovacím programem Rotas;
- regulace pohonů provádějící se pomocí systému SIMANDYN D firmy Siemens;
- výkonová elektronika.

Program ROTAS

K vyhodnocování hlukové analýzy se používá software ROTAS od firmy DISCOM. Se zkušební stanicí komunikuje pomocí řídicího systému. Vzhledem k tomu, že má všechna potřebná data jednotlivých typů převodovek zadána ve své databance, stačí při samotném měření zadat pouze typ převodovky. Software vyhodnocuje zrychlení vibrací celé převodovky. Tento signál je snímán jedním snímačem.

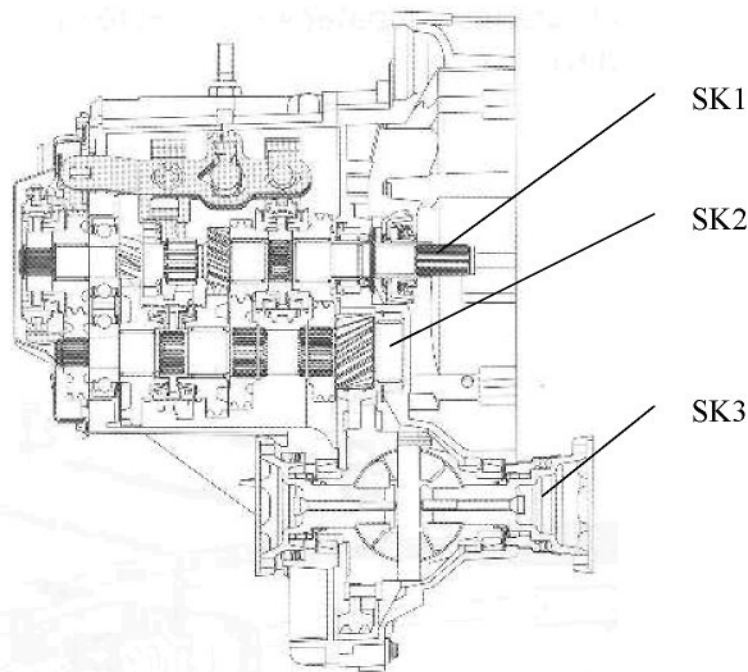
K hodnocení převodovek se používají dva průběhy zvukových signálů. Analýza průběhu signálu v závislosti na otáčkách pro daný řád a řádová spektra. U obou typů hodnocení se určuje hraniční křivka, přes kterou naměřená hodnota nesmí přesáhnout. Pro první způsob je k dispozici pouze MIX kanál, pro hodnocení pomocí analýzy konečných spekter jsou k dispozici tři kanály a jeden MIX kanál.

Další parametry, které software ROTAS vyhodnocuje jsou špičková hodnota (Peak), efektivní hodnota (RMS) a Crestfaktor (Crest). Tyto hodnoty se stanovují dodatečně a umožňují odhalení dalších defektů.



Obr. 34. Parametry vyhodnocované programem ROTAS [13]

Hraniční křivky jsou pro každý typ převodovky různé. U všech převodových stupňů jsou zadány pro rozjezd i brzdění motorem. Výsledkem spektrální analýzy jsou tři synchronní průběhy (SK1, SK2, SK3) a jeden součtový průběh (MIX).



Obr. 35. Označení synchronních kanálů na převodovce [13]

Rozdělení průběhu je následující:

- SK1 - kanál synchronní s otáčkami hnacího hřídele
- SK2 - kanál synchronní s otáčkami hnaného hřídele (pastorku)
- SK3 - kanál synchronní s otáčkami diferenciálu
- MIX – součtový kanál synchronní s otáčkami hnacího hřídele.

Kanály jsou synchronní surčitými otáčkami a to nám umožňuje rychlou orientaci v naměřeném průběhu konečných spekter. Pro měření na zkušební stanici odpovídá řád počtu zubů ozubeného kola (ozubení), které je součástí hřídele, z kterého snímáme otáčky. Např. počet zubů $z = 15$ odpovídá 15. řádu. Obecně se řád uvádí jako převrácená hodnota doby trvání základního cyklu stroje.



Obr. 36. Zkušební stanice ALSTOM

3.7. Postup výpočtu aritmetického průměru a konfidenčního intervalu

Pro zpracování naměřených hodnot budou použity tyto matematické nástroje: aritmetický průměr a konfidenční interval [4].

Aritmetický průměr se určí jako podíl součtu naměřených hodnot x_i a počtu provedených měření n dle vztahu:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5)$$

Výběrová směrodatná odchylka se pak vypočítá jako odmocnina ze součtu čtverců všech rozdílů mezi naměřenými hodnotami x_i a aritmetického průměru $\bar{x}$, dělená počtem provedených měření $n-1$.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (6)$$

Statistický interval spolehlivosti se určí jako interval, v rámci kterého jsou výsledky dalšího zkušebního testu umístěné s předpokládanou pravděpodobností.

Interval spolehlivosti se vypočítá z aritmetického průměru, ke kterému se přičte nebo odečte hodnota tzv. konfidenčního intervalu dle vztahů:

$$\text{konfidenční interval} = t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (7)$$

$$\bar{x}_{max} = \bar{x} + t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (8)$$

$$\bar{x}_{min} = \bar{x} - t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (9)$$

Hodnotu kritického rozdělení $t_{\alpha, n-1}$ určíme z tabulky pro požadovanou úroveň spolehlivosti. Tato hodnota závisí na α – kritické hodnotě určitého rozdělení, která je taková, že ji náhodná veličina s daným rozdělením pravděpodobností překročí pouze s pravděpodobností α , a to pro daný počet měření n .

4. REALIZACE EXPERIMENTŮ

4.1. Experiment 1 – Měření parametrů ozubení

V tomto experimentu byly měřeny úchytky ozubení. Od každého typu pastorku bylo proměřeno 10 ks, tj. celkem 30 ks.

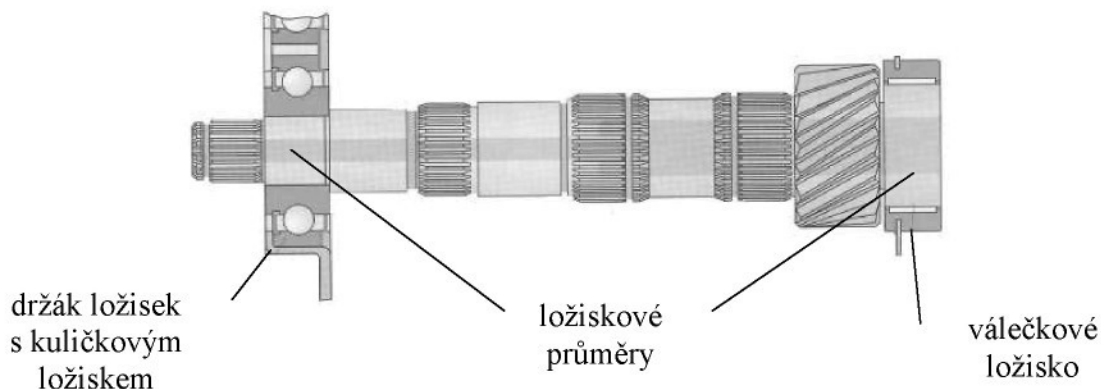
Popis měření

Dle čísla dílu měřeného pastorku byl zvolen odpovídající měřicí program a vzhledem k parametrům ozubení vybrán měřicí dotek s kuličkou o průměru 1 mm



Obr. 37. Způsob upnutí měřeného dílu

Poté bylo provedeno upnutí měřeného pastorku. (obr. 37). Vzhledem k tomu, že se jednalo o upnutí mezi hroty pomocí unášecího srdce, bylo by následné měření vztaženo ke středícím důlkům. Pastorek je však v převodové skříní uložen za ložiskové průměry (obr. 38), a proto musela být před měřením nastavena kompenzace vůči těmto průměrům.

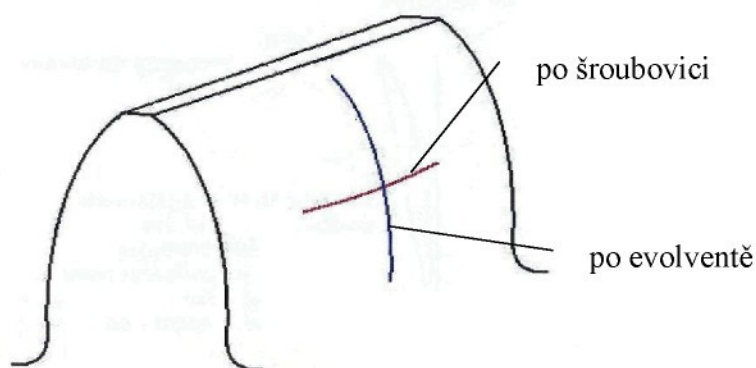


Obr. 38. Ložiskové průměry pastorku [13]

Spuštěním programu obsluhou měřicího zařízení bylo započato samotné měření. Po proměření všech zadaných parametrů provedl program vyhodnocení a následné vytištění protokolů s naměřenými hodnotami. Tyto protokoly jsou součástí přílohy 1 (str.1-60). Naměřené hodnoty byly shrnuty do tabulek a grafů, které jsou součástí přílohy 2 (str. 61-70). Každý měřený parametr je zpracován v samostatné tabulce a průběh stability výroby jednotlivými technologiemi je možno sledovat na grafu, který je její součástí. U všech měřených parametrů byla také spočítána průměrná hodnota (5) naměřených hodnot spolu s konfidenčním intervalem (7).

4.2. Experiment 2 – Měření drsnosti

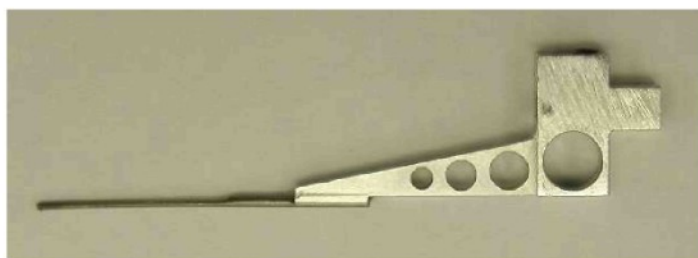
V tomto experimentu byly měřeny parametry drsnosti a nosného podílu materiálu na boku zubu. Měření bylo prováděno po evolventě a po šroubovici na tažném i zpětném boku zubu (obr. 39)



Obr. 39. Dráhy měření drsnosti [6]

Popis měření

Dle typu měřeného pastorku byl zvolen odpovídající měřicí program. Vzhledem k tvaru (evolventa, šroubovice) a umístění (zubová mezera) měřicí dráhy bylo pro měření vybráno snímací ramínko TS1K KE5/90D (obr. 40)



Obr. 40. Snímací ramínko

Dále bylo nutné nastavit měřicí podmínky. Na základě výkresové hodnoty drsnosti byla zvolena základní délka $l_r = 0,8$ mm, mezní vlnová délka (cut off) $l_c = 0,8$ mm a pro měření po šroubovici celková délka $l_t = 4,8$ mm. Pro měření po evolventě musela být s ohledem na její délku celková délka měření zkrácena na $l_t = 40$ mm.

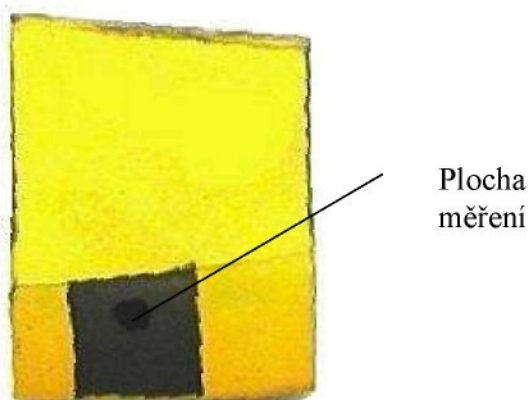
Po upnutí měřeného pastorku do naklápěcího svěráku byla zvolena vhodná poloha pro měření a následně provedeno vlastní měření. Bylo proměřeno 30 pastorků (tzn. od každého typu 10 ks). Měření bylo prováděno vždy na jednom zubu daného kusu a to po evolventě a po šroubovici na obou bocích zubu. Celkem bylo provedeno 120 měření všech deseti zvolených parametrů. Protokoly měření jsou součástí přílohy 3 (str.71-190). Naměřené hodnoty byly shrnuty do tabulek a grafů, které jsou součástí přílohy 4 (str.191-210). Každý měřený parametr je zpracován v samostatné tabulce a průběh stability výroby jednotlivými technologiemi je možno sledovat na grafu, který je její součástí. U všech měřených parametrů byla také spočítána průměrná hodnota (5) naměřených hodnot spolu s konfidenčním intervalem (7).

4.3. Experiment 3 – Měření zbytkového napětí

V tomto experimentu byly měřeny hodnoty zbytkového napětí ve třech hloubkách na boku zubu. Měření bylo prováděno na šesti kusech (na dvou od každého typu).

Popis měření

Před vlastním měřením bylo nejprve nutné připravit vzorky (segmenty), na kterých se následné měření provádělo. Proto byly z každého ozubení pastorku pomocí metalografické pily tři segmenty odděleny.



Obr. 41. Měřený vzorek

Po sražení hran byl na místa, které nejsou určeny k měření, nanesen metalografický lak. Tím se ohraničila plocha pro následné měření. Na každém z těchto tří segmentů byla elektrolyticky naleptána směsí etanolu 90% a kyseliny chloristé 10% různá vrstva v rozmezí od 1 do 60 mikrometrů. Hloubky jednotlivých vrstev jsou dány předpisem pro daný typ dílu. Pro první vrstvu je to hloubka 1 až 5 mikrometrů, pro druhou vrstvu 10 až 30 mikrometrů a pro třetí 50 až 60 mikrometrů. Poté byly segmenty ustaveny v tzv. nosiči a vloženy do měřicího přístroje. Obsluhou byly pomocí videokamery stanoveny parametry jednotlivých os a spuštěn program měření.

Na každém ze šesti měřených kusů byly proměřeny tři vzorky, tzn. že bylo provedeno celkem 18 měření. Protokoly měření jsou součástí přílohy 5 (str. 211-228).

4.4. Experiment 4 – Měření tvrdosti a průběhu tvrdosti

V tomto experimentu byly měřeny hodnoty tvrdosti na boku zubu. Měření bylo prováděno na šesti kusech (na dvou od každého typu).

Popis měření průběhu tvrdosti metodou EHT 550

Pro vlastní měření bylo nejprve nutné připravit metalografický výbrus (obr. 42). Proto byl pomocí metalografické pily z každého ozubení pastorku oddělen jeden segment. Ten byl vložen do lisovacího zařízení PRONTO PRESS 20, kde byl za tepla zalisován do příslušné hmoty. Následně bylo nutné vzorek ještě vybrousit a vyleštit na elektronické brusce a leštičce SOPHIR 560.

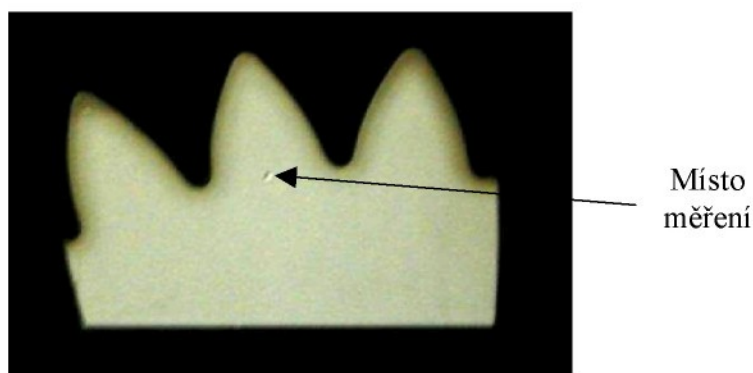


Obr. 42. Metalografický výbrus

Měření průběhu tvrdosti bylo provedeno na tvrdoměru LECO M 400. Po zvolení příslušného programu a ustavení vzorku byly přístrojem automaticky provedeny vpichy. Vytvořené vpichy bylo nutno ručně zaostřit a ohraničit přímkami. Další vyhodnocení a zpracování protokolu již opět provedl měřicí přístroj. Měření bylo provedeno na tažném i zpětném boku zubu, tzn. že bylo provedeno 12 měření. Protokoly měření jsou součástí přílohy 6 (str. 229-240).

Popis měření tvrdosti v patě zubu

Toto měření bylo provedeno na tvrdoměru VICKERS HPO 250. Vpich byl proveden mechanicky a rozměry vytvořeného vpichu odměřeny pomocí optiky. Výsledná tvrdost byla z naměřených hodnot přepočtena pomocí k tomu určené tabulky. Výsledky měření jsou zpracovány v tabulce (obr. 61).



Obr. 43. Měření tvrdosti v patě zubu

Popis měření tvrdosti na části zubu neobrobené po tepelném zpracování

Toto měření bylo provedeno na stejném přístroji a stejným způsobem jako měření tvrdosti v patě zubu, s tím rozdílem, že vpichy byly provedeny na čele ozubení. Výsledky měření jsou zpracovány v tabulce (obr. 61).

4.5. Experiment 5 – Měření hluku

V tomto experimentu byla měřena hladina hluku ozubení pastorku zamontovaného v převodovce. Měření bylo prováděno s pastorky již proměřenými v předchozích experimentech. Vzhledem k časové náročnosti zkoušky a nutnosti využívat

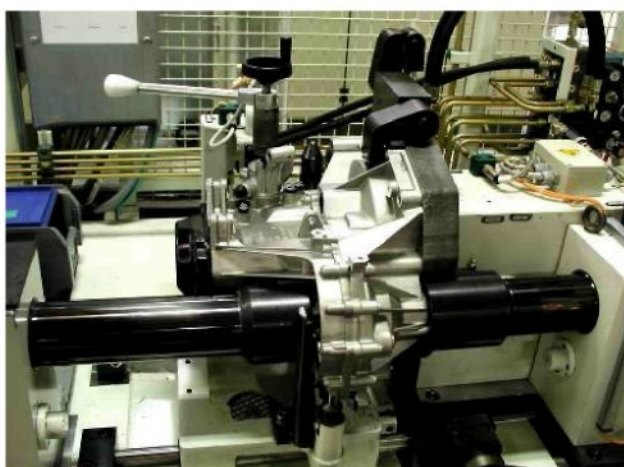
měřicí zařízení výrobní linky, byly změřeny od každého typu pastorku 3 ks, tj. celkem 9 ks.

Popis měření

Protože se jednalo o porovnávací měření, byla pro tento experiment smontována speciální převodovka. Důvodem byla snaha o dosažení srovnatelných podmínek pro všechna měření s vyloučením vlivu ostatních dílů. Pastorek je součástí soukolí stálého záběru, proto se s každým typem pastorku musel měnit také diferenciál. To byl jediný díl, který nemohl být pro všechna měření stejný. Ostatní díly převodovky se neměnily. Z tohoto důvodu byly u všech tří diferenciálů proměřeny parametry ozubení, aby bylo jisté, že odpovídají výkresovým hodnotám.

Před každým měřením smontoval pracovník analýzy převodovku s hodnoceným pastorkem. Poté byla převezena na zkušební stanici, která je součástí výrobní linky. Po zadání typu převodovky a automatickém upnutí bylo provedeno vlastní měření. Nejprve byla provedena zkouška zpětného chodu a následně všech zbývajících rychlostních stupňů v pořadí: 5., 4., 3., 2. a 1. rychlostní stupeň. Měření bylo provedeno pro tažný (akcelerační) i zpětný (brzdění motorem) bok ozubení. Pro 1. rychlostní stupeň a zpětný chod byl zátěžový moment 15 Nm, pro 2. rychlostní stupeň 30 Nm a pro 3., 4. a 5. rychlostní stupeň byl zátěžový moment 40 Nm. Rozsah otáček byl pro všechny rychlostní stupně 1500 až 4000 ot/min. Výsledný protokol měření vypracoval specialista na hlukovou analýzu pomocí programu ROTAS.

Vyhodnocení bylo provedeno u 3., 4. a 5. rychlostního stupně a to pro tažný a zpětný bok. Protokoly měření jsou součástí přílohy 7 (str. 241 - 267). Tabulky s naměřenými hodnotami, vypočítaným aritmetickým průměrem (5) a konfidenčním intervalem (7) jsou součástí přílohy 8 (str. 268 - 270).



Obr. 44. Zkušební stanice s upnutou převodovkou

5. HODNOCENÍ A POROVNÁNÍ

5.1. Vyhodnocení experimentu 1

V experimentu 1 byly měřeny úchytky ozubení. Výsledky z provedených měření byly shrnuty a rozčleněny dle jednotlivých parametrů. Naměřené hodnoty byly pro každý parametr zpracovány do souhrnných tabulek a společně s grafy uvedeny na jednotlivých obrázcích.

U úchylek ozubení $f_{H\alpha}$, $f_{H\beta}$ a u modifikací ozubení c_a a c_b určili specialisté na ozubení v rámci výkresových tolerancí oblast korekcí těchto parametrů v níž lze dosáhnout nižší hlučnosti převodovky. Jelikož každý z proměřovaných typů pastorků má tyto hodnoty parametrů nastaveny jinak, nelze je mezi sebou vzájemně porovnávat. Z tohoto důvodu byl u každé výsledné průměrné hodnoty spočítán tzv. konfidenční interval, podle něhož byla porovnána stabilita procesu jednotlivých technologií. Stejným způsobem byl porovnán také parametr M_{dK} , jehož rozměry jsou dle výkresové dokumentace u každého z porovnávaných typů pastorků jiné.

Hlavový průměr d_a a patní průměr d_f jsou brány jako relevantní parametry ozubení, ale do samotného porovnání nebyly zahrnuty, vzhledem k tomu, že hodnotu hlavového průměru jednotlivé porovnávané technologie neovlivňují a hodnotu patního průměru je možno změnit pouze technologií broušení. U technologií ševingování a brusného honování je hodnota patního průměru dána již předešlou operací (frézováním).

Ostatní parametry byly porovnány dle naměřených hodnot a konfidenčního intervalu.

Parametry ozubení porovnávané dle konfidenčního intervalu

Stabilita procesu dle konfidenčních intervalů byla porovnána u následujících parametrů:

úhlová úchylka profilu $f_{H\alpha}$ - z grafu je patrné, že největší stability procesu (cca. 5x vyšší než ševingování) dosáhly technologie brusného honování a broušení (obr. 45).

úhlová úchylka sklonu zubu $f_{H\beta}$ - nejstabilnější technologie je broušení a následně po ní technologie brusného honování. Obě technologie jsou několikanásobně stabilnější než technologie ševingování (obr. 45).

výšková modifikace c_a - nejvíce stabilní byla technologie brusného honování a nejméně stabilní technologie ševingování (obr. 46).





podélná modifikace c_b - nejstabilnější byly technologie brusného honování a broušení. Nejméně stabilní byla technologie ševingování (obr. 46).

průměrový rozměr přes dvě kuličky M_{dk} - nejstabilnější byla technologie broušení a naopak nejmenší stabilitu procesu vykazovala technologie brusného honování (obr. 49).

Parametry ozubení porovnáváné dle naměřených hodnot

U následujících parametrů bylo provedeno porovnání dle průměrných naměřených hodnot:

tvarová úchylka profilu $f_{f\alpha}$ - nejnižší průměrná hodnota byla u technologie brusného honování a nejvyšší u ševingování. Toto pořadí bylo stejné na tažném i zpětném boku zubu (obr. 47).

tvarová úchylka sklonu zubu $f_{f\beta}$ - na tažném boku zubu byla nejnižší průměrná hodnota u brusného honování a nejvyšší u broušení. Na zpětném boku zubu byla naopak nejnižší hodnota u broušení a nejvyšší u ševingování (obr. 47).

maximální úchylka obvodových roztečí f_{pmax} - technologie brusného honování a broušení dosahovaly polovičních hodnot než technologie ševingování. U technologie ševingování byla překročena ve třech případech výkresová hodnota, která udává, že f_{pmax} musí být menší nebo rovna 10 μm . Na tažném boku byla naměřena maximální hodnota 15 μm a na zpětném boku 14 μm . Výkresová hodnota parametru f_{pmax} byla také překročena u technologie brusného honování. Dle předpisu musí být pro tento typ pastorku naměřená hodnota menší nebo rovna 5 μm . Na tažném boku byla překročena u dvou kusů a na zpětném boku u jednoho kusu. Ve všech třech případech byla výkresová hodnota překročena o 3 μm (obr. 48).

součtová úchylka k rozteči $F_{p\pm 8}$ - u technologií broušení a brusného honování byly průměrné naměřené hodnoty cca. 3x nižší než průměrné naměřené hodnoty u technologie ševingování (obr. 48).

obvodové házení ozubení F_r - průměrná naměřená hodnota byla u technologie brusného honování cca. 2x nižší než u technologie ševingování (obr. 48).

5.2. Vyhodnocení experimentu 2

V experimentu 2 byly měřeny parametry drsnosti a nosného podílu materiálu. Výsledky z provedených měření byly shrnuty a rozčleněny dle jednotlivých parametrů

drsnosti a nosného podílu. Naměřené hodnoty byly pro každý parametr zpracovány do souhrnných tabulek a společně s grafy uvedeny na jednotlivých obrázcích.

Parametry drsnosti

Porovnání technologií dle dosahované drsnosti povrchu bylo provedeno u těchto parametrů:

střední hodnota drsnosti R_z - z grafu vyplývá, že při měření po evolventě byly nejpriznivější hodnoty naměřeny brusně honovaných ozubení a nejméně příznivé u ozubení ševingovaných. Při měření po šroubovici byly nejpriznivější hodnoty dosaženy broušením i brusným honováním a nejméně příznivé ševingováním. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší průměrnou hodnotou není příliš velký (cca. 1 μm), viz. obr. 50.

střední aritmetická hodnota drsnosti R_a - pořadí technologií dle nejpriznivějších a nejméně příznivých naměřených hodnot je shodné jako u hodnoceného parametru R_z s tím rozdílem, že naměřené hodnoty po evolventě jsou přibližně o polovinu nižší než u měření po šroubovici (obr. 51).

největší hloubka drsnosti R_t - také u tohoto parametru je pořadí hodnocení technologií dle naměřených hodnot stejné jako v případě parametru R_z (obr. 52).

Parametry nosného podílu materiálu

Porovnání průměrných naměřených hodnot bylo provedeno u těchto parametrů nosného podílu materiálu:

základní hloubka R_k - nejvyšší hodnoty byly naměřeny u technologie ševingování a nejnižší u brusného honování a broušení (obr. 53).

redukovaná výška výstupků R_{pk} - nejnižších hodnot dosahuje technologie brusného honování a nejvyšších technologie ševingování. Při záběhu dochází k ulamování výstupků a tento parametr udává přibližně do jaké hloubky k němu může dojít. Rozdíl nejvyšší a nejnižší hodnoty je cca. 0,1 mikrometru (obr. 54).

redukovaná hloubka prohlubní R_{vk} - nejnižších hodnot dosahuje technologie broušení a nejvyšších technologie ševingování. Tato hodnota udává mazací vlastnosti měřeného povrchu (obr. 55).

podíl materiálu nad profilem jádra drsnosti $Mr1$ - nejnižší hodnoty byly naměřeny po evolventě u technologie ševingování a nejvyšší u technologie broušení. Po šroubovici u tažného boku zubu jsou nejnižší hodnoty u brusného honování a nejvyšší





u ševingování. U zpětného boku zubu jsou nejnižší hodnoty u broušení a nejvyšší u brusného honování (obr. 56). Tento parametr je součástí záběhových vlastností povrchu.

podíl materiálu pod profilem jádra drsnosti $Mr2$ - u všech technologií se hodnoty pohybují v rozmezí 3% (obr. 57). Tento parametr je jeden z parametrů udávajících mazací vlastnosti povrchu.

plocha výstupků $A1$ - při měření po evolventě byla nejmenší plocha vyhodnocena u ševingování a největší u broušení. Při měření po šroubovici byla u tažného boku vyhodnocena nejmenší plocha u brusného honování a největší u ševingování, u zpětného boku nejmenší u broušení a největší u brusného honování (obr. 58). Tento parametr je součástí záběhových vlastností povrchu.

plocha prohlubní $A2$ - při měření po evolventě byla největší plocha vyhodnocena u ševingování a nejmenší u brusného honování. Při měření po šroubovici byla vyhodnocena největší plocha u ševingování a nejmenší u broušení. U všech technologií je patrný velký rozdíl vyhodnocené plochy u měření po evolventě a po šroubovici a to o cca. $150 \mu\text{m}^2/\text{mm}$ (obr. 59). Tento parametr je jeden z parametrů udávajících mazací vlastnosti povrchu.

5.3. Vyhodnocení experimentu 3

V experimentu 3 byly měřeny hodnoty zbytkového napětí na boku zubu. Výsledky z provedených měření byly shrnuty do souhrnné tabulky a společně s grafem jsou uvedeny na obr. 60.

Zbytkové napětí σ

Z výsledků vyplývá, že zbytkové napětí v měřených ozubeních je tlakové, což je důsledkem tepelného zpracování, ale zejména provedeného pevnostního tryskání.

V první měřené vrstvě, která byla v rozmezí 1 až 5 mikrometrů pod povrchem boku zubu, jsou porovnávány hodnoty u všech tří technologií téměř shodné.

Ve druhé měřené vrstvě, tj. 10 až 30 mikrometrů pod povrchem boku zubu, byly v naměřených hodnotách nepatrné rozdíly. Nejvyšší hodnota byla naměřena u technologie brusného honování.

Ve třetí měřené vrstvě, tj. v rozmezí 50 až 60 mikrometrů pod povrchem boku zubu, byly naměřeny hodnoty nižší než v předešlé vrstvě. Nejvyšší hodnota byla opět naměřena u technologie brusného honování.

Nejvyšší hodnoty byly u všech tří technologií naměřeny ve druhé vrstvě. V první a třetí vrstvě byly hodnoty téměř shodné. Předepsané tlakové napětí v první vrstvě je min.400 MPa, ve druhé vrstvě min.800 MPa a ve třetí vrstvě min.600 MPa. Z toho vyplývá, že všechny naměřené hodnoty vyhovují předpisům pro tento daný materiál.

5.4. Vyhodnocení experimentu 4

V experimentu 4 byly změřeny hodnoty tvrdosti a průběhu tvrdosti metodou EHT 550. Výsledky z provedených měření byly shrnuty do souhrnných tabulek a jsou uvedeny na obr. 61.

Průběh tvrdosti metodou EHT 550

Vzhledem k tomu, že se technologie ševingování provádí již před tepelným zpracováním a technologie brusného honování a broušení až po tepelném zpracování, má každá technologie ve výkresové dokumentaci jiný předpis pro měření průběhu tvrdosti. Proto nebylo možné u jednotlivých technologií hodnoty naměřené metodou EHT 550 porovnávat, ale pouze vyhodnotit každou technologii zvlášť. U technologie ševingování je pro pastorek 02T 311 205 M vzdálenost od povrchu, ve které musí tvrdost dosáhnout hodnoty 550 HV, dána předpisem $EHT = 0,5 + 0,3 \text{ mm}$. U brusného honování je pro pastorek 02T 311 205 AK předpis $EHT \geq 0,5 \text{ mm}$ a u broušení je pro pastorek 02T 311 205 AG předepsáno $EHT \geq 0,3 \text{ mm}$. U všech typů pastorku naměřené hodnoty odpovídají daným předpisům.

Tvrdost na plochách neobrobených po tepelném zpracování

Pro plochy neobrobené po tepelném zpracování je u všech typů pastorku předepsána hodnota tvrdosti větší nebo rovna 680 HV30. Naměřené hodnoty odpovídají předepsaným hodnotám.

Tvrdost jádra v patě zubu

Tvrdost jádra v patě zubu má u všech typů pastorku předpis $350 + 130 \text{ HV}$. Všechny naměřené hodnoty odpovídají výkresové dokumentaci. Nejnížší naměřená hodnota byla u prvního broušeného kusu (353 HV) a nejvyšší u druhého ševingovaného kusu (406 HV).

5.5. Vyhodnocení experimentu 5

V experimentu 5 byl změřen hluk soukolí stálého záběru a z naměřených hodnot vyhodnoceny hladiny hluku pro jednotlivé typy pastorků. Výsledky z provedených měření byly shrnuty do souhrnných tabulek a společně s grafy jsou uvedeny v příloze 8 (str. 268 - 270).

Vzhledem k tomu, že porovnávaný díl je hnaný hřídel, byla naměřená hladina hluku vyhodnocena z kanálu SK2, synchronním s otáčkami hnaného hřídele (pastorku). Byla vyhodnocena první a druhá harmonická složka, při zařazeném třetím, čtvrtém a pátém rychlostním stupni, na tažném i zpětném boku zubu.

Při samotném porovnávání hluku jednotlivých typů pastorků byla porovnávána jen první harmonická složka, jelikož ta nejvíce ovlivňuje hladinu hluku ve vozidle. Na tažném boku zubu byla při zařazeném třetím, čtvrtém i pátém rychlostním stupni nejnižší hladina hluku u broušených pastorků a nejvyšší u ševingovaných. Rozdíl byl více než 10 dB, viz. obr. 62.

Na zpětném boku zubu byla při zařazeném 3. rychlostním stupni nejnižší hladina hluku u broušených pastorků a nejvyšší u ševingovaných. Při zařazené 4. rychlosti byla nejnižší hladina hluku u brusně honovaných pastorků a nejvyšší u ševingovaných. Při zařazeném 5. rychlostním stupni byla nejnižší hladina hluku u broušených pastorků a nejvyšší u brusně honovaných a ševingovaných. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší průměrnou hodnotou byl cca. 5 dB, viz. obr. 62.

5.6. Finanční rozvaha

Jako poslední porovnání jednotlivých metod byla provedena finanční rozvaha. Tato finanční rozvaha byla vzhledem k odpisům jednotlivých strojů vztažena na období pěti let a byly zde porovnány náklady vynaložené na výrobu jednoho kusu na dané operaci. Všechna vstupní data potřebná k výpočtu byla poskytnuta útvary VCA 3, VAT 2 a VAP.

Společná vstupní data:

počet pracovních hodin za den (3 směny).... 22,5 hodin

počet pracovních dnů za rok (2005) 253 dnů

počet pracovních hodin za 5 let 28 462,5 hodin = 1 707 750 minut

Ševingování**a) Investiční náklady na kus za 5 let**

pořizovací cena stroje (včetně ustavení a připojení) 14 145 000,- Kč

strojní čas 0,531 Nmin

$$\text{počet vyrobených kusů za 5 let} = \frac{\text{počet pracovních minut za 5 let}}{\text{strojní čas}} =$$

$$= \frac{1707750}{0,531} = 3216101 \text{ ks}$$

$$\text{investiční náklady na kus} = \frac{\text{pořizovací cena stroje}}{\text{počet vyrobených kusů za 5 let}} =$$

$$= \frac{14145000}{3216101} = 4,40 \text{ Kč}$$

b) Náklady na nástroj na kus

cena nástroje 27 771,- Kč

životnost nástroje 78 900 ks

náklady na ostření 1,07 Kč

$$\text{náklady na nástroj na kus} = \frac{\text{cena nástroje}}{\text{životnost nástroje}} + \text{náklady na ostření} =$$

$$= \frac{27771}{78900} + 1,07 = 1,42 \text{ Kč}$$

c) Mzdové náklady na kus

pracnost 0,581 Nmin

minutový tarif 1,662 Kč/min

koeficient režijních nákladů 1,806

$$\text{mzdové náklady na kus} = \text{pracnost} \cdot \text{minutový tarif} \cdot \text{koeficient režijních nákladů} =$$

$$= 0,581 \cdot 1,662 \cdot 1,806 = 1,74 \text{ Kč}$$

d) Náklady na el. energii a média na kus

cena za 1 kWh (k 3.5.2006)1,85 Kč

výkon stroje 8,1 kW

náklady na řezný olej za rok 2005 178 200,-Kč

skutečný počet vyrobených kusů za rok 2005... 496 439 ks

$$\text{náklady na el. energii na kus} = \frac{\text{výkon stroje} \cdot \text{počet prac. hodin za 5 let} \cdot \text{cena za 1 kWh}}{\text{počet vyrobených kusů za 5 let}} =$$

$$= \frac{8,1 \cdot 28462,5 \cdot 1,85}{3216101} = 0,13 \text{ Kč}$$

$$\text{náklady na řezný olej na kus} = \frac{\text{náklady na řezný olej za rok 2005}}{\text{skutečný počet vyrobených kusů za rok 2005}}$$

$$= \frac{178200}{496439} = 0,35 \text{ Kč}$$

e) Celkové náklady na kus za 5 let provozu stroje

$$\text{celkové náklady na 1 kus} = 4,40 + 1,42 + 1,74 + 0,13 + 0,35 = \underline{8,04 \text{ Kč}}$$

Brusné honovánía) Investiční náklady na kus za 5 let

pořizovací cena stroje (včetně ustavení a připojení) 16 974 000,- Kč

strojní čas 0,830 Nmin

$$\text{počet vyrobených kusů za 5 let} = \frac{\text{počet pracovních minut za 5 let}}{\text{strojní čas}} =$$

$$= \frac{1707750}{0,830} = 2057530 \text{ ks}$$

$$\begin{aligned} \text{investiční náklady na kus} &= \frac{\text{pořizovací cena stroje}}{\text{počet vyrobených kusů za 5 let}} = \\ &= \frac{16974000}{2057530} = 8,24 \text{ Kč} \end{aligned}$$

b) Náklady na nástroj na kus

cena nástroje 10 892,- Kč

životnost nástroje 4000 ks

náklady na orovnávací nástroje na kus 0,84 Kč

$$\begin{aligned} \text{náklady na nástroj na kus} &= \frac{\text{cena nástroje}}{\text{životnost nástroje}} + \text{náklady na orovnávací nástroje na kus} = \\ &= \frac{10892}{4000} + 0,84 = 3,57 \text{ Kč} \end{aligned}$$

c) Mzdové náklady na kus

pracnost 0,929 Nmin

minutový tarif 1,964 Kč/min

koeficient režijních nákladů 1,830

$$\begin{aligned} \text{mzdové náklady na kus} &= \text{pracnost} \cdot \text{minutový tarif} \cdot \text{koeficient režijních nákladů} = \\ &= 0,929 \cdot 1,964 \cdot 1,830 = 3,34 \text{ Kč} \end{aligned}$$

d) Náklady na el. energii a média na kus za 5 let

cena za 1 kWh (k 3.5.2006)1,85 Kč

výkon stroje 18,4 kW

náklady na řezný olej za rok 2005 4700,-Kč

skutečný počet vyrobených kusů za rok 2005... 6230 ks

$$\text{náklady na el. energii na kus} = \frac{\text{výkon stroje} \cdot \text{počet prac. hodin za 5 let} \cdot \text{cena za 1 kWh}}{\text{počet vyrobených kusů za 5 let}} =$$

$$= \frac{18,4 \cdot 28462,5 \cdot 1,85}{2057530} = 0,47 \text{ Kč}$$

$$\text{náklady na řezný olej na kus} = \frac{\text{náklady na řezný olej za rok 2005}}{\text{skutečný počet vyrobených kusů za rok 2005}}$$

$$= \frac{4700}{6230} = 0,75 \text{ Kč}$$

e) Celkové náklady na kus

$$\text{celkové náklady na 1 kus} = 8,24 + 3,57 + 3,34 + 0,47 + 0,75 = \underline{16,37 \text{ Kč}}$$

Broušení

a) Investiční náklady na kus za 5 let

pořizovací cena stroje (včetně ustavení a připojení) 42 435 000,- Kč

strojní čas 0,780 Nmin

$$\text{počet vyrobených kusů za 5 let} = \frac{\text{počet pracovních minut za 5 let}}{\text{strojní čas}} =$$

$$= \frac{1707750}{0,780} = 2189423 \text{ ks}$$

$$\text{investiční náklady na kus} = \frac{\text{pořizovací cena stroje}}{\text{počet vyrobených kusů za 5 let}} =$$

$$= \frac{42435000}{2189423} = 19,38 \text{ Kč}$$

b) Náklady na nástroj na kus

cena nástroje 21 838,- Kč

životnost nástroje 8 000 ks

náklady na ořnávácí nástroj na kus 1,79 Kč

$$\begin{aligned} \text{náklady na nástroj na kus} &= \frac{\text{cena nástroje}}{\text{životnost nástroje}} + \text{náklady na orovnávací nástroje na kus} = \\ &= \frac{21838}{8000} + 1,79 = 4,52 \text{ Kč} \end{aligned}$$

c) Mzdové náklady na kus

pracnost 0,873 Nmin

minutový tarif 1,964 Kč/min

koeficient režijních nákladů 1,830

$$\begin{aligned} \text{mzdové náklady na kus} &= \text{pracnost} \cdot \text{minutový tarif} \cdot \text{koeficient režijních nákladů} = \\ &= 0,873 \cdot 1,964 \cdot 1,830 = 3,14 \text{ Kč} \end{aligned}$$

d) Náklady na el. energii a média na kus za 5 let

cena za 1 kWh (k 3.5.2006)1,85 Kč

výkon stroje 34,5 kW

náklady na řezný olej za rok 2005 432 000,-Kč

skutečný počet vyrobených kusů za rok 2005... 215 445 ks

$$\begin{aligned} \text{náklady na el. energii na kus} &= \frac{\text{výkon stroje} \cdot \text{počet prac. hodin za 5 let} \cdot \text{cena za 1 kWh}}{\text{počet vyrobených kusů za 5 let}} = \\ &= \frac{34,5 \cdot 28462,5 \cdot 1,85}{2189423} = 0,83 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\text{náklady na řezný olej na kus} = \frac{\text{náklady na řezný olej za rok 2005}}{\text{skutečný počet vyrobených kusů za rok 2005}}$$

$$= \frac{432000}{215445} = 2,01 \text{ Kč}$$

e) Celkové náklady na kus

$$\text{celkové náklady na 1 kus} = 19,38 + 4,52 + 3,14 + 0,83 + 2,01 = \underline{29,88 \text{ Kč}}$$

Vyhodnocení finanční rozvahy

Nejnižší náklady 8,04 Kč na kus po dobu pěti let má technologie ševingování. Technologie brusného honování má náklady na kus po dobu pěti let 16,37 Kč. Nejvyšší náklady na kus po dobu pěti let má technologie broušení a to 29,88 Kč. Tyto výsledné částky byly nejvíce ovlivněny pořizovací cenou jednotlivých strojů.

5.7. Porovnání a vyhodnocení dosažených výsledků

U parametrů ozubení ($f_{H\alpha}$, $f_{H\beta}$, c_a , c_b) porovnávaných dle konfidenčního intervalu byla u technologií brusného honování a broušení stabilita procesu několikanásobně větší než u technologie ševingování.

Stejný kvalitativní rozdíl těchto technologií se projevoval i u parametrů ozubení (f_{pmax} , $F_{pz/8}$, F_r , $f_{f\alpha}$) porovnávaných dle naměřených hodnot.

U parametrů drsnosti (R_z , R_a , R_t) byly naměřeny příznivější hodnoty opět u technologií brusného honování a broušení. U technologie ševingování byly naměřeny hodnoty méně příznivé.

Hodnoty zbytkového napětí, tvrdosti a průběhu tvrdosti vyhovovaly u všech tří porovnávaných technologií výkresové dokumentaci.

Z grafu naměřených hodnot hluku převodovky je patrné, že na tažném boku zubu je 1.harmonická složka u všech vyhodnocovaných rychlostních stupňů nejnižší u ozubení vyrobeného broušením a nejvyšší u ševingovaného ozubení. Rozdíl je více jak 10 dB. Na zpětném boku není rozdíl mezi jednotlivými technologiemi tak výrazný, naměřené hodnoty se u všech hodnocených rychlostí pohybují v rozmezí 5 dB (obr. 62).

Ve finanční rozvaze vyšly nejnižší celkové náklady na kus u technologie ševingování 8,04 Kč a nejvyšší u technologie broušení 29,88 Kč. Náklady na kus u technologie brusného honování vyšly 16,37 Kč.

Vyhodnocení pomocí Paretovy analýzy

Z důvodu přehlednosti při vyhodnocování nejvýhodnější technologie pro daný typ výrobku byla provedena Paretova analýza.

Postup výpočtu

Nejprve byly jednotlivým porovnávaným kritériím přiděleny tzv. váhové body 1-3 (trojka největší důležitost), čímž byly stanoveny priority pro samotné vyhodnocení (tab. 1). Dále byla jednotlivá porovnávaná kritéria obodována čísly 1 až 3 (trojka

nejvýhodnější) dle dosažených výsledků v porovnávacích měřeních a výpočtech (tab. 2).

U každého porovnávaného kritéria byla vynásobena hodnota váhového bodu hodnotou přidělenou danému kritériu a poté byly jednotlivé výsledky sečteny. Tento výsledný součet udává celkový počet bodů pro danou technologii.

Porovnávaná kritéria	Parametry ozubení	Parametry drsnosti	Materiálové vlastnosti	Hluk	Finanční náklady
Váhové body	1	1	1	2	3

Tab. 1. Váhové body pro jednotlivá porovnávaná kritéria

Porovnávaná kritéria	Parametry ozubení	Parametry drsnosti	Materiálové vlastnosti	Hluk	Finanční náklady	Celkový počet bodů
ševingování	1	2	3	1	3	17
brusné honování	3	3	3	2	2	19
broušení	3	3	3	3	1	18

Tab. 2. Bodové ohodnocení výsledků z porovnávacích měření a výpočtů

Volba nejvhodnější technologie pomocí Paretovy analýzy

Při vyhodnocování byla dána největší priorita finančním nákladům a hluku převodovky. Z výsledků vyplývá, že dle takto nastavených priorit (tab.1) je pro hnaný hřídel nejvýhodnější dokončovací metodou technologie brusného honování (tab.2). Tato technologie dosahovala za téměř polovičních nákladů na výrobu jednoho kusu výsledky srovnatelné s technologií broušení. A to jak z hlediska kvality výroby, tak i stability procesu. Nejméně bodů získala technologie ševingování, která přestože byla finančně nejvýhodnější, nedosahovala v ostatních hodnocených kritériích tak příznivých výsledků jako technologie brusného honování nebo broušení.

6. ZÁVĚR

V této diplomové práci bylo provedeno porovnání dokončovacích technologií výroby ozubení ve firmě Škoda Auto a.s. Jednalo se o porovnání stávající technologie ševingování a nově zaváděných technologií broušení a brusného honování používaných při výrobě dílů převodovky MQ 200.

Technologie ševingování je technologie, která dokončuje tvar zubu po předchozích operacích (frézování, obrážení). Ve firmě Škoda Auto a.s. se používá metoda tzv. ponorného ševingování prováděná před tepelným zpracováním. To je jedna z nevýhod této technologie, protože při tepelném zpracování zpravidla dochází k určitým deformacím ozubení, které je nutné eliminovat korekcemi daných parametrů ozubení při samotném ševingování. Touto technologií lze obrábět pouze boky zubů, pata zubu je frézovaná. Další dokončovací technologií ozubení je broušení brousicím šnekem prováděná na odvalovací brusce firmy Reishauer. Tato technologie se používá pro dokončování tvaru zubu až po tepelném zpracování, čímž se odstraní případné deformace vzniklé tímto procesem. Díky způsobu obrábění lze brousit boky i patu zubu a tím je zajištěn vhodný tvar přechodové křivky bez vrubu. Poslední porovnávanou technologií bylo brusné honování keramickým honovacím kroužkem. Tato technologie se stejně jako broušení provádí po tepelném zpracování, ale s tím rozdílem, že se obrábí (tak jako u ševingování) pouze boky zubů. Pata zubu je frézovaná.

Potřebné hodnoty pro porovnání jednotlivých technologií byly získány z pěti experimentů, při kterých byly proměřeny parametry ozubení, drsnosti, zbytkového napětí, tvrdosti a hluku. Měření byla provedena na hnaném hřídeli, který se jako jediný díl vyráběl všemi třemi porovnávanými technologiemi. V prvním experimentu byly proměřeny relevantní rozměry ozubení. Celkem bylo provedeno 30 měření, při kterých bylo naměřeno 600 hodnot jednotlivých parametrů ozubení. Z naměřených hodnot vyplynulo, že lepších hodnot a větší stability procesu dosahovaly, v porovnání s technologií ševingování, technologie brusného honování a broušení. Ve druhém experimentu byly změřeny parametry drsnosti a nosného podílu materiálu. Celkem bylo provedeno 120 měření, při kterých bylo naměřeno 1200 hodnot jednotlivých parametrů drsnosti a nosného podílu materiálu. Z výsledků měření vyplývá, že nejpříznivějších hodnot bylo dosaženo opět u technologií brusného honování a broušení. Rozdíly mezi naměřenými hodnotami u těchto dvou technologií a technologií ševingování však nebyly příliš výrazné. Ve třetím experimentu bylo naměřeno 18 hodnot zbytkového

napětí na boku zubu. Hodnoty naměřeného tlakového napětí vyhovují předpisům pro daný materiál. V dalším prováděném experimentu byla měřena tvrdost jádra v patě zubu, tvrdost na plochách neobrobených po tepelném zpracování a byl vyhodnocen průběh tvrdosti metodou EHT 550. V prvních dvou případech byly předepsané výkresové hodnoty stejné pro všechny tři porovnávané technologie. Pro vyhodnocování průběhu tvrdosti metodou EHT 550 je předepsaná hodnota pro každou technologii jiná a to s ohledem na to, zda se provádí před a nebo až po tepelném zpracování. Celkem bylo naměřeno 42 hodnot a všechny odpovídaly předpisům daným výkresovou dokumentací. V pátém experimentu byl měřen hluk soukolí stálého převodu, jehož součástí je porovnávaný hnací hřídel. Celkem bylo provedeno 9 měření, při kterých bylo naměřeno 108 hodnot. Hodnota 1. harmonické složky byla při záběru tažného boku zubu nejnižší u soukolí s broušeným pastorkem, vyšší u soukolí s brusně honovaným pastorkem a nejvyšší u soukolí se ševingovaným pastorkem. Při záběru zpětného boku zubu nebyly rozdíly v naměřených hodnotách tak výrazné. Posledním kritériem pro porovnání byla finanční rozvaha. Na jejím základě byly jednotlivé technologie porovnány dle nákladů na výrobu jednoho kusu za období pěti let. Nejnižší náklady na jeden kus byly vypočteny u technologie ševingování. Dvojnásobné náklady oproti ševingování vyšly u technologie brusného honování. Nejvyšší náklady na jeden kus, téměř čtyřnásobné oproti ševingování, vyšly u technologie broušení.

Na závěr bylo provedeno vyhodnocení pomocí Paretovy analýzy. Pro jednotlivá porovnávaná kritéria byla pomocí tzv. váhových bodů nastavena jejich priorita. Největší důležitost byla přiřazena finančním nákladům a hluku převodovky. Z vypočtených hodnot vyplývá, že při takto nastavených prioritách je pro daný hnací hřídel výhodnější dokončovací metodou technologie brusného honování než technologie broušení. Nejméně vhodná vychází technologie ševingování a to i přes to, že je nejméně finančně nákladná.

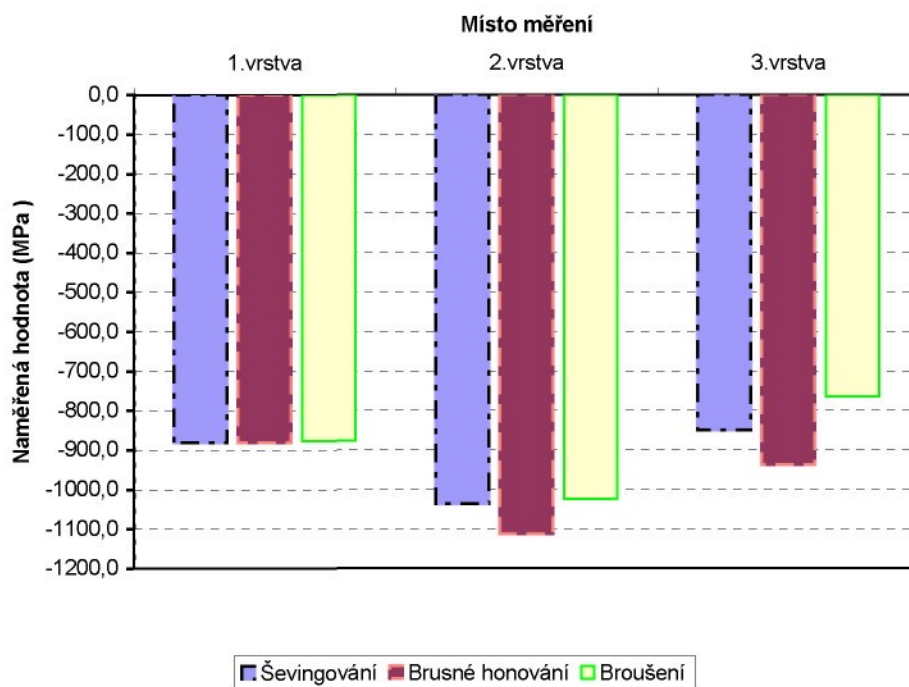
Seznam příloh

PŘÍLOHA 1	Protokoly z měření parametrů ozubení	1 - 60
PŘÍLOHA 2	Tabulky a grafy (parametry ozubení)	61 - 70
PŘÍLOHA 3	Protokoly z měření parametrů drsnosti	71 - 190
PŘÍLOHA 4	Tabulky a grafy (parametry drsnosti)	191 - 210
PŘÍLOHA 5	Protokoly z měření zbytkového napětí	211 - 228
PŘÍLOHA 6	Protokoly z měření tvrdosti	229 - 240
PŘÍLOHA 7	Protokoly z měření hluku	241 - 267
PŘÍLOHA 8	Tabulky a grafy (hluk)	268 - 270

Zbytkové napětí σ (MPa)

Měření		1. ks	2. ks	Průměrná hodnota
Ševingování	1.vrstva	-835,8	-926,4	-881,1
	2.vrstva	-920,1	-1153,3	-1036,7
	3.vrstva	-893,0	-807,7	-850,4
Brusné honování	1.vrstva	-864,3	-896,3	-880,3
	2.vrstva	-1066,3	-1160,0	-1113,2
	3.vrstva	-920,4	-954,2	-937,3
Broušení	1.vrstva	-905,1	-847,6	-876,4
	2.vrstva	-1024,8	-1024,1	-1024,5
	3.vrstva	-768,1	-762,7	-765,4

Zbytkové napětí σ



Obr. 60 Hodnoty zbytkového napětí σ

Výsledky průběhu tvrdosti metodou EHT 550 (mm)

Měření	1.ks		2.ks		Průměrná hodnota
	tažný bok	zpětný bok	tažný bok	zpětný bok	
Ševingování	0,76	0,76	0,62	0,63	0,69 ± 0,143
Brusné honování	0,89	0,90	0,91	0,90	0,90 ± 0,015
Broušení	0,68	0,67	0,68	0,67	0,68 ± 0,011

Tvrdost na ploše neobrobené po tepelném zpracování (HV)

Měření	1.ks				2.ks				Průměrná hodnota
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.	
Ševingování	741	730	741	736	741	746	730	736	737,6 ± 5,08
Brusné honování	736	741	730	736	736	746	741	746	739,0 ± 4,94
Broušení	730	725	725	725	725	730	725	720	725,6 ± 2,86

Tvrdost v patě zubu (HV)

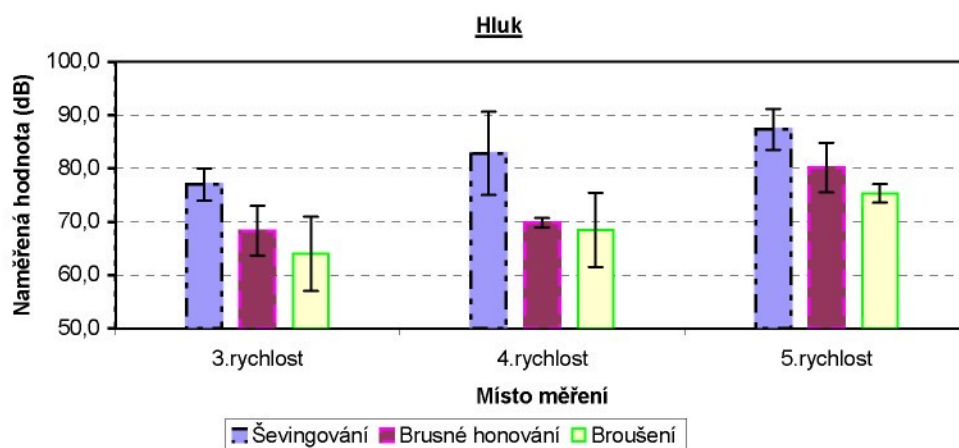
Měření	1.ks	2.ks	Průměrná hodnota
Ševingování	360	406	383,0
Brusné honování	366	393	379,5
Broušení	353	371	362,0

Obr. 61 Souhrnné hodnoty tvrdosti a průběhu tvrdosti

]

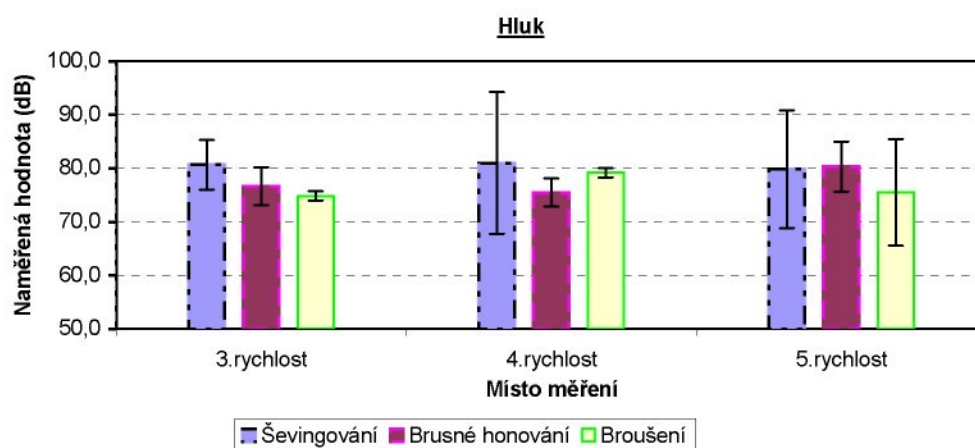
3., 4., 5. rychlost - 1.harmonická složka - tažný bok (dB)

Měření	3.rychlost			4.rychlost			5.rychlost		
Švingování	77,0	±	3,04	82,8	±	7,81	87,3	±	3,83
Brusné honování	68,3	±	4,65	69,8	±	0,88	80,2	±	4,65
Broušení	64,0	±	6,97	68,5	±	6,97	75,3	±	1,76



3., 4., 5. rychlost - 1.harmonická složka - zpětný bok (dB)

Měření	3.rychlost			4.rychlost			5.rychlost		
Švingování	80,7	±	4,65	81,0	±	13,26	79,8	±	11,01
Brusné honování	76,7	±	3,51	75,5	±	2,64	80,3	±	4,65
Broušení	74,8	±	0,88	79,2	±	0,88	75,5	±	9,98

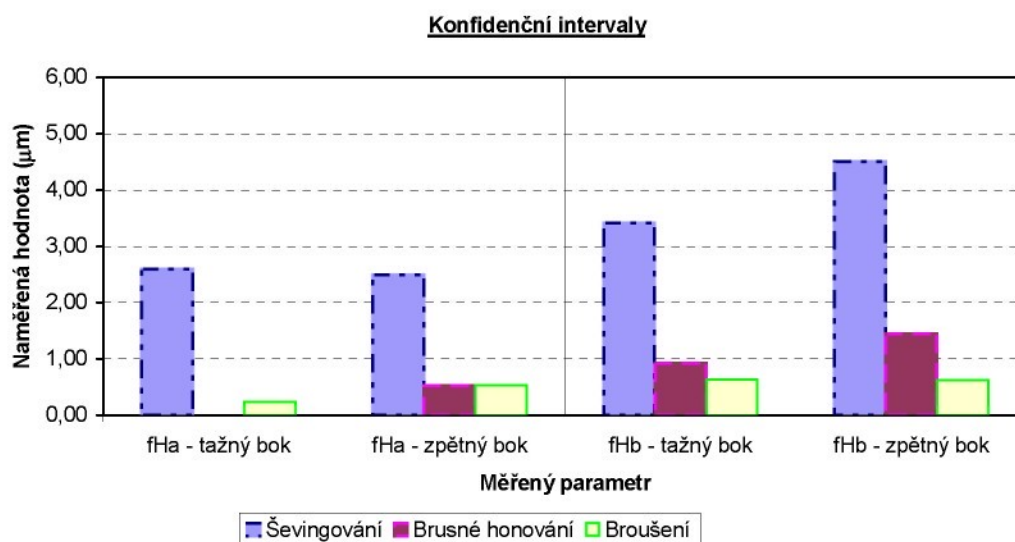
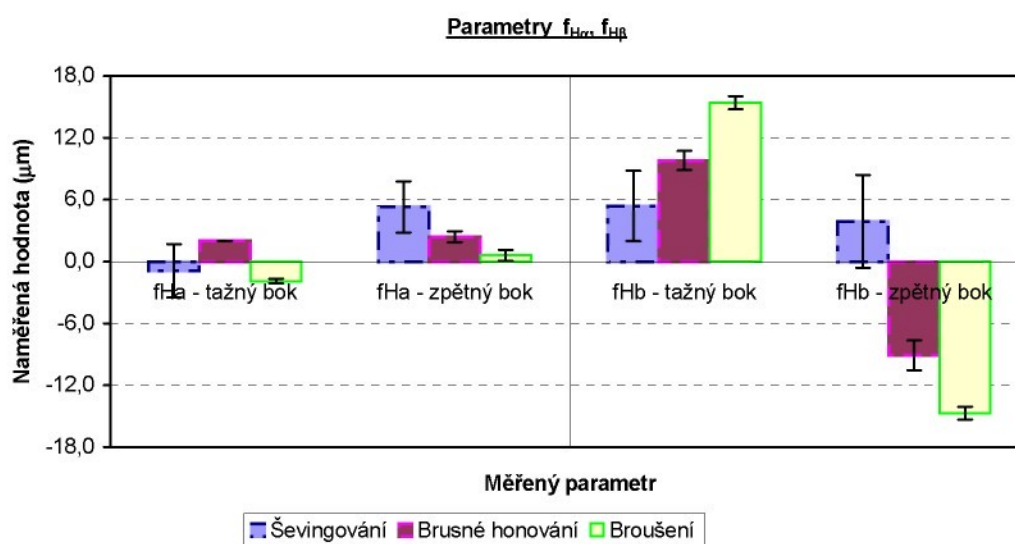


Obr.62 Souhrnné hodnoty hluku

3.rychlost 4.rychlost 5.rychlost

Parametry $f_{H\alpha}$, $f_{H\beta}$ (μm) - průměrné hodnoty + konfidenční intervaly

Měřený parametr	$f_{H\alpha}$		$f_{H\beta}$	
	tažný bok	zpětný bok	tažný bok	zpětný bok
Švingování	-0,9 ± 2,60	5,3 ± 2,49	5,4 ± 3,41	3,9 ± 4,50
Brusné honování	2,0 ± 0,00	2,4 ± 0,53	9,8 ± 0,93	-9,1 ± 1,44
Broušení	-1,9 ± 0,24	0,6 ± 0,53	15,4 ± 0,64	-14,7 ± 0,62



Obr. 45 Souhrnné hodnoty parametrů $f_{H\alpha}$ a $f_{H\beta}$

fHa - tažný
bok

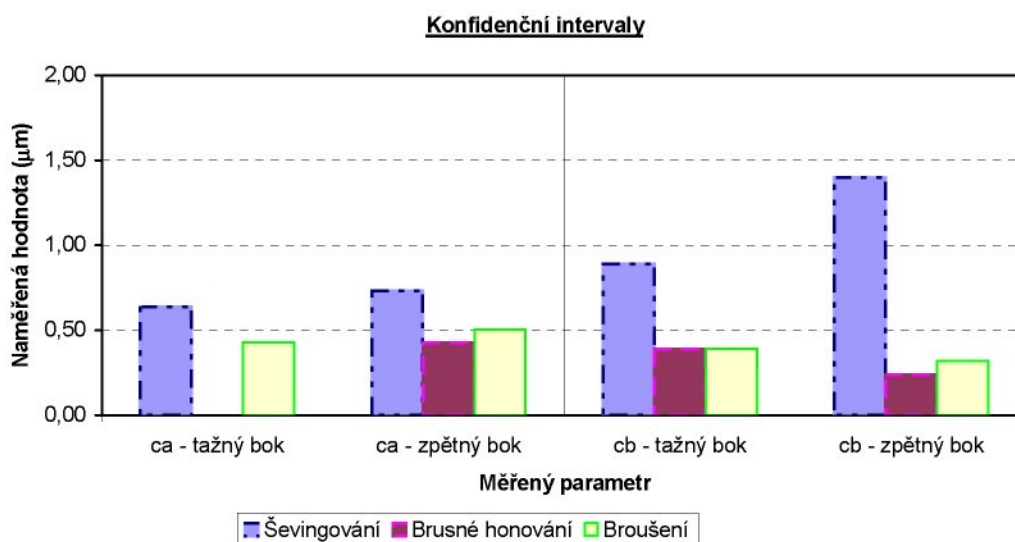
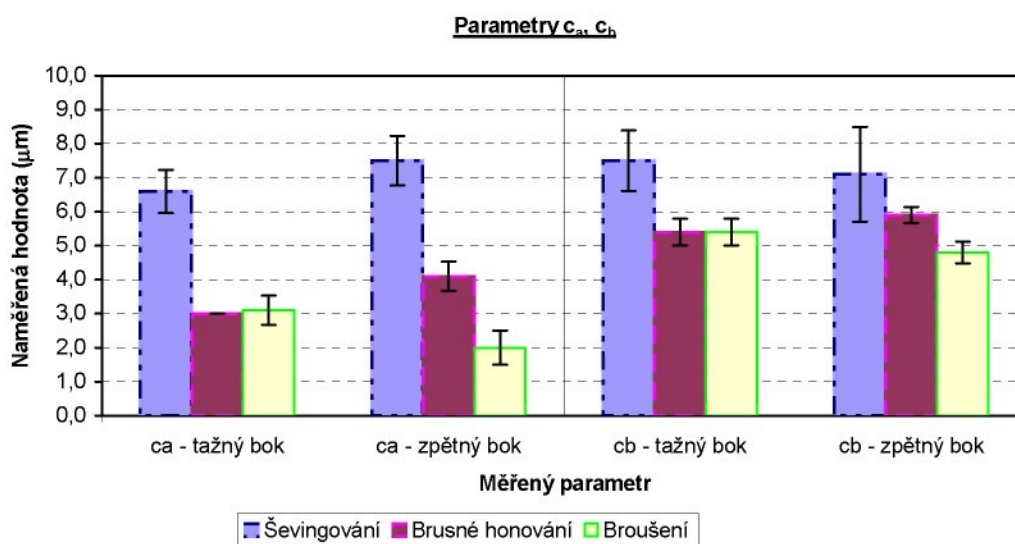
fHa - zpětný
bok

fHb - tažný
bok

fHb - zpětný
bok

Parametry c_a , c_b (μm) - průměrné hodnoty + konfidenční intervaly

Měřený parametr	c_a		c_b	
	tažný bok	zpětný bok	tažný bok	zpětný bok
Švingování	6,6 ± 0,64	7,5 ± 0,73	7,5 ± 0,89	7,1 ± 1,40
Brusné honování	3,0 ± 0,00	4,1 ± 0,43	5,4 ± 0,39	5,9 ± 0,24
Broušení	3,1 ± 0,43	2,0 ± 0,50	5,4 ± 0,39	4,8 ± 0,32

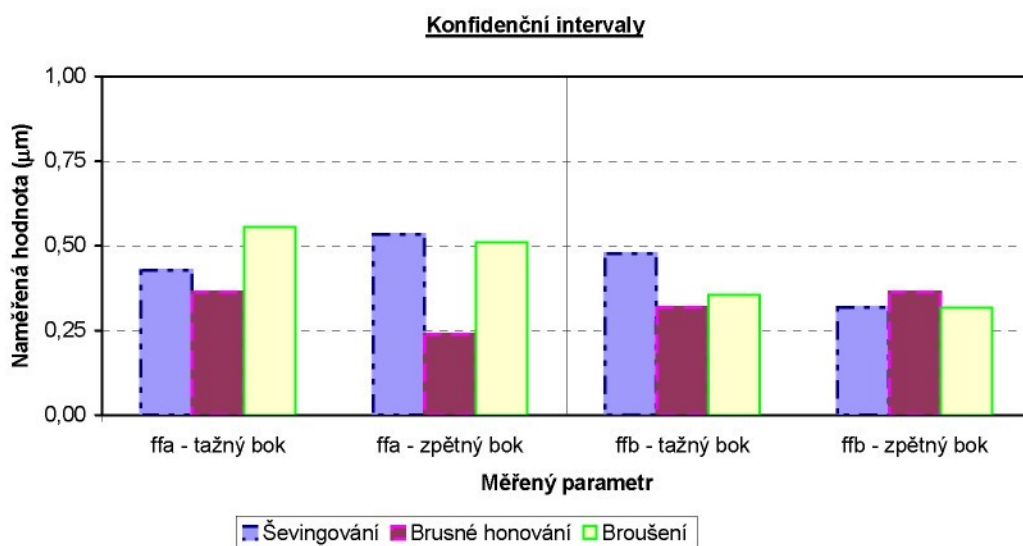
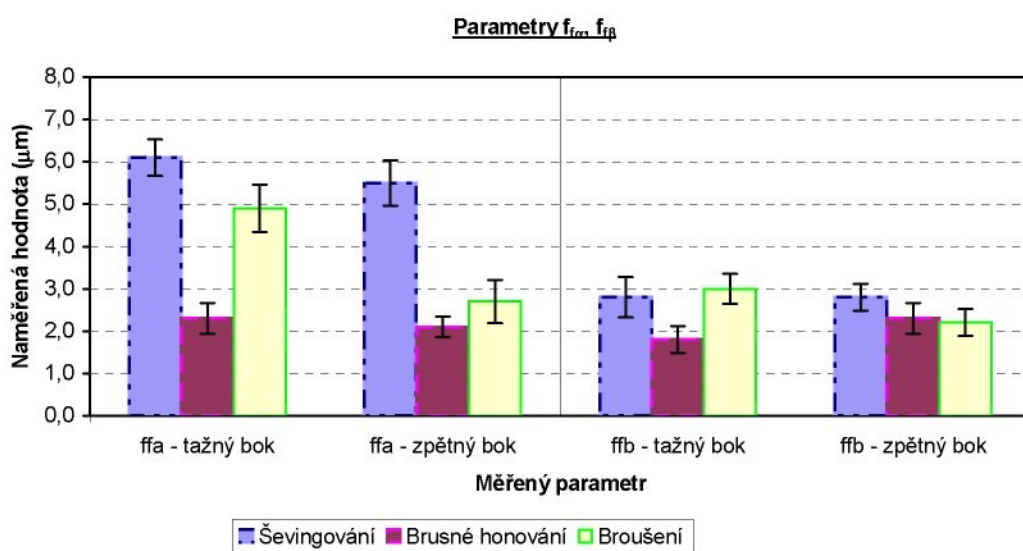


Obr. 46 Souhrnné hodnoty parametrů c_a , c_b

ca - tažný bok ca - zpětný bok cb - tažný bok cb - zpětný bok

Parametry $f_{f\alpha}$, $f_{f\beta}$ (μm) - průměrné hodnoty + konfidenční intervaly

Měřený parametr	$f_{f\alpha}$		$f_{f\beta}$	
	tažný bok	zpětný bok	tažný bok	zpětný bok
Ševingování	6,1 ± 0,43	5,5 ± 0,53	2,8 ± 0,48	2,8 ± 0,32
Brusné honování	2,3 ± 0,36	2,1 ± 0,24	1,8 ± 0,32	2,3 ± 0,36
Broušení	4,9 ± 0,56	2,7 ± 0,51	3,0 ± 0,36	2,2 ± 0,32

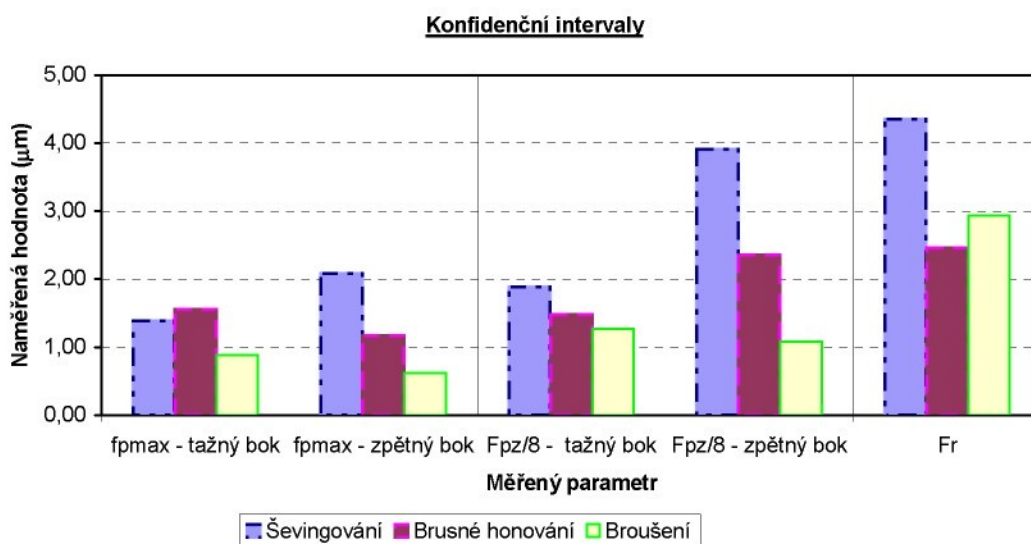
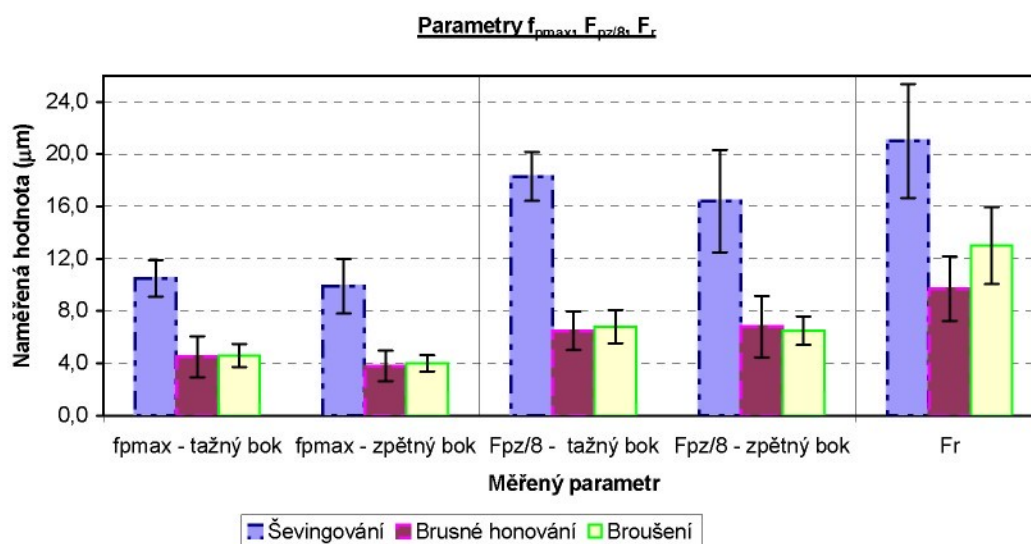


Obr. 47 Souhrnné hodnoty parametrů $f_{f\alpha}$, $f_{f\beta}$

ffa - tažný bok ffa - zpětný bok ffb - tažný bok ffb - zpětný bok

Parametry f_{pmax} , $F_{pz/8}$, F_r (μm) - průměr. hodnoty + konfidenční intervaly

Měřený parametr	f_{pmax}		$F_{pz/8}$		F_r
	tažný bok	zpětný bok	tažný bok	zpětný bok	
Ševingování	10,5 ± 1,39	9,9 ± 2,09	18,3 ± 1,88	16,4 ± 3,91	21,0 ± 4,35
Brusné honování	4,5 ± 1,56	3,8 ± 1,17	6,5 ± 1,48	6,8 ± 2,35	9,7 ± 2,46
Broušení	4,6 ± 0,89	4,0 ± 0,62	6,8 ± 1,27	6,5 ± 1,08	13,0 ± 2,93



Obr. 48 Souhrnné hodnoty parametrů f_{pmax} , $F_{pz/8}$, F_r

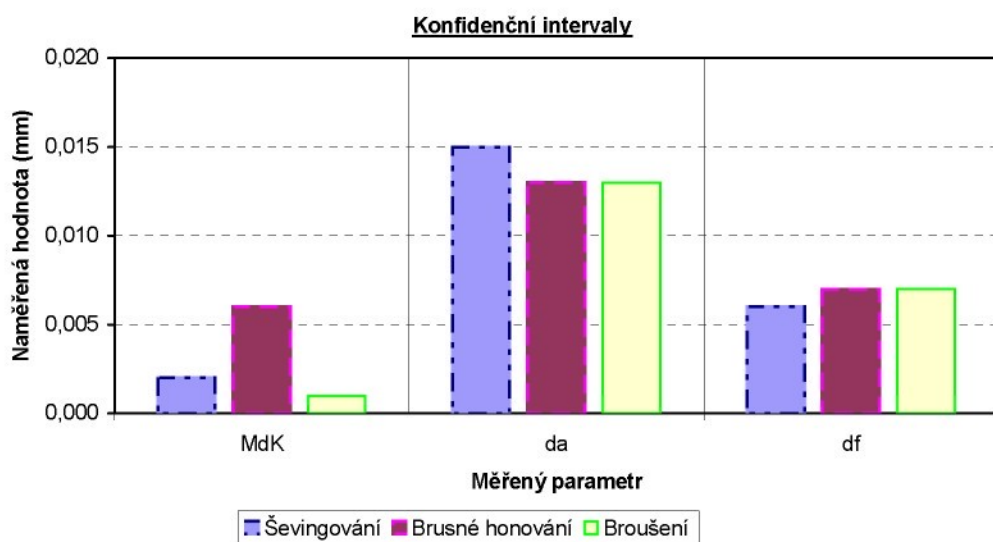
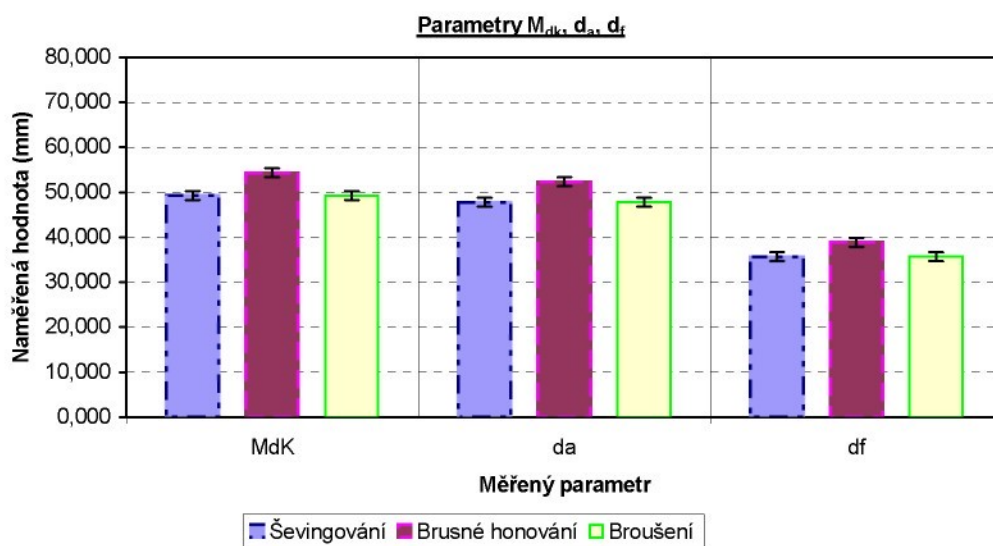
f_{pmax} - tažný bok f_{pmax} - zpětný bok $F_{pz/8}$ - tažný bok

Fpz/8 - zpětný bok

Fr

Parametry M_{dK} , d_a , d_f (mm) - průměrné hodnoty + konfidenční intervaly

Měřený parametr	M_{dK}	d_a	d_f
Ševingování	49,229 ± 0,002	47,776 ± 0,015	35,684 ± 0,006
Brusné honování	54,323 ± 0,006	52,322 ± 0,013	38,887 ± 0,007
Broušení	49,242 ± 0,001	47,761 ± 0,013	35,634 ± 0,007



Obr. 49 Souhrnné hodnoty parametrů M_{dK} , d_a , d_f

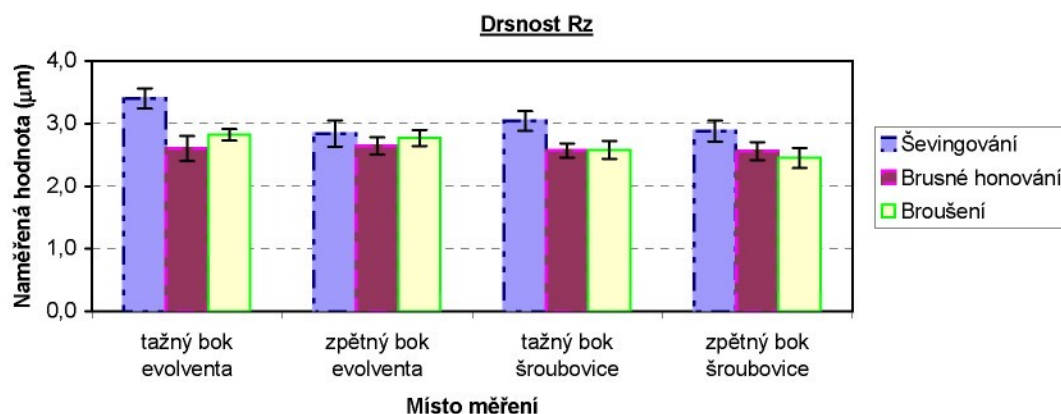
MdK

da

df

Drsnost Rz (μm) - průměrná hodnota

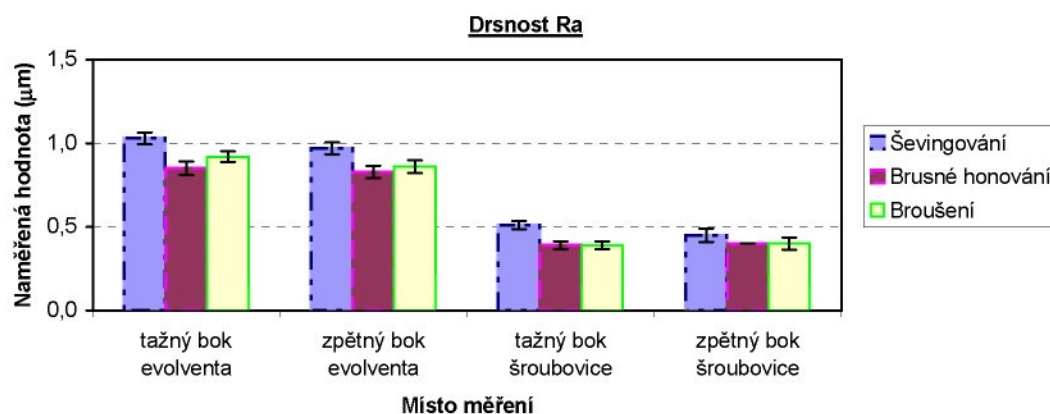
Místo měření	po evolventě		po šroubovici	
	tažný bok	zpětný bok	tažný bok	zpětný bok
Ševingování	3,4 ± 0,16	2,8 ± 0,21	3,0 ± 0,16	2,9 ± 0,17
Brusné honování	2,6 ± 0,20	2,6 ± 0,14	2,6 ± 0,11	2,6 ± 0,14
Broušení	2,8 ± 0,09	2,8 ± 0,13	2,6 ± 0,14	2,5 ± 0,16



Obr. 50 Souhrnné hodnoty parametru Rz

Drsnost Ra (μm) - průměrná hodnota

Místo měření	po evolventě		po šroubovici	
	tažný bok	zpětný bok	tažný bok	zpětný bok
Ševingování	1,0 ± 0,04	1,0 ± 0,04	0,5 ± 0,02	0,5 ± 0,04
Brusné honování	0,9 ± 0,04	0,8 ± 0,04	0,4 ± 0,02	0,4 ± 0,00
Broušení	0,9 ± 0,03	0,9 ± 0,04	0,4 ± 0,02	0,4 ± 0,04



Obr. 51 Souhrnné hodnoty parametru Ra

tažný bok
evolventa

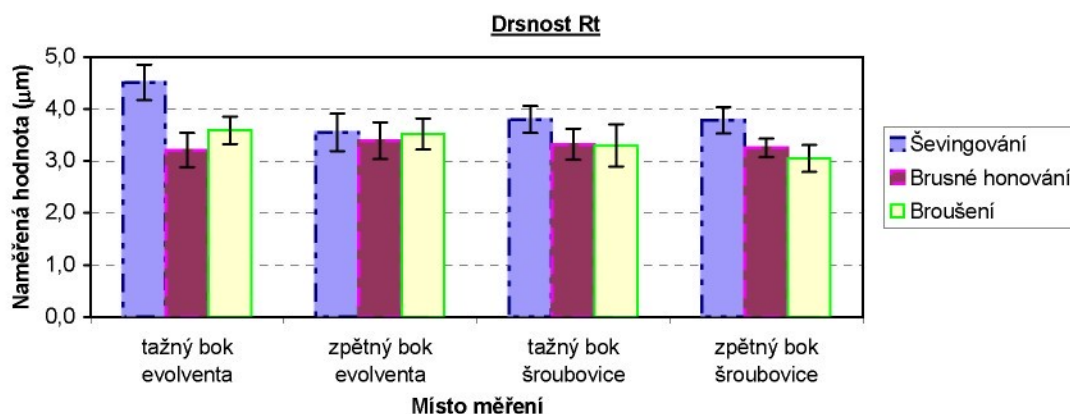
zpetný bok
evolventa

tažný bok
šroubovice

zpetný bok
šroubovice

Drsnost Rt (μm) - průměrná hodnota

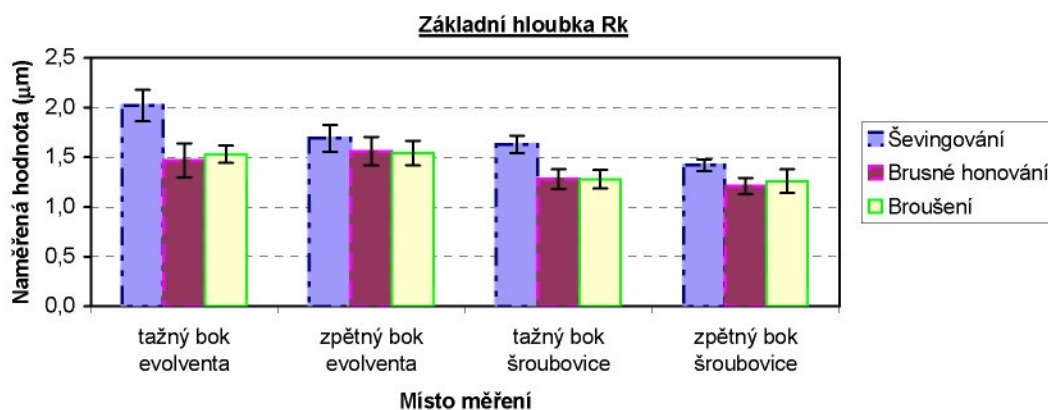
Místo měření	po evolventě		po šroubovici	
	tažný bok	zpětný bok	tažný bok	zpětný bok
Švingování	4,5 ± 0,34	3,6 ± 0,36	3,8 ± 0,26	3,8 ± 0,25
Brusné honování	3,2 ± 0,33	3,4 ± 0,35	3,3 ± 0,30	3,3 ± 0,18
Broušení	3,6 ± 0,27	3,5 ± 0,30	3,3 ± 0,41	3,1 ± 0,26



Obr. 52 Souhrnné hodnoty parametru Rt

Základní hloubka Rk (μm) - průměrná hodnota

Místo měření	po evolventě		po šroubovici	
	tažný bok	zpětný bok	tažný bok	zpětný bok
Švingování	2,0 ± 0,16	1,7 ± 0,14	1,6 ± 0,09	1,4 ± 0,06
Brusné honování	1,5 ± 0,17	1,6 ± 0,14	1,3 ± 0,10	1,2 ± 0,08
Broušení	1,5 ± 0,09	1,5 ± 0,12	1,3 ± 0,09	1,3 ± 0,12



Obr. 53 Souhrnné hodnoty parametru Rk

tažný bok
evolventa

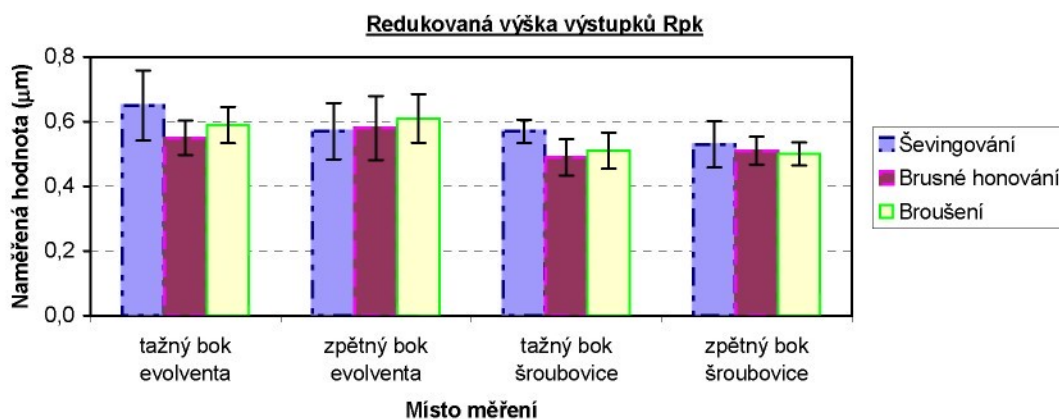
zpetný bok
evolventa

tažný bok
šroubovice

zpetný bok
šroubovice

Redukovaná výška výstupků Rpk (μm) - průměrná hodnota

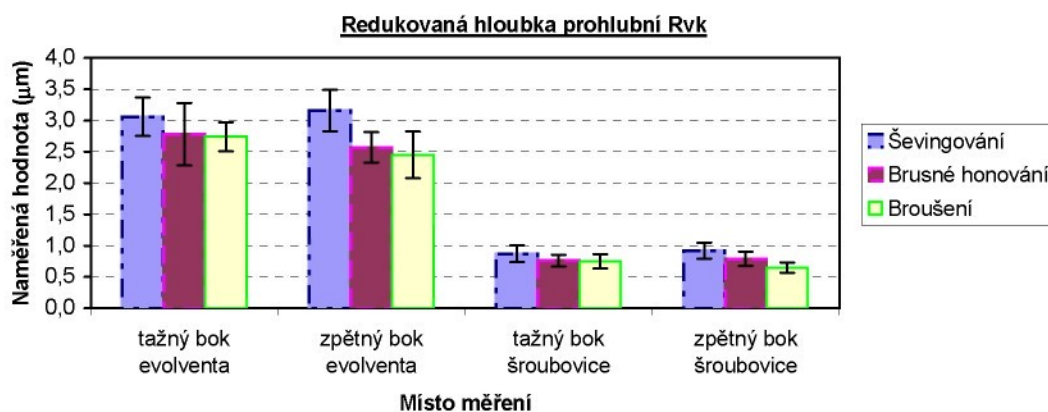
Místo měření	po evolventě				po šroubovici			
	tažný bok		zpětný bok		tažný bok		zpětný bok	
Ševingování	0,7	$\pm$ 0,11	0,6	$\pm$ 0,09	0,6	$\pm$ 0,04	0,5	$\pm$ 0,07
Brusné honování	0,6	$\pm$ 0,05	0,6	$\pm$ 0,10	0,5	$\pm$ 0,06	0,5	$\pm$ 0,04
Broušení	0,6	$\pm$ 0,06	0,6	$\pm$ 0,08	0,5	$\pm$ 0,06	0,5	$\pm$ 0,04



Obr. 54 Souhrnné hodnoty parametru Rpk

Redukovaná hloubka prohlubní Rvk (μm) - průměrná hodnota

Místo měření	po evolventě				po šroubovici			
	tažný bok		zpětný bok		tažný bok		zpětný bok	
Ševingování	3,1	$\pm$ 0,31	3,2	$\pm$ 0,33	0,9	$\pm$ 0,13	0,9	$\pm$ 0,13
Brusné honování	2,8	$\pm$ 0,50	2,6	$\pm$ 0,24	0,8	$\pm$ 0,10	0,8	$\pm$ 0,12
Broušení	2,7	$\pm$ 0,23	2,5	$\pm$ 0,38	0,8	$\pm$ 0,11	0,7	$\pm$ 0,08



Obr. 55 Souhrnné hodnoty parametru Rvk

tažný bok
evolventa

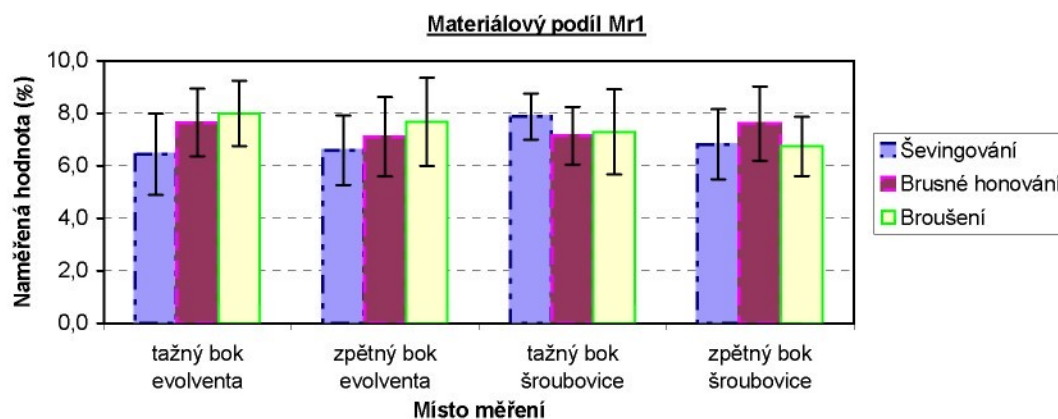
zpetný bok
evolventa

tažný bok
šroubovice

zpetný bok
šroubovice

Materiálový podíl Mr1 (%) - průměrná hodnota

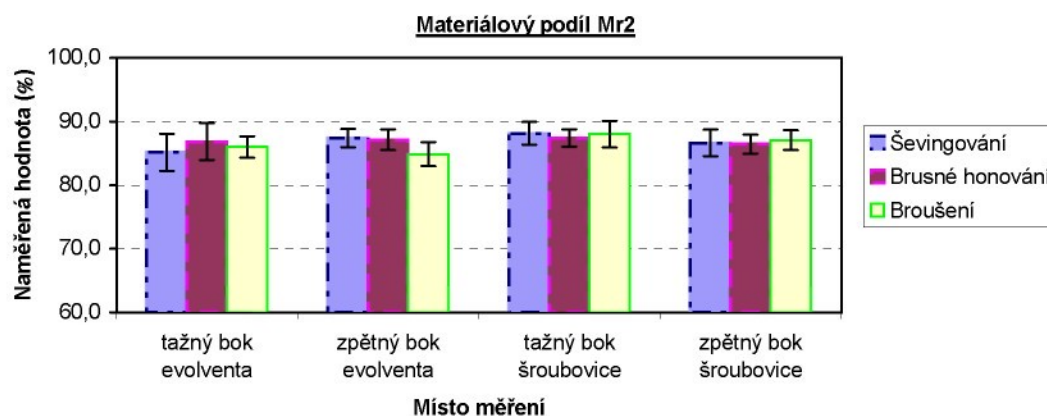
Místo měření	po evolventě		po šroubovici	
	tažný bok	zpětný bok	tažný bok	zpětný bok
Ševingování	6,4 ± 1,55	6,6 ± 1,33	7,9 ± 0,88	6,8 ± 1,34
Brusné honování	7,7 ± 1,28	7,1 ± 1,51	7,2 ± 1,10	7,6 ± 1,42
Broušení	8,0 ± 1,24	7,7 ± 1,68	7,3 ± 1,62	6,7 ± 1,13



Obr. 56 Souhrnné hodnoty parametru Mr1

Materiálový podíl Mr2 (%) - průměrná hodnota

Místo měření	po evolventě		po šroubovici	
	tažný bok	zpětný bok	tažný bok	zpětný bok
Ševingování	85,2 ± 2,90	87,4 ± 1,43	88,1 ± 1,78	86,6 ± 2,11
Brusné honování	86,8 ± 2,91	87,1 ± 1,63	87,4 ± 1,37	86,5 ± 1,48
Broušení	86,0 ± 1,70	84,9 ± 1,88	88,0 ± 2,09	87,1 ± 1,58



Obr. 57 Souhrnné hodnoty parametru Mr2

tažný bok
evolventa

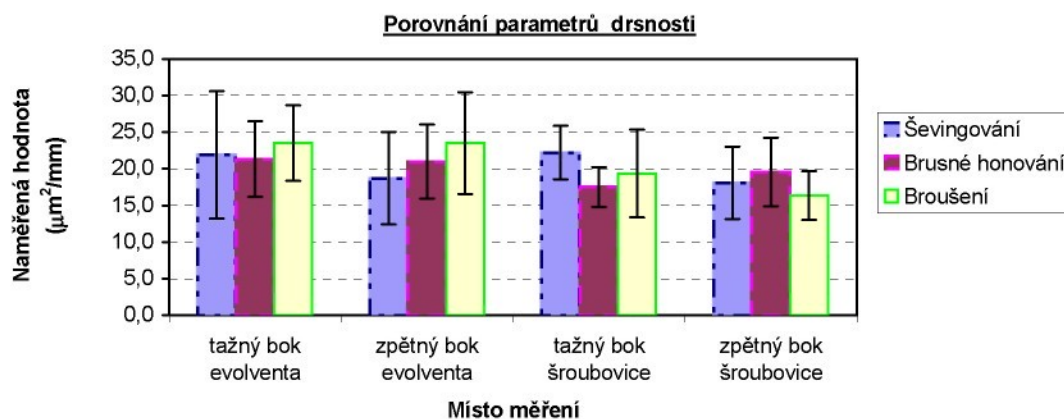
zpetný bok
evolventa

tažný bok
šroubovice

zpetný bok
šroubovice

Plocha výstupků A1 ($\mu\text{m}^2/\text{mm}$) - průměrná hodnota

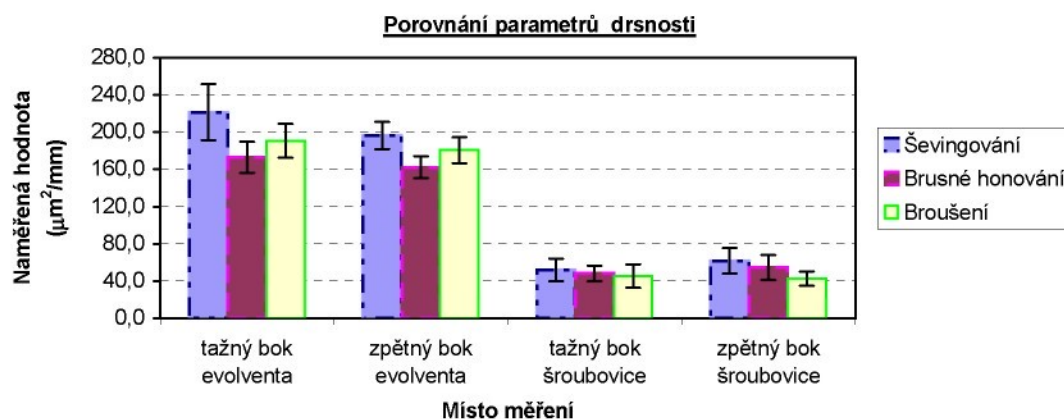
Místo měření	po evolventě		po šroubovici	
	tažný bok	zpětný bok	tažný bok	zpětný bok
Ševingování	21,9 ± 8,70	18,7 ± 6,32	22,2 ± 3,65	18,1 ± 4,93
Brusné honování	21,3 ± 5,16	21,0 ± 5,05	17,5 ± 2,71	19,6 ± 4,67
Broušení	23,5 ± 5,14	23,5 ± 6,95	19,4 ± 5,99	16,4 ± 3,32



Obr. 58 Souhrnné hodnoty parametru A1

Plocha prohlubní A2 ($\mu\text{m}^2/\text{mm}$) - průměrná hodnota

Místo měření	po evolventě		po šroubovici	
	tažný bok	zpětný bok	tažný bok	zpětný bok
Ševingování	221,6 ± 30,06	196,6 ± 14,67	51,8 ± 12,26	61,7 ± 13,73
Brusné honování	173,1 ± 16,64	162,3 ± 11,93	48,1 ± 8,47	54,4 ± 13,54
Broušení	190,7 ± 18,26	180,7 ± 14,00	45,2 ± 12,51	42,6 ± 7,75



Obr. 59 Souhrnné hodnoty parametru A2

tažný bok
evolventa

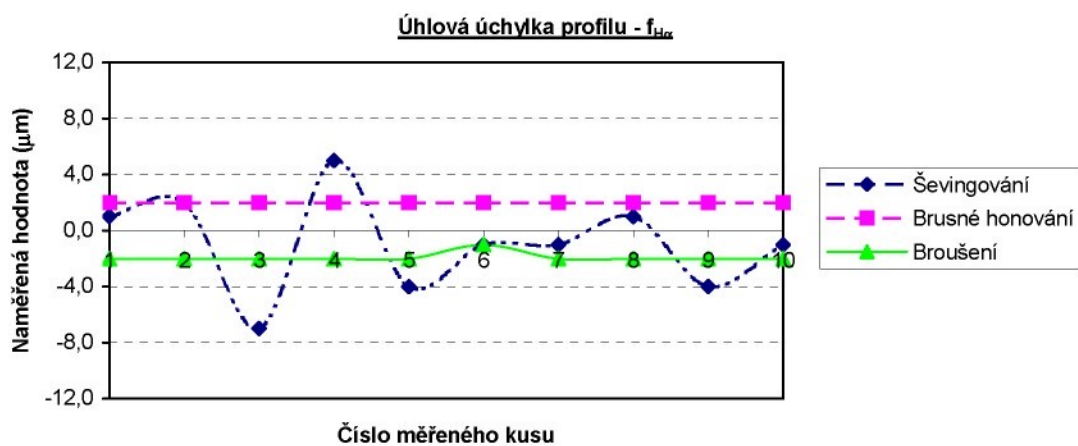
zpetný bok
evolventa

tažný bok
šroubovice

zpetný bok
šroubovice

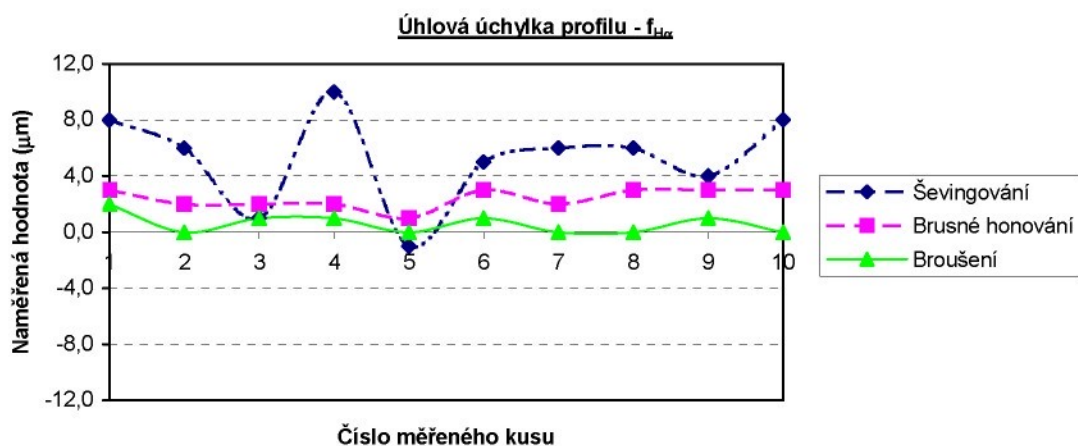
Úhlová úchylka profilu - $f_{H\alpha}$ (μm) - tažný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	1,0	2,0	-7,0	5,0	-4,0	-1,0	-1,0	1,0	-4,0	-1,0	-0,90	$\pm 2,599$
Brusné honování	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,00	$\pm 0,000$
Broušení	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,90	$\pm 0,238$



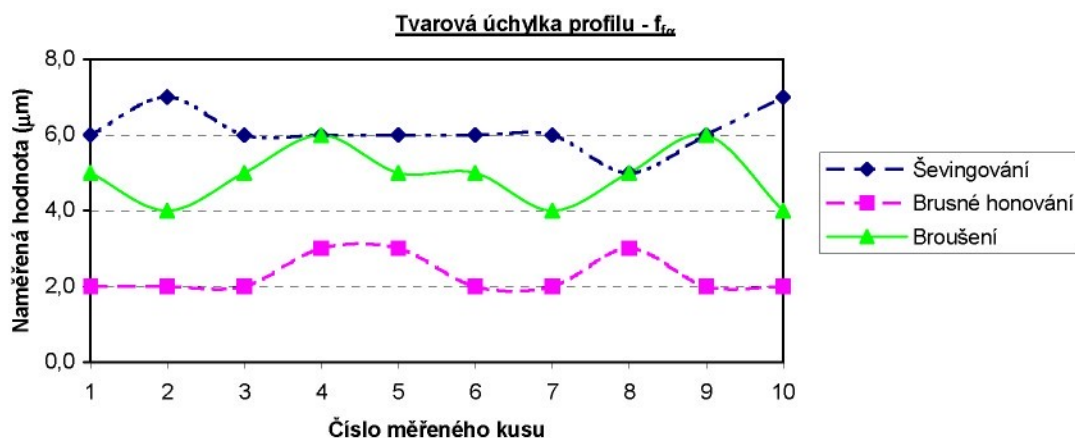
Úhlová úchylka profilu - $f_{H\alpha}$ (μm) - zpětný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	8,0	6,0	1,0	10,0	-1,0	5,0	6,0	6,0	4,0	8,0	5,30	$\pm 2,490$
Brusné honování	3,0	2,0	2,0	2,0	1,0	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,40	$\pm 0,527$
Broušení	2,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,60	$\pm 0,527$



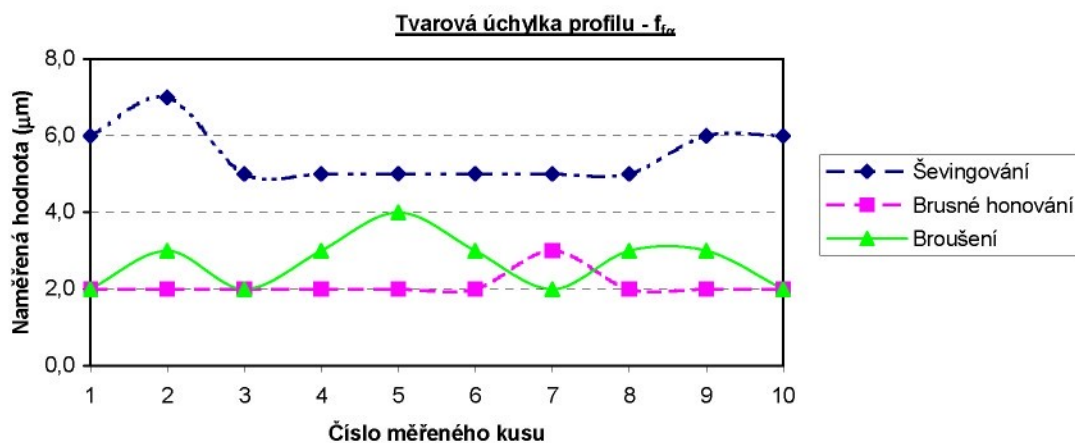
Tvarová úchylka profilu - $f_{f\alpha}$ (μm) - tažný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	6,0	7,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	6,0	7,0	6,10	$\pm 0,428$
Brusné honování	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,30	$\pm 0,364$
Broušení	5,0	4,0	5,0	6,0	5,0	5,0	4,0	5,0	6,0	4,0	4,90	$\pm 0,556$



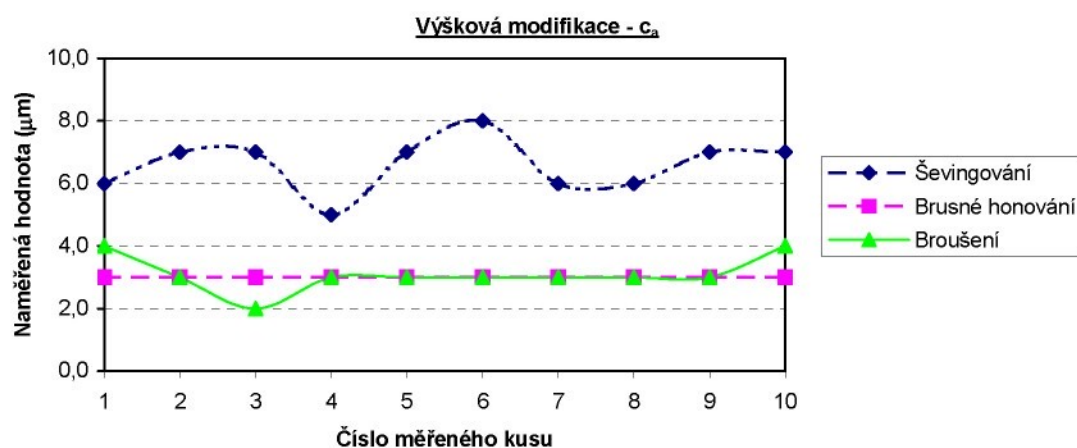
Tvarová úchylka profilu - $f_{f\alpha}$ (μm) - zpětný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	6,0	7,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	5,50	$\pm 0,533$
Brusné honování	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,10	$\pm 0,238$
Broušení	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0	2,70	$\pm 0,509$



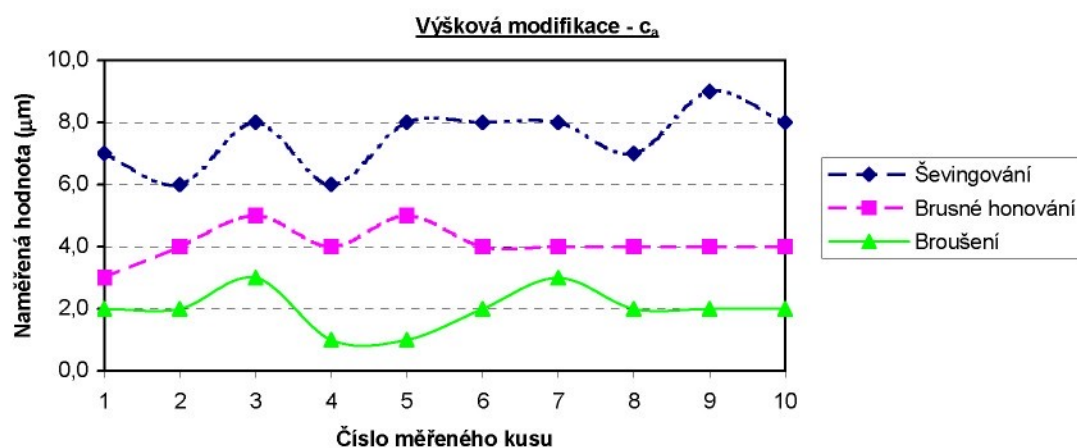
Výšková modifikace - c_a (μm) - tažný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	6,0	7,0	7,0	5,0	7,0	8,0	6,0	6,0	7,0	7,0	6,60	$\pm 0,636$
Brusné honování	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,00	$\pm 0,000$
Broušení	4,0	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	3,10	$\pm 0,428$



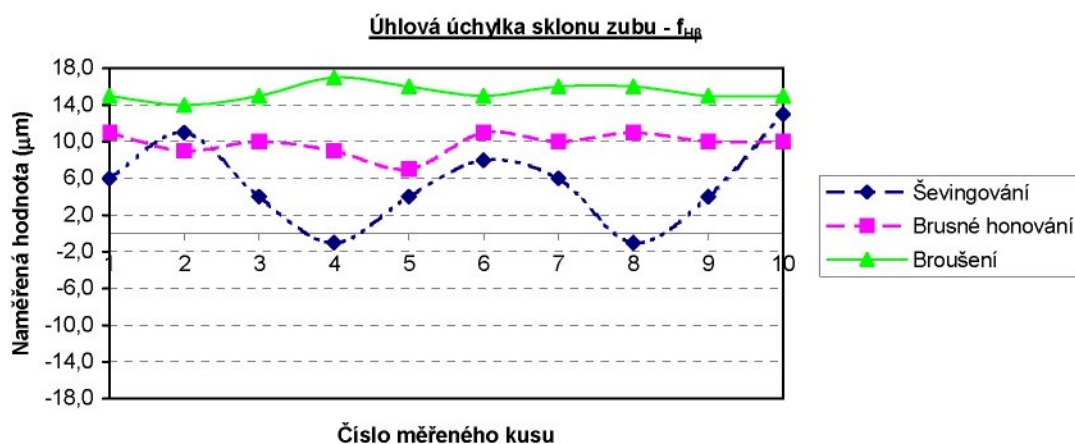
Výšková modifikace - c_a (μm) - zpětný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	7,0	6,0	8,0	6,0	8,0	8,0	8,0	7,0	9,0	8,0	7,50	$\pm 0,733$
Brusné honování	3,0	4,0	5,0	4,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,10	$\pm 0,428$
Broušení	2,0	2,0	3,0	1,0	1,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,00	$\pm 0,503$



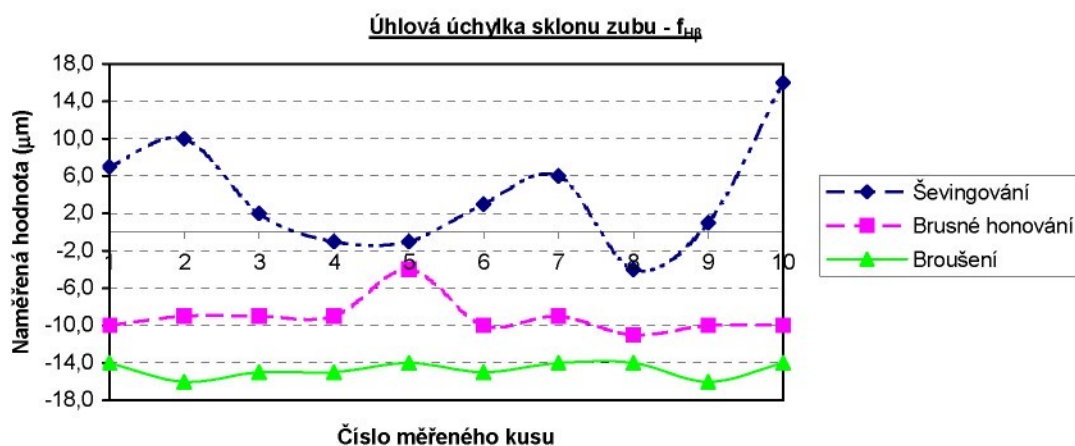
Úhlová úchylka sklonu zubu - f_{HB} (μm) - tažný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	6,0	11,0	4,0	-1,0	4,0	8,0	6,0	-1,0	4,0	13,0	5,40	$\pm 3,413$
Brusné honování	11,0	9,0	10,0	9,0	7,0	11,0	10,0	11,0	10,0	10,0	9,80	$\pm 0,927$
Broušení	15,0	14,0	15,0	17,0	16,0	15,0	16,0	16,0	15,0	15,0	15,40	$\pm 0,636$



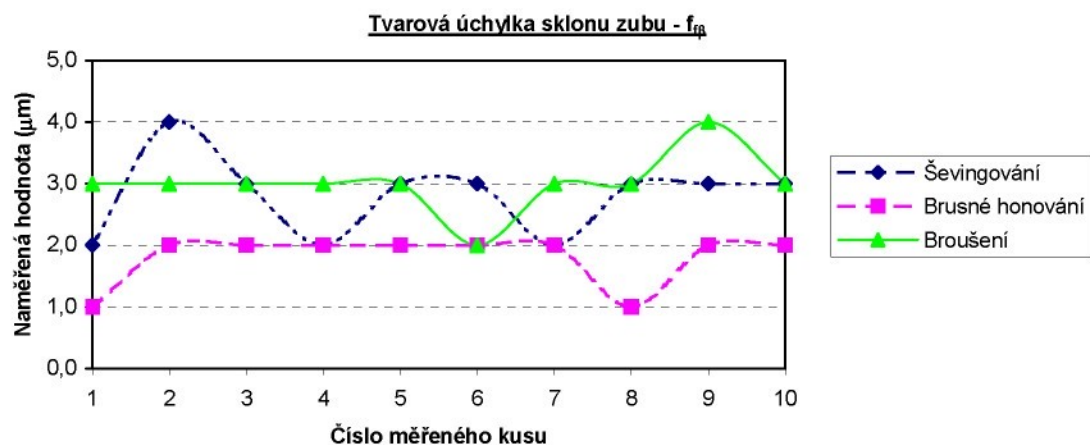
Úhlová úchylka sklonu zubu - f_{HB} (μm) - zpětný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	7,0	10,0	2,0	-1,0	-1,0	3,0	6,0	-4,0	1,0	16,0	3,90	$\pm 4,503$
Brusné honování	-10,0	-9,0	-9,0	-9,0	-4,0	-10,0	-9,0	-11,0	-10,0	-10,0	-9,10	$\pm 1,442$
Broušení	-14,0	-16,0	-15,0	-15,0	-14,0	-15,0	-14,0	-14,0	-16,0	-14,0	-14,70	$\pm 0,621$



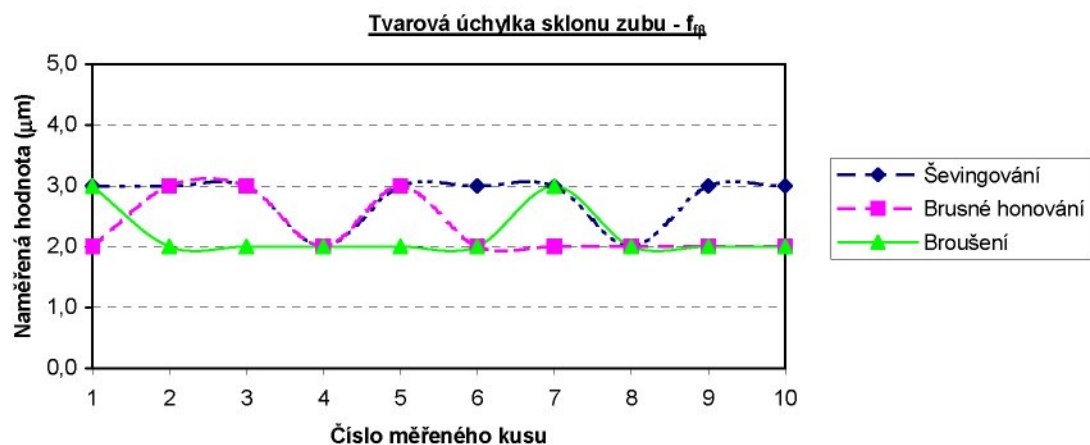
Tvarová úchylka sklonu zubu - f_{β} (μm) - tažný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	2,0	4,0	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,80	$\pm 0,477$
Brusné honování	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	1,80	$\pm 0,318$
Broušení	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,00	$\pm 0,355$



Tvarová úchylka sklonu zubu - f_{β} (μm) - zpětný bok

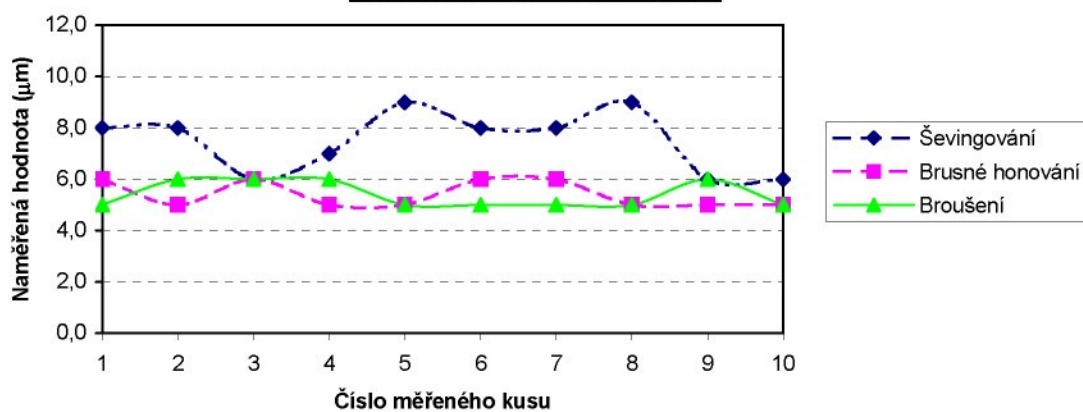
Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	2,80	$\pm 0,318$
Brusné honování	2,0	3,0	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,30	$\pm 0,364$
Broušení	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,20	$\pm 0,318$



Podélná modifikace - c_b (μm) - tažný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	8,0	8,0	6,0	7,0	9,0	8,0	8,0	9,0	6,0	6,0	7,50	$\pm 0,889$
Brusné honování	6,0	5,0	6,0	5,0	5,0	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0	5,40	$\pm 0,389$
Broušení	5,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0	5,0	5,40	$\pm 0,389$

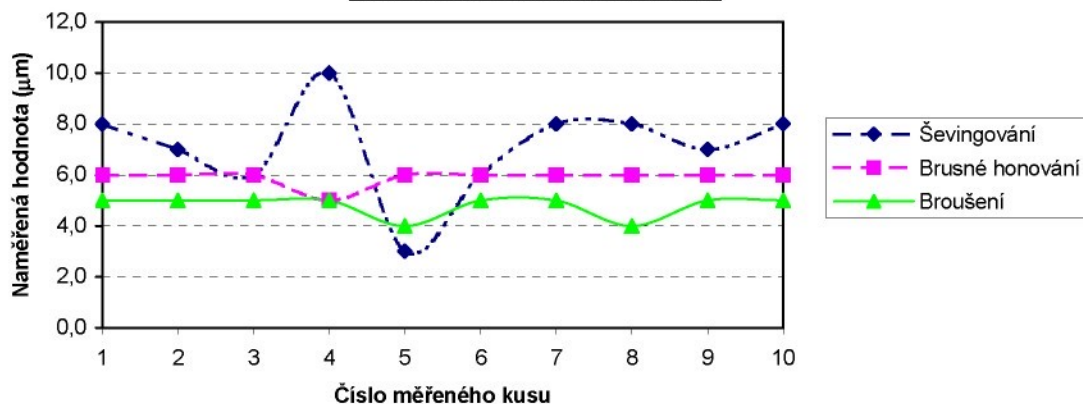
Podélná modifikace boční křivky - c_b



Podélná modifikace - c_b (μm) - zpětný bok

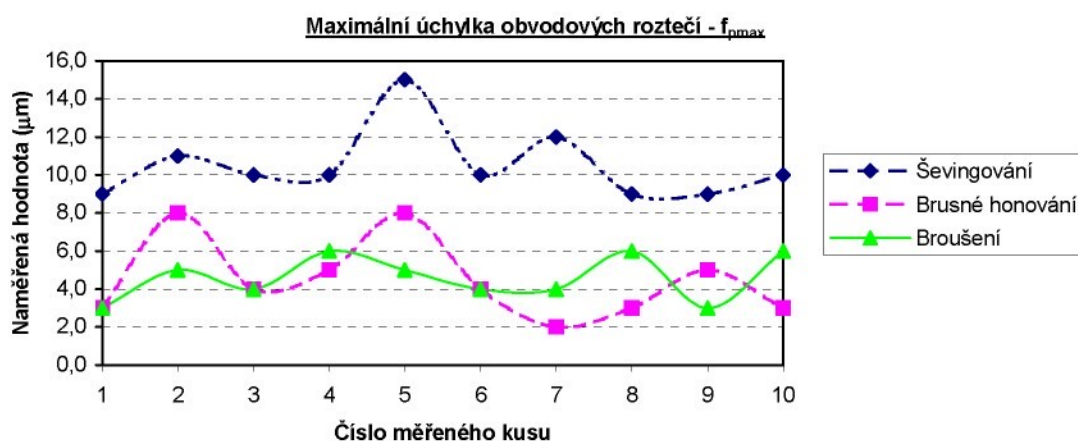
Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	8,0	7,0	6,0	10,0	3,0	6,0	8,0	8,0	7,0	8,0	7,10	$\pm 1,397$
Brusné honování	6,0	6,0	6,0	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,90	$\pm 0,238$
Broušení	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0	4,80	$\pm 0,318$

Podélná modifikace boční křivky - c_b



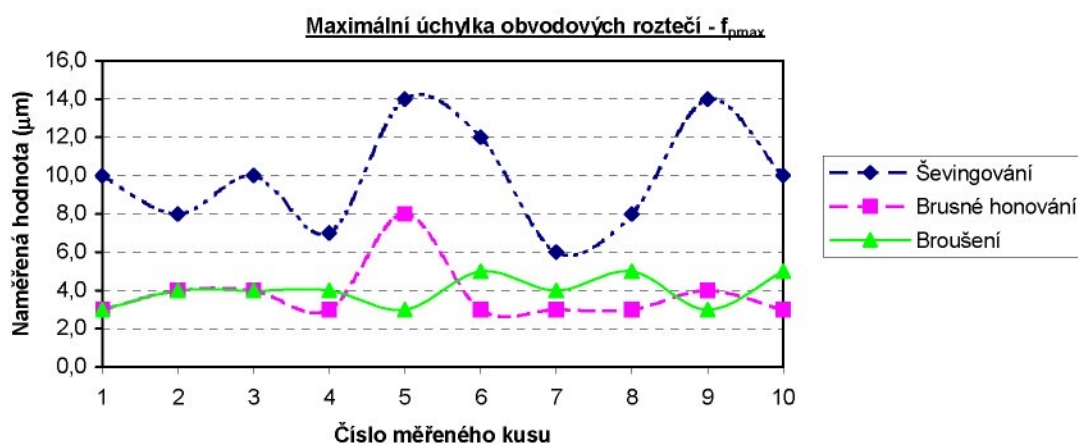
Maximální úchylka obvodových roztečí - f_{pmax} (μm) - tažný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	9,0	11,0	10,0	10,0	15,0	10,0	12,0	9,0	9,0	10,0	10,50	$\pm 1,388$
Brusné honování	3,0	8,0	4,0	5,0	8,0	4,0	2,0	3,0	5,0	3,0	4,50	$\pm 1,560$
Broušení	3,0	5,0	4,0	6,0	5,0	4,0	4,0	6,0	3,0	6,0	4,60	$\pm 0,885$



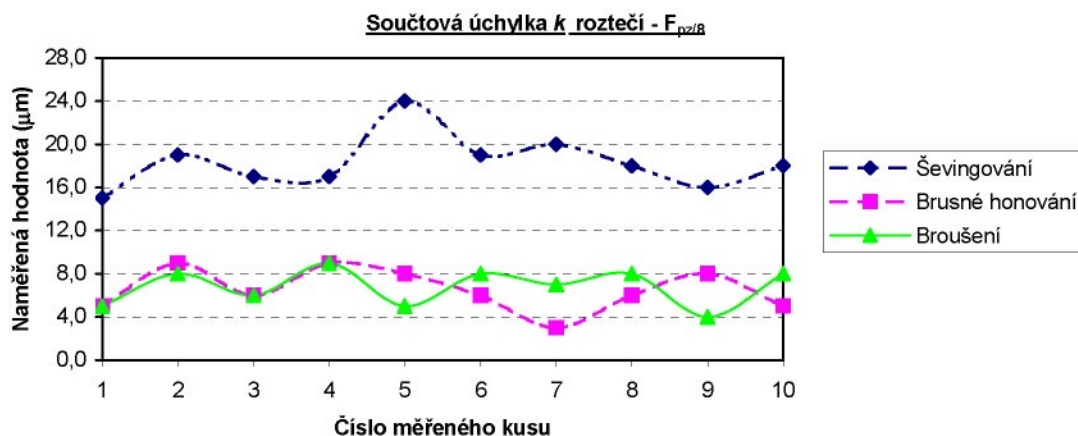
Maximální úchylka obvodových roztečí - f_{pmax} (μm) - zpětný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	10,0	8,0	10,0	7,0	14,0	12,0	6,0	8,0	14,0	10,0	9,90	$\pm 2,086$
Brusné honování	3,0	4,0	4,0	3,0	8,0	3,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,80	$\pm 1,168$
Broušení	3,0	4,0	4,0	4,0	3,0	5,0	4,0	5,0	3,0	5,0	4,00	$\pm 0,616$



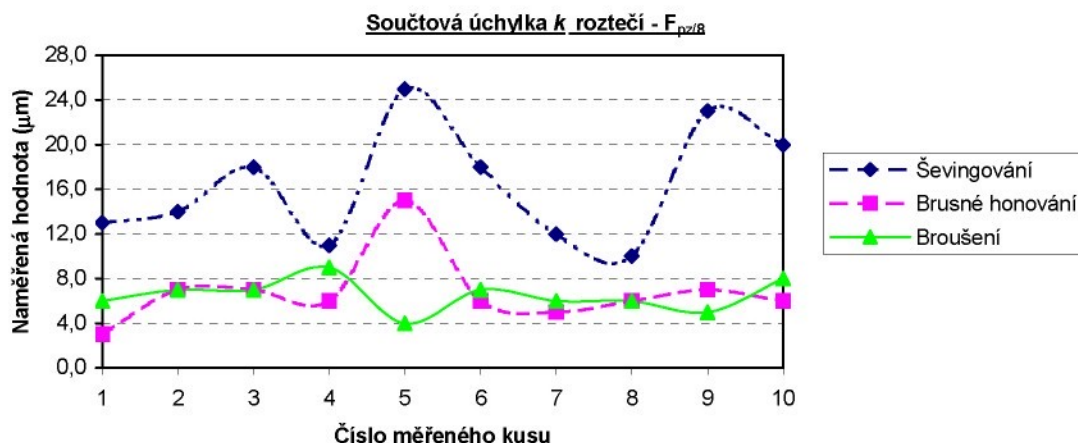
Součtová úchylka k roztečí - $F_{pz/8}$ (μm) - tažný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	15,0	19,0	17,0	17,0	24,0	19,0	20,0	18,0	16,0	18,0	18,30	$\pm 1,883$
Brusné honování	5,0	9,0	6,0	9,0	8,0	6,0	3,0	6,0	8,0	5,0	6,50	$\pm 1,476$
Broušení	5,0	8,0	6,0	9,0	5,0	8,0	7,0	8,0	4,0	8,0	6,80	$\pm 1,272$



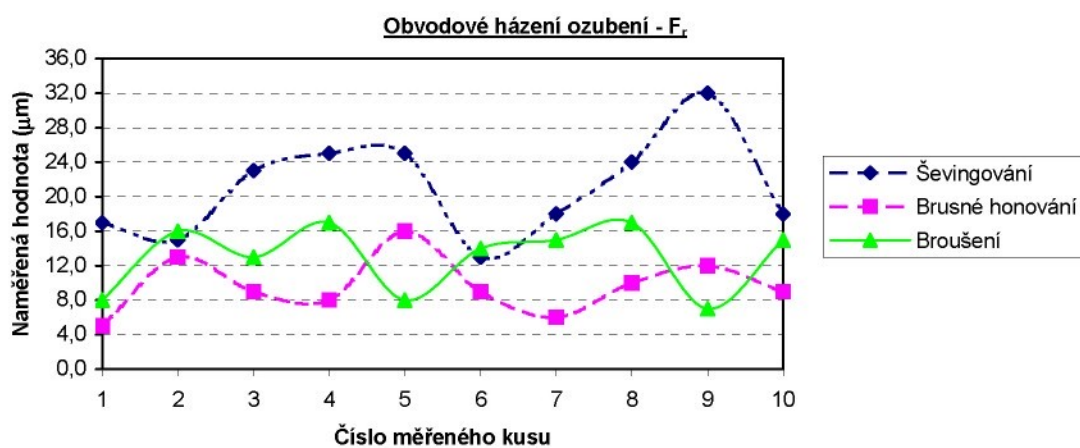
Součtová úchylka k roztečí - $F_{pz/8}$ (μm) - zpětný bok

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	13,0	14,0	18,0	11,0	25,0	18,0	12,0	10,0	23,0	20,0	16,40	$\pm 3,913$
Brusné honování	3,0	7,0	7,0	6,0	15,0	6,0	5,0	6,0	7,0	6,0	6,80	$\pm 2,353$
Broušení	6,0	7,0	7,0	9,0	4,0	7,0	6,0	6,0	5,0	8,0	6,50	$\pm 1,081$



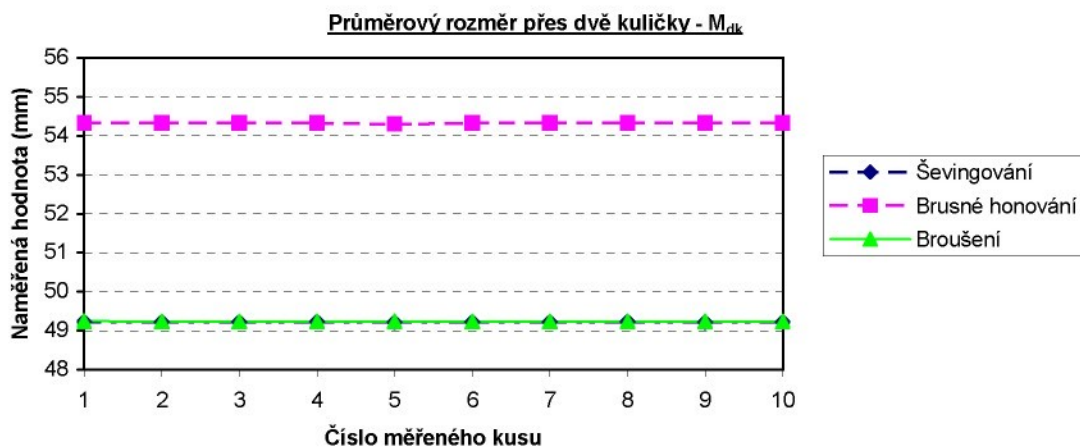
Obvodové házení ozubení - F_r (μm)

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	17,0	15,0	23,0	25,0	25,0	13,0	18,0	24,0	32,0	18,0	21,00	$\pm 4,354$
Brusné honování	5,0	13,0	9,0	8,0	16,0	9,0	6,0	10,0	12,0	9,0	9,70	$\pm 2,464$
Broušení	8,0	16,0	13,0	17,0	8,0	14,0	15,0	17,0	7,0	15,0	13,00	$\pm 2,931$



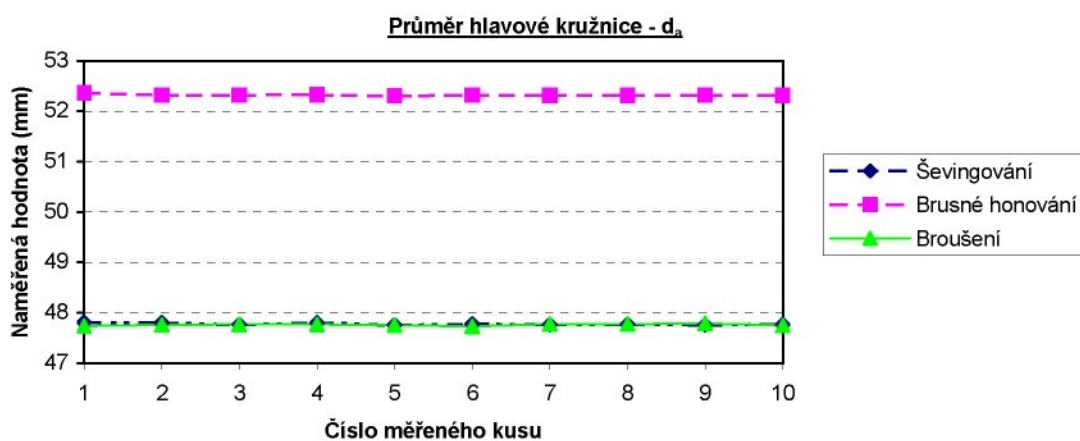
Průměrový rozměr přes dvě kuličky - M_{dk} (mm)

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	49,231	49,231	49,228	49,232	49,223	49,228	49,230	49,229	49,225	49,230	49,229	$\pm 0,002$
Brusné honování	54,327	54,323	54,326	54,323	54,303	54,328	54,326	54,325	54,325	54,328	54,323	$\pm 0,006$
Broušení	49,245	49,242	49,241	49,242	49,240	49,243	49,242	49,238	49,240	49,242	49,242	$\pm 0,001$



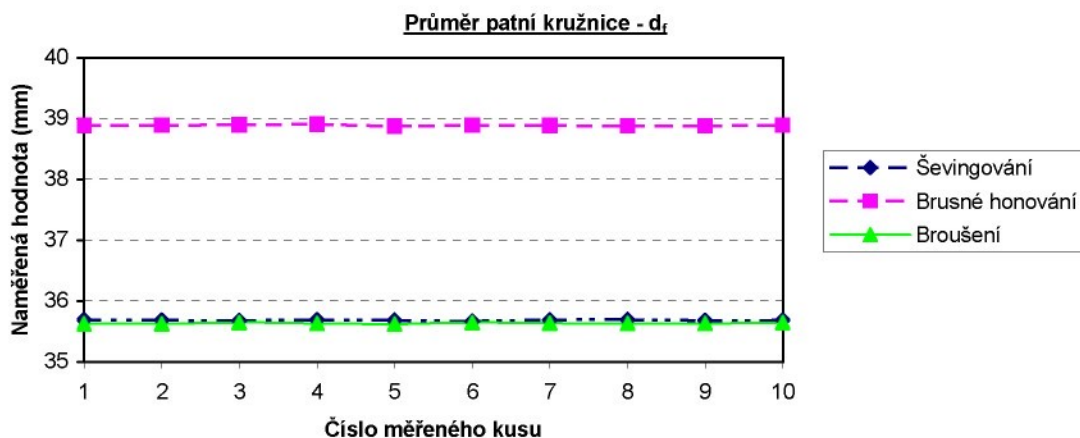
Průměr hlavové kružnice - d_a (mm)

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	47,807	47,800	47,760	47,804	47,757	47,777	47,765	47,767	47,758	47,767	47,776	$\pm 0,015$
Brusné honování	52,367	52,32	52,32	52,327	52,307	52,317	52,315	52,315	52,323	52,312	52,322	$\pm 0,013$
Broušení	47,735	47,762	47,768	47,769	47,754	47,733	47,775	47,775	47,785	47,752	47,761	$\pm 0,013$



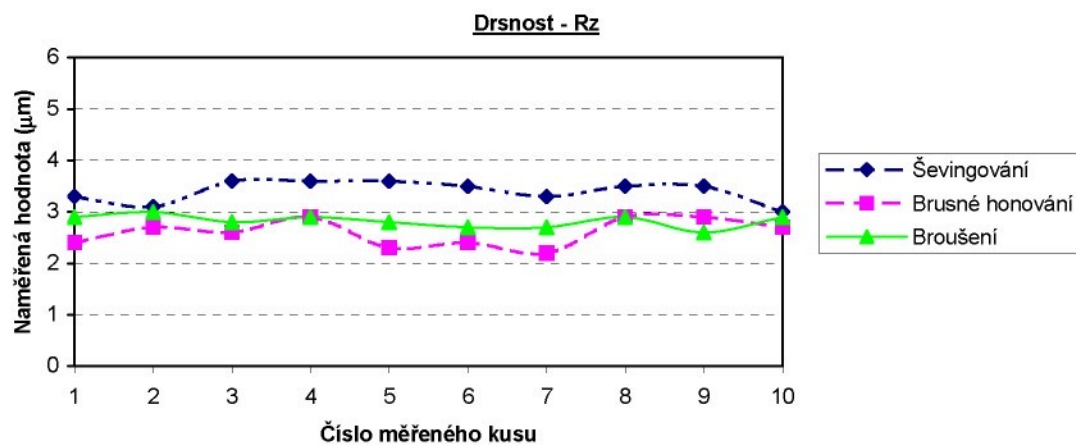
Průměr patní kružnice - d_f (mm)

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	35,691	35,684	35,678	35,688	35,684	35,67	35,692	35,694	35,677	35,682	35,684	$\pm 0,006$
Brusné honování	38,885	38,891	38,894	38,905	38,873	38,888	38,883	38,879	38,88	38,889	38,887	$\pm 0,007$
Broušení	35,628	35,628	35,648	35,63	35,62	35,647	35,637	35,63	35,629	35,645	35,634	$\pm 0,007$



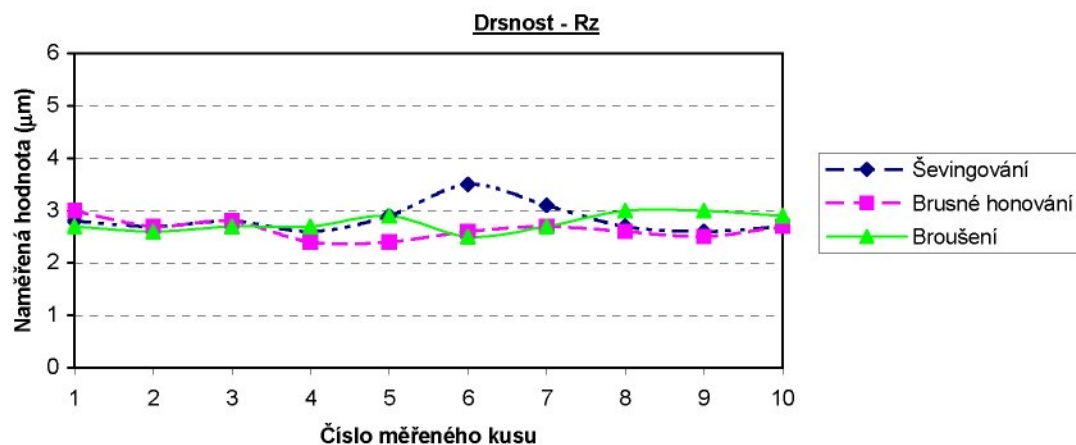
Drsnost Rz (μm) - tažný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	3,3	3,1	3,6	3,6	3,6	3,5	3,3	3,5	3,5	3,0	3,40	$\pm 0,163$
Brusné honování	2,4	2,7	2,6	2,9	2,3	2,4	2,2	2,9	2,9	2,7	2,60	$\pm 0,198$
Broušení	2,9	3,0	2,8	2,9	2,8	2,7	2,7	2,9	2,6	2,9	2,82	$\pm 0,093$



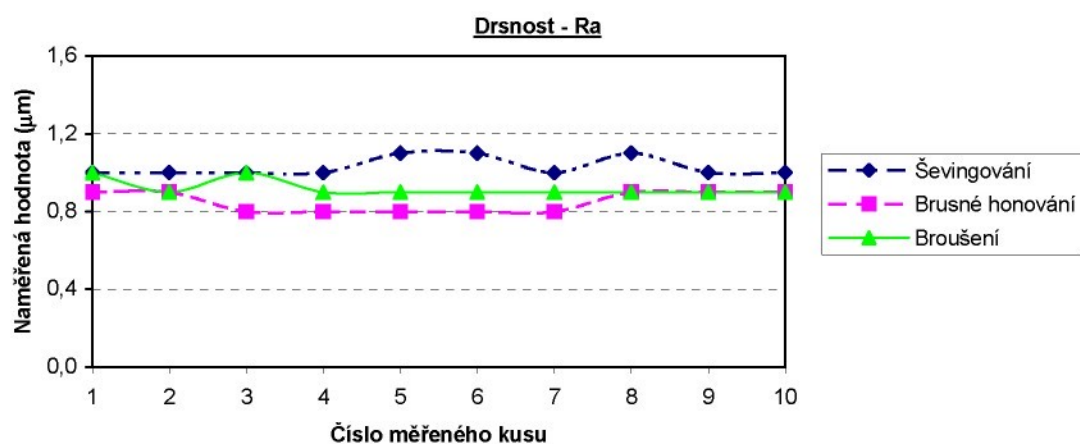
Drsnost Rz (μm) - zpětný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	2,8	2,7	2,8	2,6	2,9	3,5	3,1	2,7	2,6	2,7	2,84	$\pm 0,208$
Brusné honování	3,0	2,7	2,8	2,4	2,4	2,6	2,7	2,6	2,5	2,7	2,64	$\pm 0,139$
Broušení	2,7	2,6	2,7	2,7	2,9	2,5	2,7	3,0	3,0	2,9	2,77	$\pm 0,128$



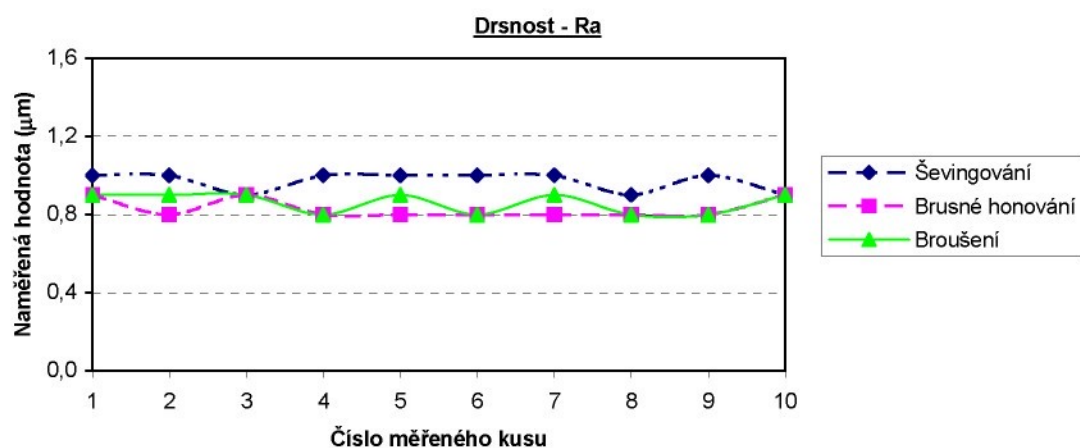
Drsnost Ra (μm) - tažný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	1,03	$\pm 0,036$
Brusné honování	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,85	$\pm 0,040$
Broušení	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,92	$\pm 0,032$



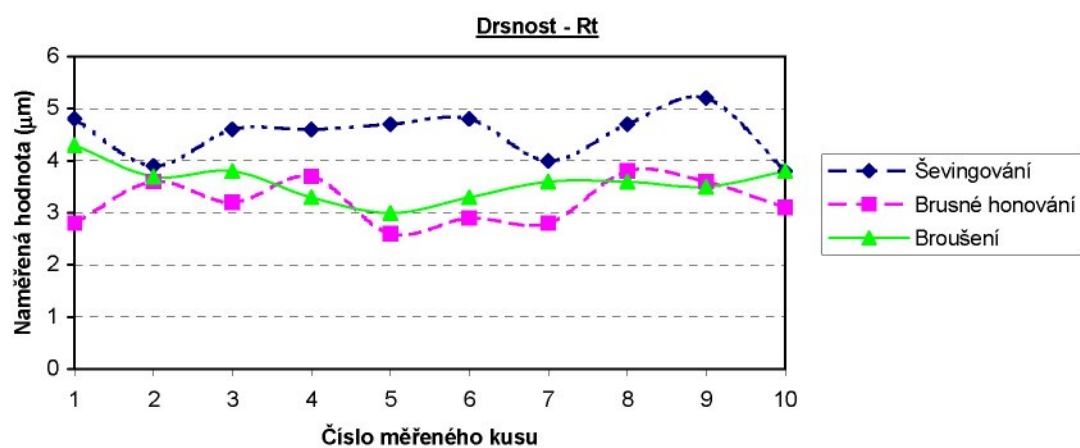
Drsnost Ra (μm) - zpětný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,97	$\pm 0,036$
Brusné honování	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,83	$\pm 0,036$
Broušení	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,86	$\pm 0,039$



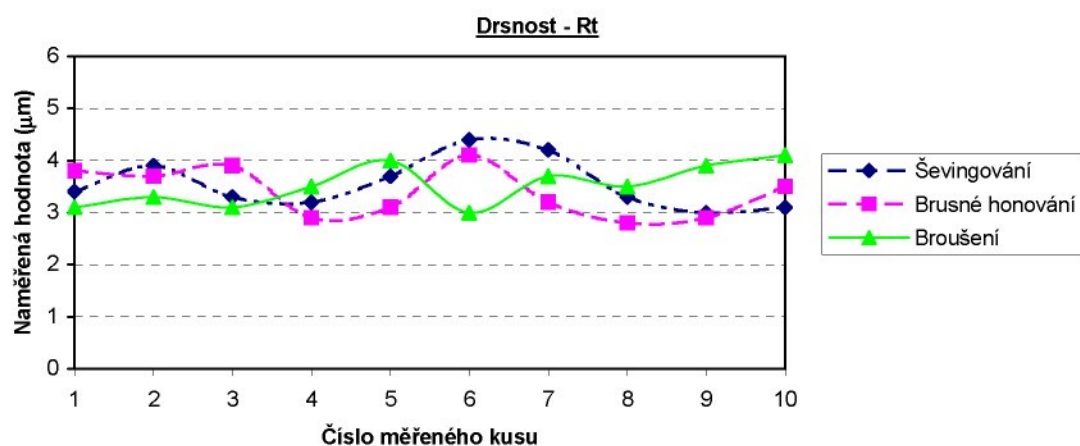
Drsnost Rt (μm) - tažný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	4,8	3,9	4,6	4,6	4,7	4,8	4,0	4,7	5,2	3,8	4,51	$\pm 0,344$
Brusné honování	2,8	3,6	3,2	3,7	2,6	2,9	2,8	3,8	3,6	3,1	3,21	$\pm 0,329$
Broušení	4,3	3,7	3,8	3,3	3,0	3,3	3,6	3,6	3,5	3,8	3,59	$\pm 0,267$



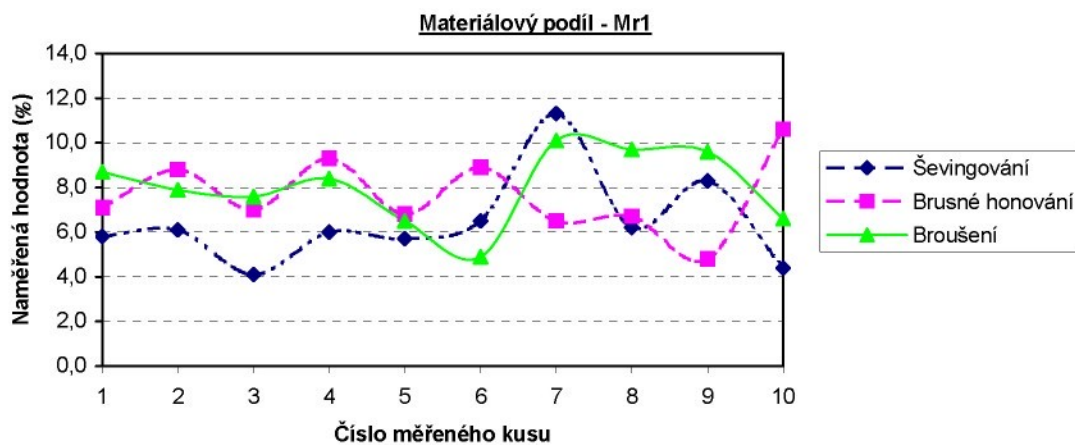
Drsnost Rt (μm) - zpětný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	3,4	3,9	3,3	3,2	3,7	4,4	4,2	3,3	3,0	3,1	3,55	$\pm 0,361$
Brusné honování	3,8	3,7	3,9	2,9	3,1	4,1	3,2	2,8	2,9	3,5	3,39	$\pm 0,354$
Broušení	3,1	3,3	3,1	3,5	4,0	3,0	3,7	3,5	3,9	4,1	3,52	$\pm 0,299$



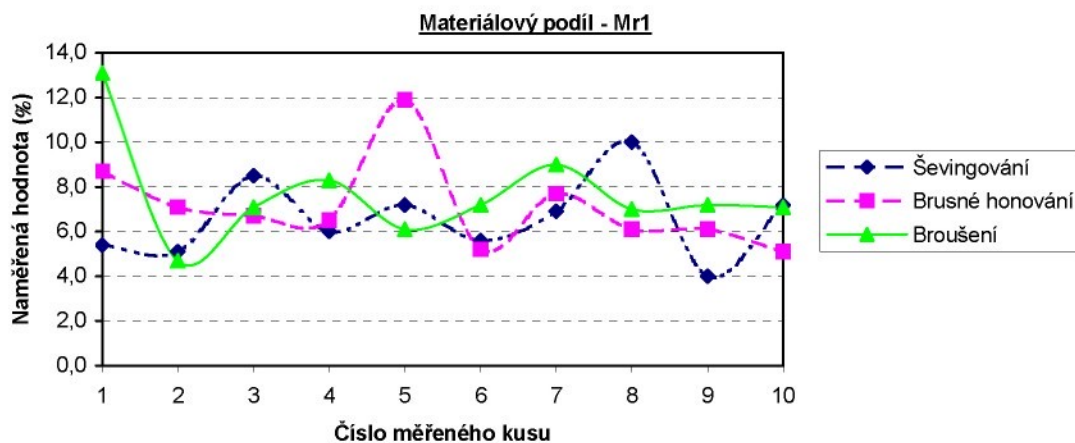
Materiálový podíl Mr1 (%) - tažný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	5,8	6,1	4,1	6,0	5,7	6,5	11,3	6,2	8,3	4,4	6,44	± 1,550
Brusné honování	7,1	8,8	7,0	9,3	6,8	8,9	6,5	6,7	4,8	10,6	7,65	± 1,284
Broušení	8,7	7,9	7,6	8,4	6,5	4,9	10,1	9,7	9,6	6,6	8,00	± 1,244



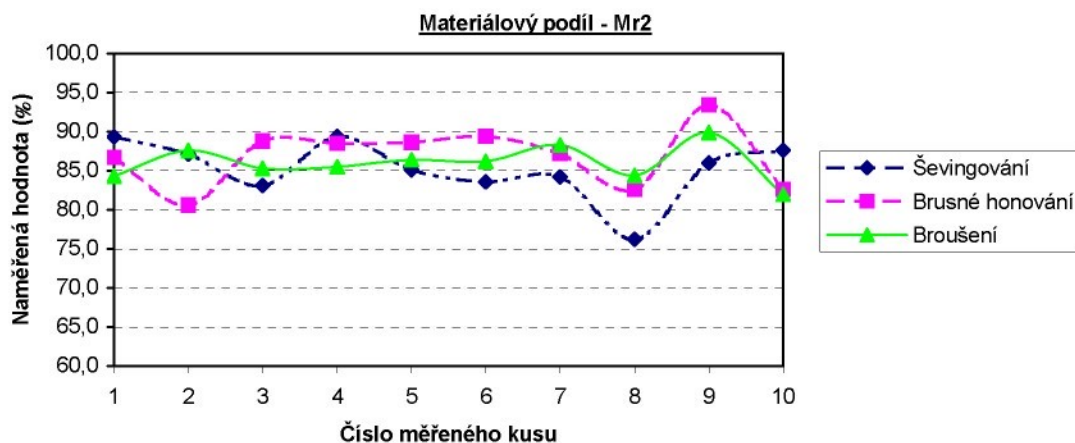
Materiálový podíl Mr1 (%) - zpětný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	5,4	5,1	8,5	6,0	7,2	5,6	6,9	10,0	4,0	7,2	6,59	± 1,325
Brusné honování	8,7	7,1	6,7	6,5	11,9	5,2	7,7	6,1	6,1	5,1	7,11	± 1,510
Broušení	13,1	4,7	7,1	8,3	6,1	7,2	9,0	7,0	7,2	7,1	7,68	± 1,676



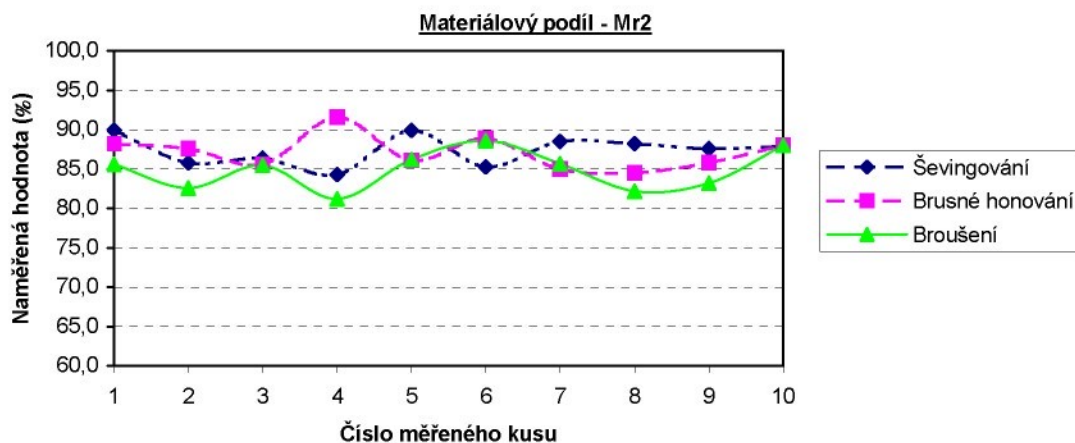
Materiálový podíl Mr2 (%) - tažný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	89,3	87,1	83,1	89,4	85,1	83,6	84,2	76,2	86,0	87,6	85,16	± 2,903
Brusné honování	86,7	80,6	88,8	88,5	88,6	89,4	87,2	82,6	93,4	82,6	86,84	± 2,913
Broušení	84,3	87,6	85,3	85,5	86,4	86,2	88,3	84,4	89,9	82,0	85,99	± 1,695



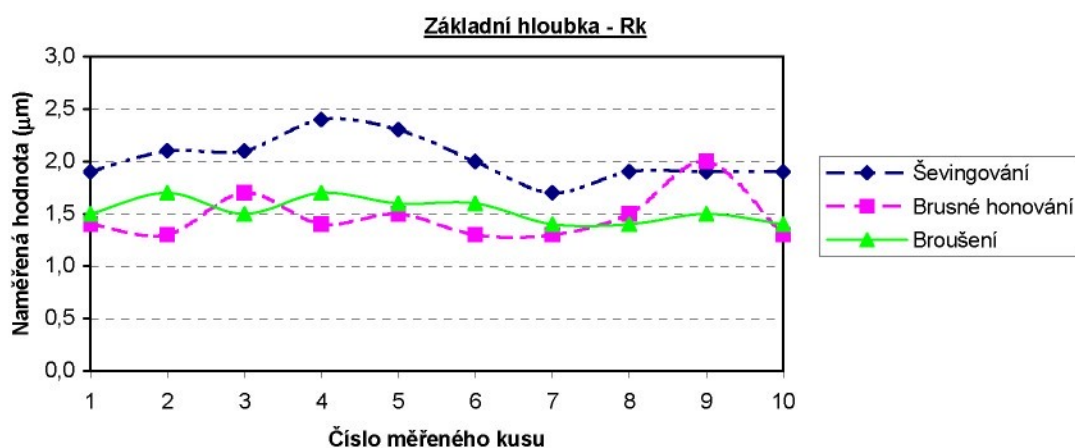
Materiálový podíl Mr2 (%) - zpětný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	89,9	85,8	86,4	84,3	89,9	85,3	88,5	88,2	87,6	87,9	87,38	± 1,427
Brusné honování	88,2	87,6	85,6	91,6	86,1	88,9	85,0	84,5	85,8	88,0	87,13	± 1,626
Broušení	85,6	82,6	85,5	81,2	86,2	88,6	85,7	82,2	83,2	88,0	84,88	± 1,875



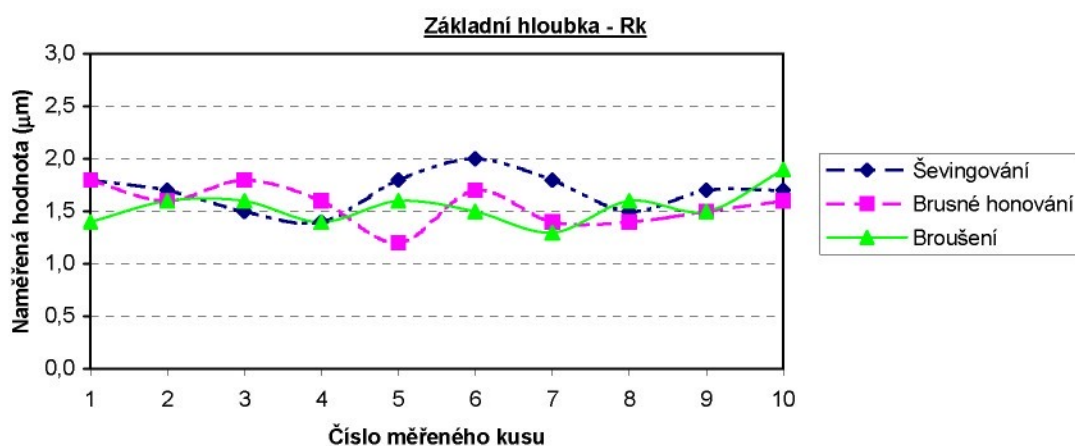
Základní hloubka R_k (μm) - tažný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	1,9	2,1	2,1	2,4	2,3	2,0	1,7	1,9	1,9	1,9	2,02	$\pm 0,158$
Brusné honování	1,4	1,3	1,7	1,4	1,5	1,3	1,3	1,5	2,0	1,3	1,47	$\pm 0,171$
Broušení	1,5	1,7	1,5	1,7	1,6	1,6	1,4	1,4	1,5	1,4	1,53	$\pm 0,087$



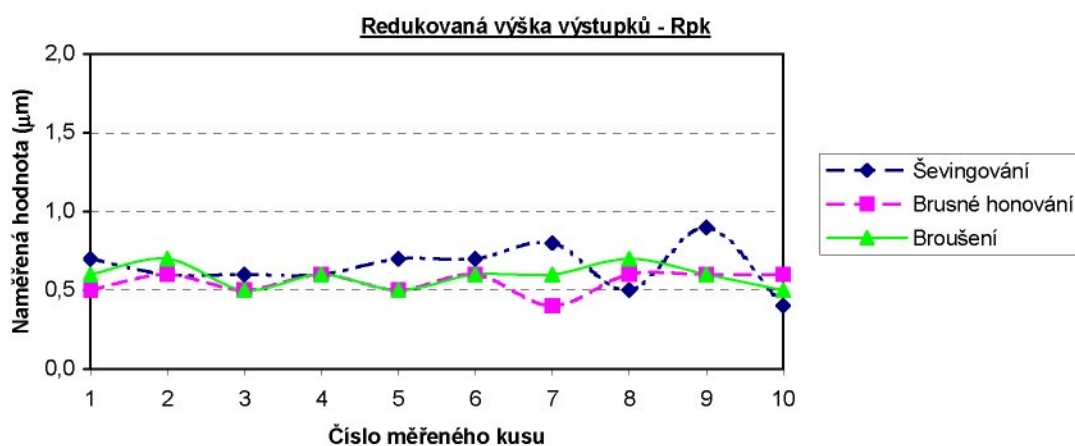
Základní hloubka R_k (μm) - zpětný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	1,8	1,7	1,5	1,4	1,8	2,0	1,8	1,5	1,7	1,7	1,69	$\pm 0,135$
Brusné honování	1,8	1,6	1,8	1,6	1,2	1,7	1,4	1,4	1,5	1,6	1,56	$\pm 0,143$
Broušení	1,4	1,6	1,6	1,4	1,6	1,5	1,3	1,6	1,5	1,9	1,54	$\pm 0,124$



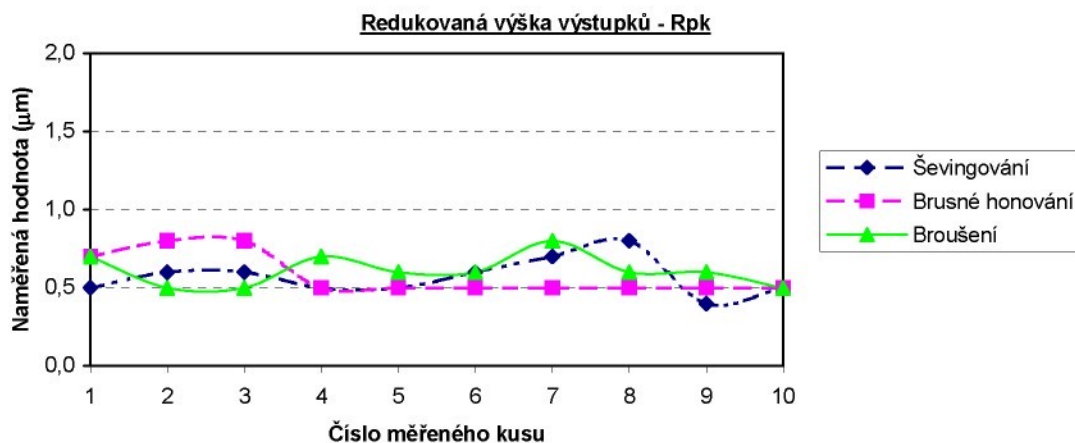
Redukovaná výška výstupků Rpk (μm) - tažný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,5	0,9	0,4	0,65	$\pm 0,108$
Brusné honování	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,6	0,6	0,6	0,55	$\pm 0,053$
Broušení	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,5	0,59	$\pm 0,056$



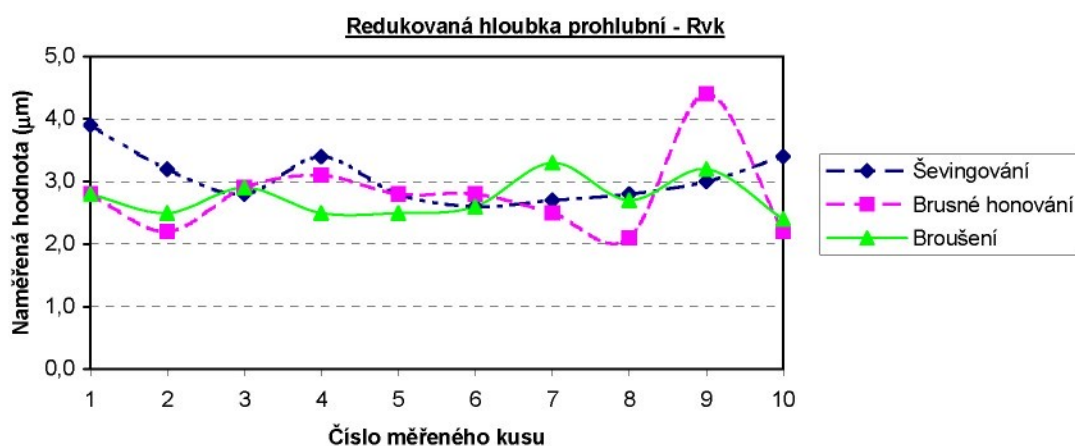
Redukovaná výška výstupků Rpk (μm) - zpětný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,5	0,57	$\pm 0,087$
Brusné honování	0,7	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,58	$\pm 0,099$
Broušení	0,7	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	0,5	0,61	$\pm 0,075$



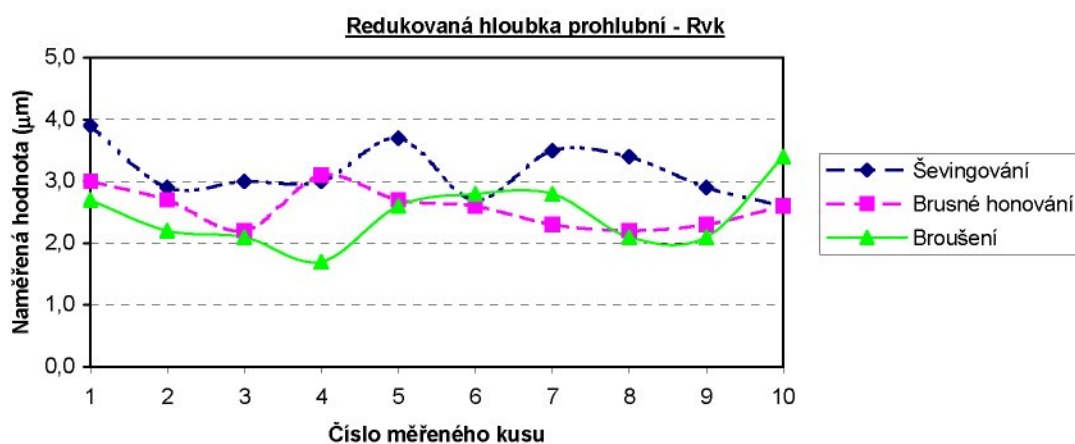
Redukovaná hloubka prohlubní Rvk (μm) - tažný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	3,9	3,2	2,8	3,4	2,8	2,6	2,7	2,8	3,0	3,4	3,06	$\pm 0,308$
Brusné honování	2,8	2,2	2,9	3,1	2,8	2,8	2,5	2,1	4,4	2,2	2,78	$\pm 0,500$
Broušení	2,8	2,5	2,9	2,5	2,5	2,6	3,3	2,7	3,2	2,4	2,74	$\pm 0,234$



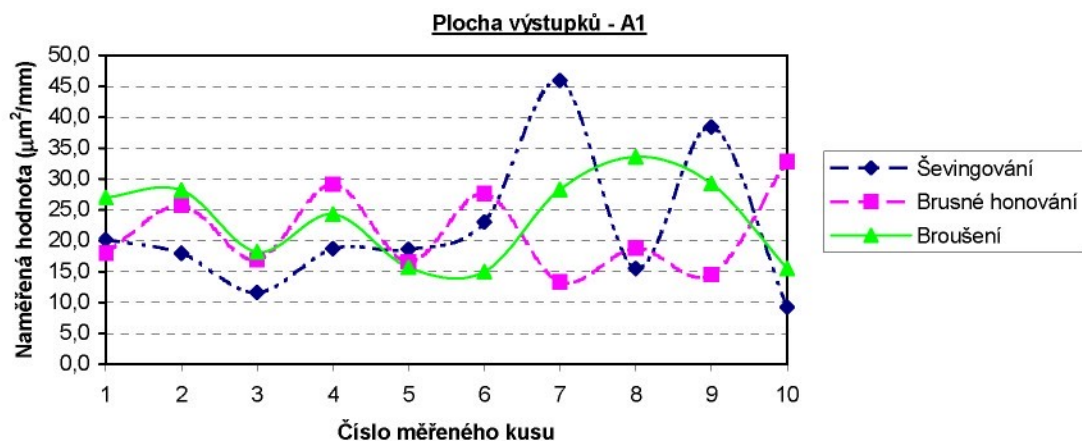
Redukovaná hloubka prohlubní Rvk (μm) - zpětný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	3,9	2,9	3,0	3,0	3,7	2,7	3,5	3,4	2,9	2,6	3,16	$\pm 0,330$
Brusné honování	3,0	2,7	2,2	3,1	2,7	2,6	2,3	2,2	2,3	2,6	2,57	$\pm 0,241$
Broušení	2,7	2,2	2,1	1,7	2,6	2,8	2,8	2,1	2,1	3,4	2,45	$\pm 0,375$



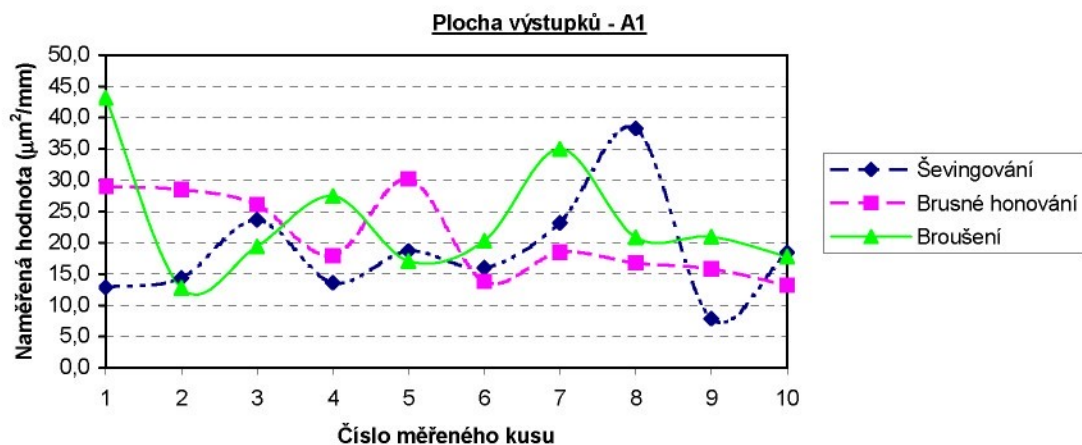
Plocha výstupků A1 ($\mu\text{m}^2/\text{mm}$) - tažný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	20,2	18,0	11,6	18,7	18,6	23,0	45,9	15,5	38,4	9,2	21,91	$\pm 8,696$
Brusné honování	18,0	25,7	16,9	29,1	16,6	27,6	13,3	18,8	14,5	32,8	21,33	$\pm 5,157$
Broušení	27,0	28,2	18,2	24,3	15,7	15,0	28,3	33,6	29,3	15,5	23,51	$\pm 5,144$



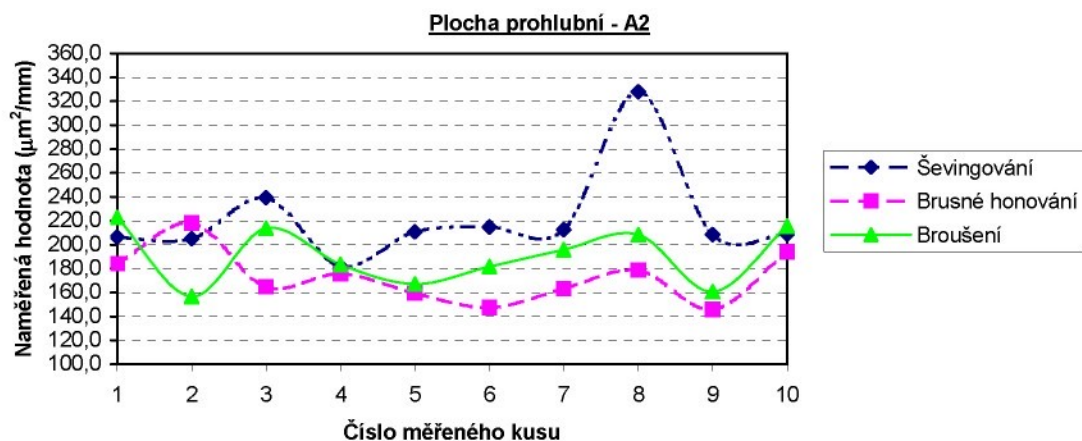
Plocha výstupků A1 ($\mu\text{m}^2/\text{mm}$) - zpětný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	12,9	14,4	23,7	13,6	18,7	16,0	23,2	38,3	7,9	18,4	18,71	$\pm 6,317$
Brusné honování	29,0	28,5	26,1	17,9	30,2	13,8	18,5	16,8	15,8	13,2	20,98	$\pm 5,053$
Broušení	43,2	12,8	19,4	27,5	17,1	20,3	35,0	20,9	21,0	17,8	23,50	$\pm 6,949$



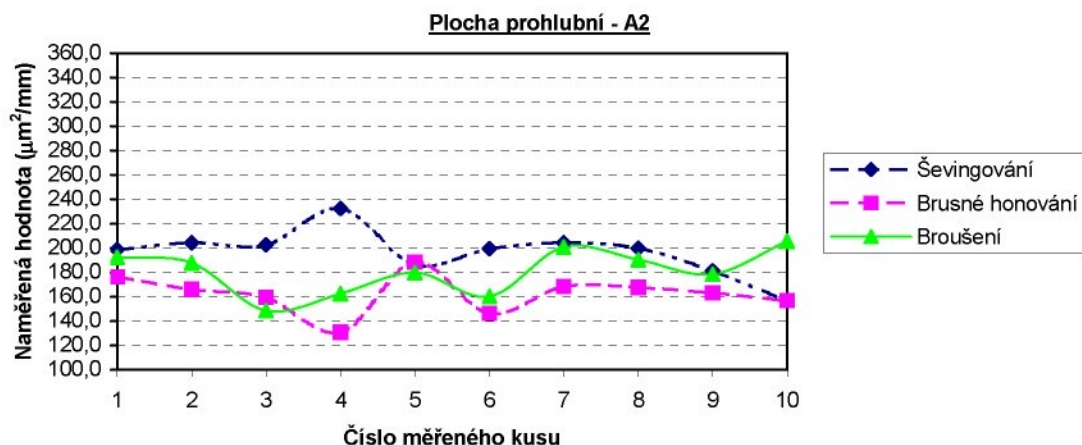
Plocha prohlubní A2 ($\mu\text{m}^2/\text{mm}$) - tažný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	206,3	204,9	239,3	181,9	210,8	215,0	212,4	328,0	208,5	208,9	221,60	$\pm 30,059$
Brusné honování	184,0	218,2	164,7	175,7	159,4	147,3	163,3	178,6	145,9	193,9	173,10	$\pm 16,639$
Broušení	223,0	156,7	213,7	183,5	167,3	181,8	195,9	208,5	160,8	215,8	190,70	$\pm 18,255$



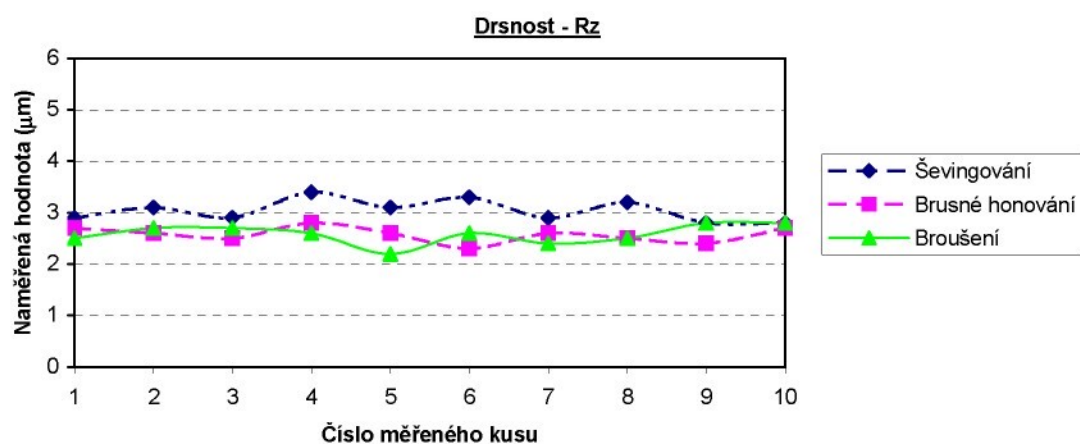
Plocha prohlubní A2 ($\mu\text{m}^2/\text{mm}$) - zpětný bok po evolventě

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	198,7	204,3	202,6	232,6	186,2	199,3	204,4	199,8	181,3	156,7	196,59	$\pm 14,674$
Brusné honování	176,3	166,0	159,4	130,7	188,4	146,2	168,4	167,6	163,0	156,9	162,29	$\pm 11,928$
Broušení	192,6	187,8	148,7	162,5	179,8	160,2	201,0	190,5	178,5	205,6	180,72	$\pm 13,998$



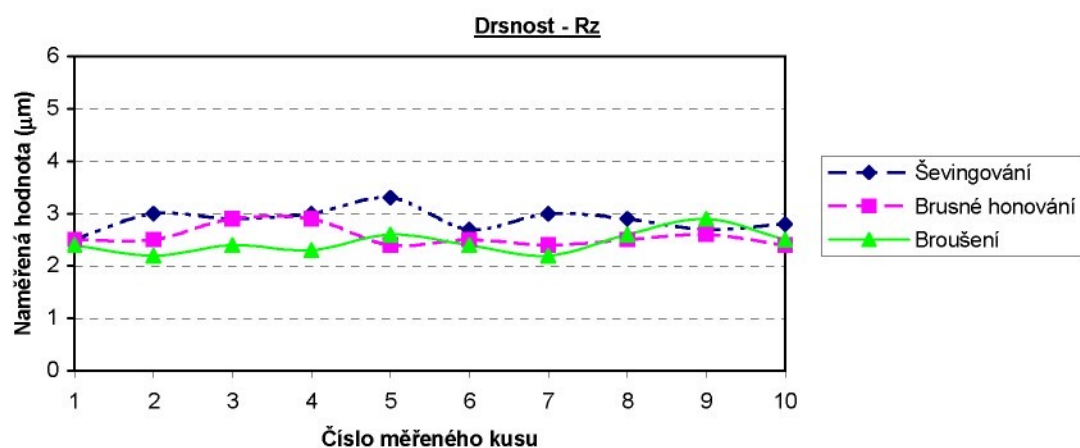
Drsnost Rz (μm) - tažný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	2,9	3,1	2,9	3,4	3,1	3,3	2,9	3,2	2,8	2,8	3,04	$\pm 0,160$
Brusné honování	2,7	2,6	2,5	2,8	2,6	2,3	2,6	2,5	2,4	2,7	2,57	$\pm 0,113$
Broušení	2,5	2,7	2,7	2,6	2,2	2,6	2,4	2,5	2,8	2,8	2,58	$\pm 0,141$



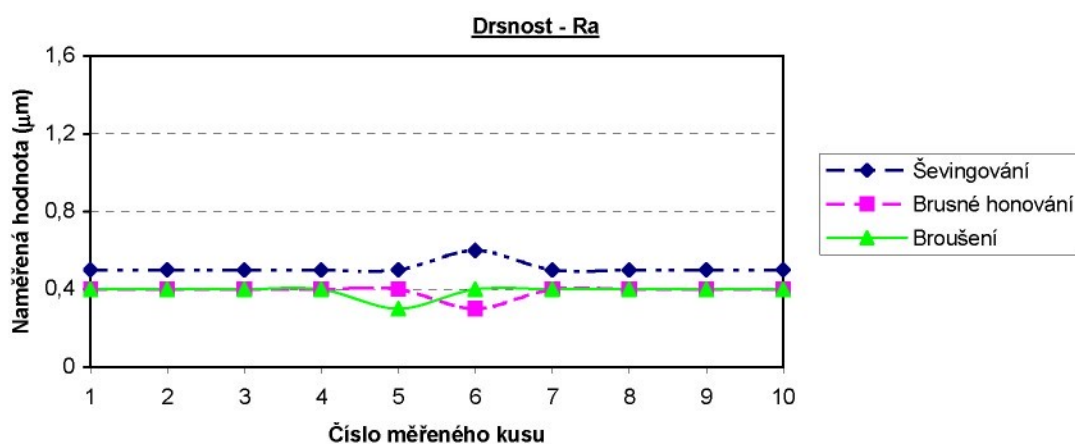
Drsnost Rz (μm) - zpětný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	2,5	3,0	2,9	3,0	3,3	2,7	3,0	2,9	2,7	2,8	2,88	$\pm 0,166$
Brusné honování	2,5	2,5	2,9	2,9	2,4	2,5	2,4	2,5	2,6	2,4	2,56	$\pm 0,143$
Broušení	2,4	2,2	2,4	2,3	2,6	2,4	2,2	2,6	2,9	2,5	2,45	$\pm 0,160$



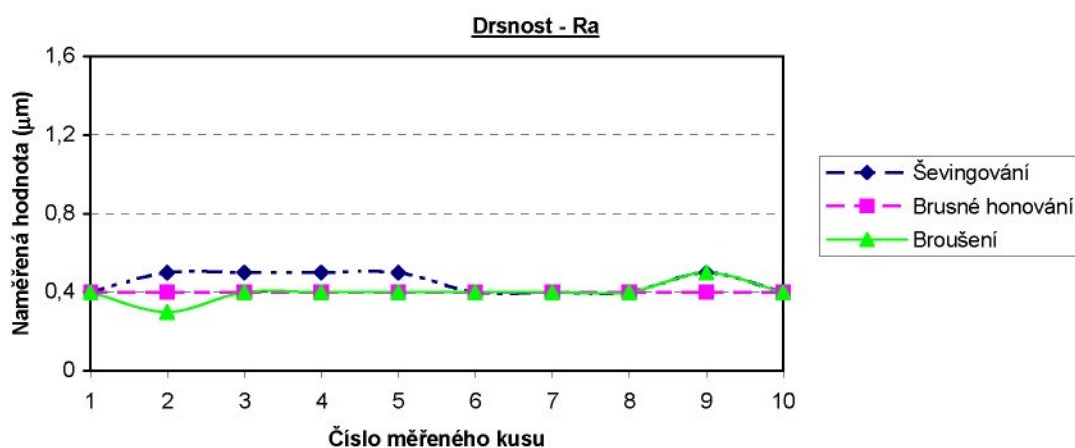
Drsnost Ra (μm) - tažný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,51	$\pm 0,024$
Brusné honování	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,39	$\pm 0,024$
Broušení	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,39	$\pm 0,024$



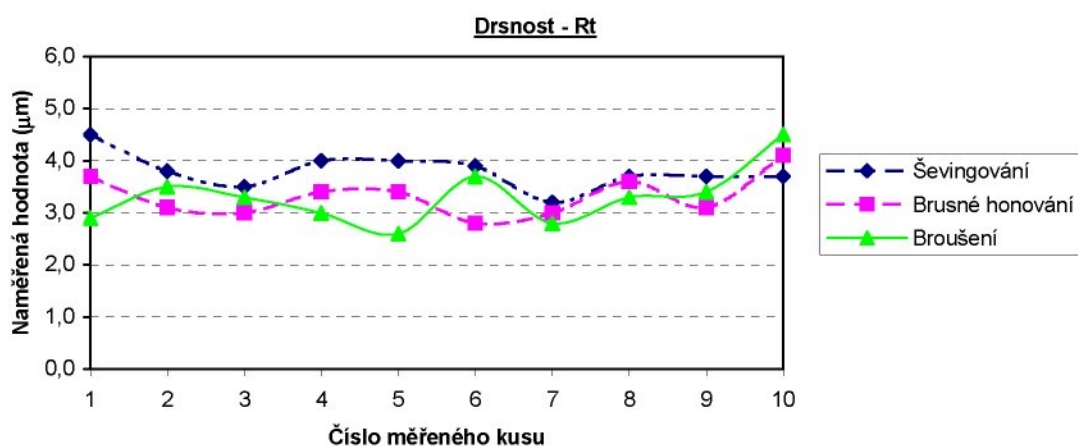
Drsnost Ra (μm) - zpětný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,45	$\pm 0,040$
Brusné honování	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,40	$\pm 0,000$
Broušení	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,40	$\pm 0,036$



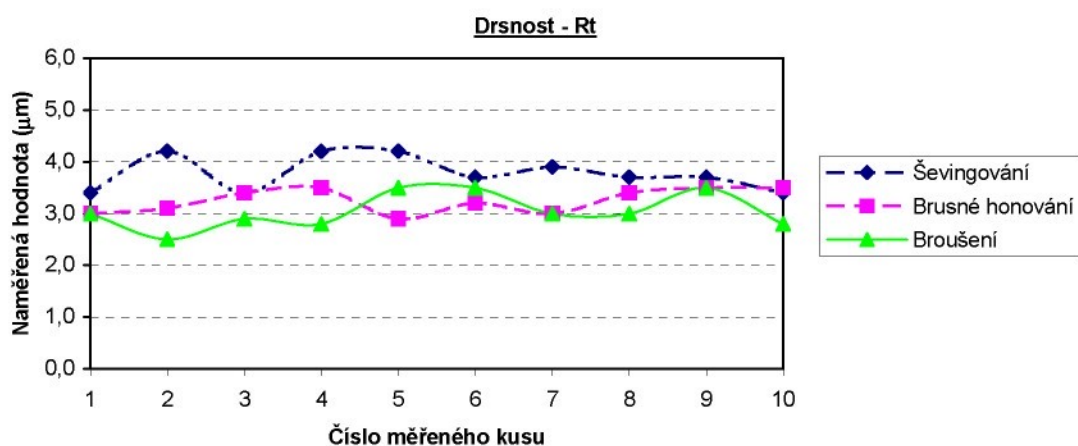
Drsnost Rt (μm) - tažný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	4,5	3,8	3,5	4,0	4,0	3,9	3,2	3,7	3,7	3,7	3,80	$\pm 0,259$
Brusné honování	3,7	3,1	3,0	3,4	3,4	2,8	3,0	3,6	3,1	4,1	3,32	$\pm 0,299$
Broušení	2,9	3,5	3,3	3,0	2,6	3,7	2,8	3,3	3,4	4,5	3,30	$\pm 0,408$



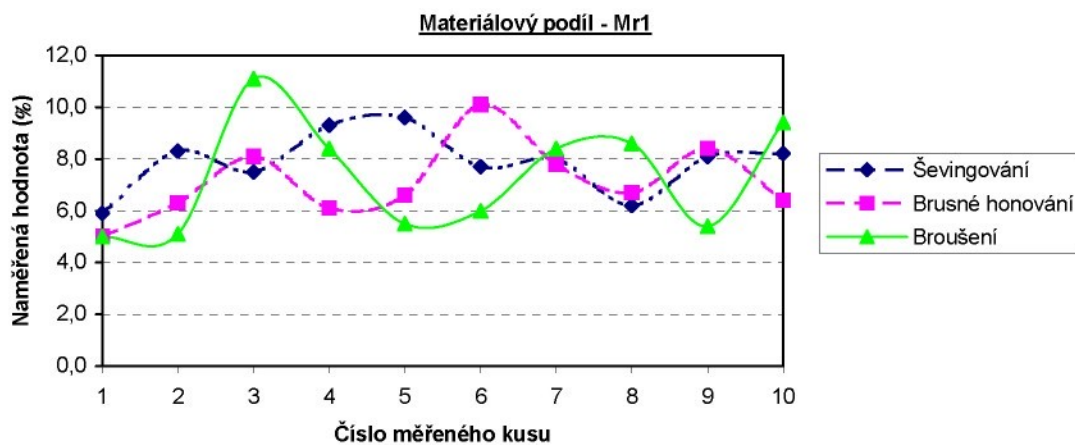
Drsnost Rt (μm) - zpětný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	3,4	4,2	3,4	4,2	4,2	3,7	3,9	3,7	3,7	3,4	3,78	$\pm 0,251$
Brusné honování	3,0	3,1	3,4	3,5	2,9	3,2	3,0	3,4	3,5	3,5	3,25	$\pm 0,179$
Broušení	3,0	2,5	2,9	2,8	3,5	3,5	3,0	3,0	3,5	2,8	3,05	$\pm 0,259$



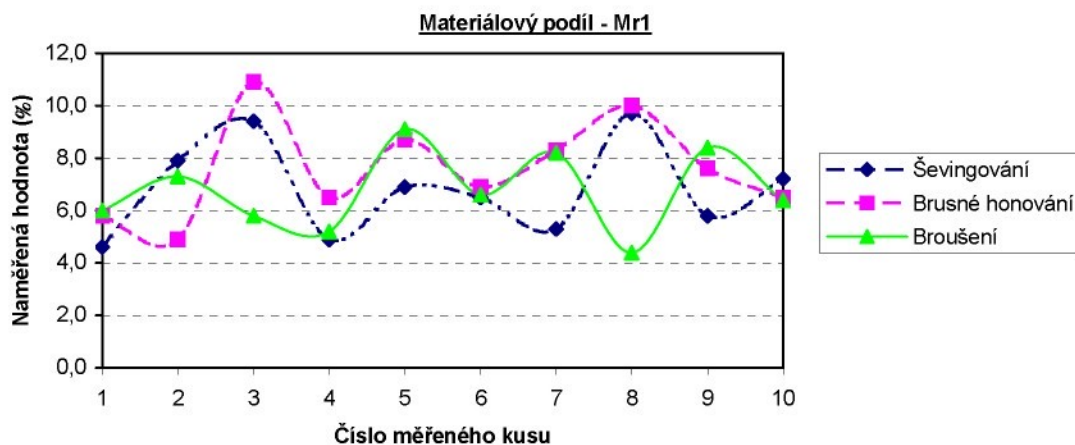
Materiálový podíl Mr1 (%) - tažný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	5,9	8,3	7,5	9,3	9,6	7,7	8,0	6,2	8,1	8,2	7,88	± 0,879
Brusné honování	5,0	6,3	8,1	6,1	6,6	10,1	7,8	6,7	8,4	6,4	7,15	± 1,099
Broušení	5,0	5,1	11,1	8,4	5,5	6,0	8,4	8,6	5,4	9,4	7,29	± 1,622



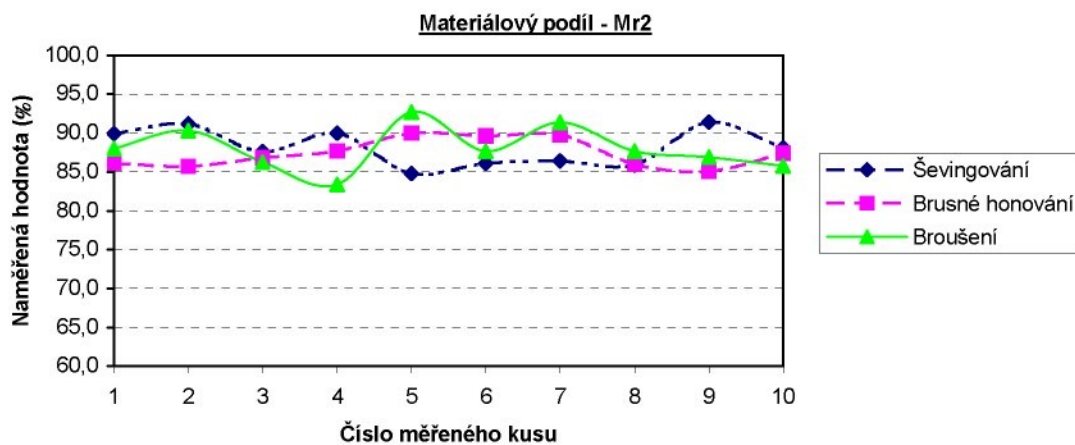
Materiálový podíl Mr1 (%) - zpětný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	4,6	7,9	9,4	4,9	6,9	6,5	5,3	9,7	5,8	7,2	6,82	± 1,338
Brusné honování	5,8	4,9	10,9	6,5	8,7	6,9	8,3	10,0	7,6	6,5	7,61	± 1,417
Broušení	6,0	7,3	5,8	5,2	9,1	6,6	8,2	4,4	8,4	6,4	6,74	± 1,129



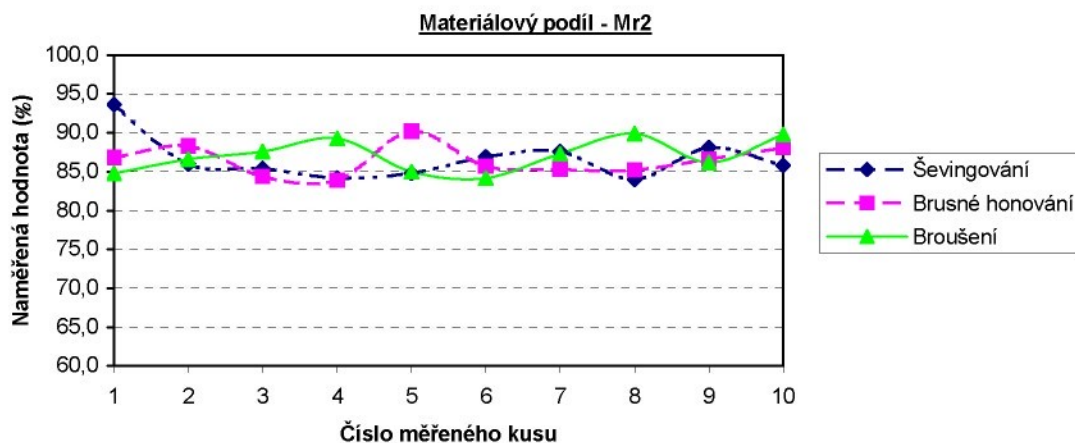
Materiálový podíl Mr2 (%) - tažný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	89,9	91,2	87,6	90,0	84,8	86,1	86,4	85,9	91,4	88,1	88,14	± 1,781
Brusné honování	86,1	85,7	86,8	87,7	90,0	89,6	89,8	86,0	85,1	87,4	87,42	± 1,368
Broušení	88,0	90,3	86,3	83,4	92,7	87,7	91,4	87,7	86,9	85,8	88,02	± 2,091



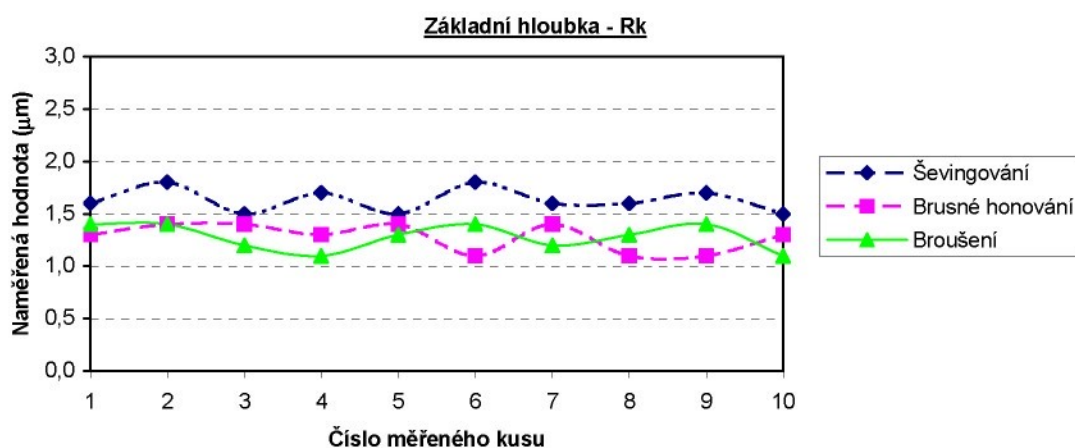
Materiálový podíl Mr2 (%) - zpětný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	93,6	86,0	85,4	84,2	84,8	86,9	87,6	84,0	88,1	85,8	86,64	± 2,111
Brusné honování	86,8	88,3	84,4	83,9	90,2	85,7	85,3	85,2	86,6	88,1	86,45	± 1,476
Broušení	84,8	86,6	87,6	89,3	85,0	84,2	87,3	89,9	86,2	89,8	87,07	± 1,578



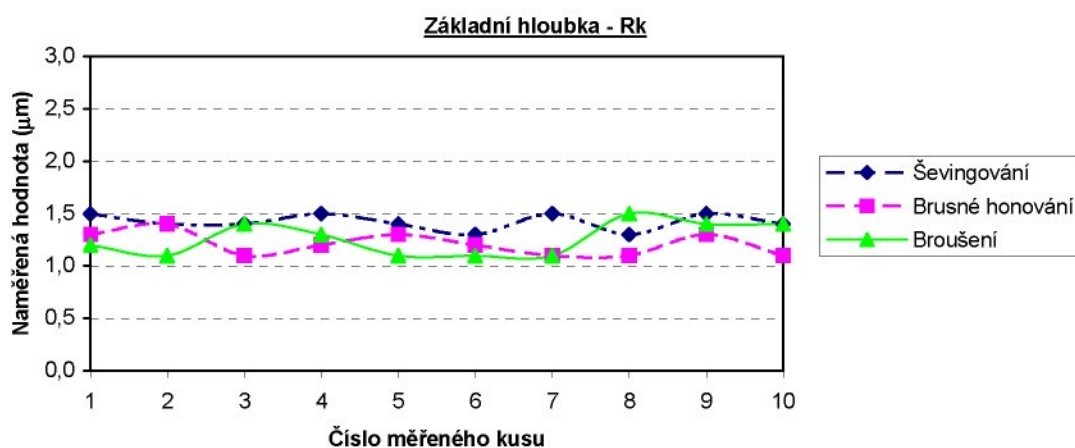
Základní hloubka R_k (μm) - tažný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	1,6	1,8	1,5	1,7	1,5	1,8	1,6	1,6	1,7	1,5	1,63	$\pm 0,087$
Brusné honování	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,1	1,4	1,1	1,1	1,3	1,28	$\pm 0,099$
Broušení	1,4	1,4	1,2	1,1	1,3	1,4	1,2	1,3	1,4	1,1	1,28	$\pm 0,093$



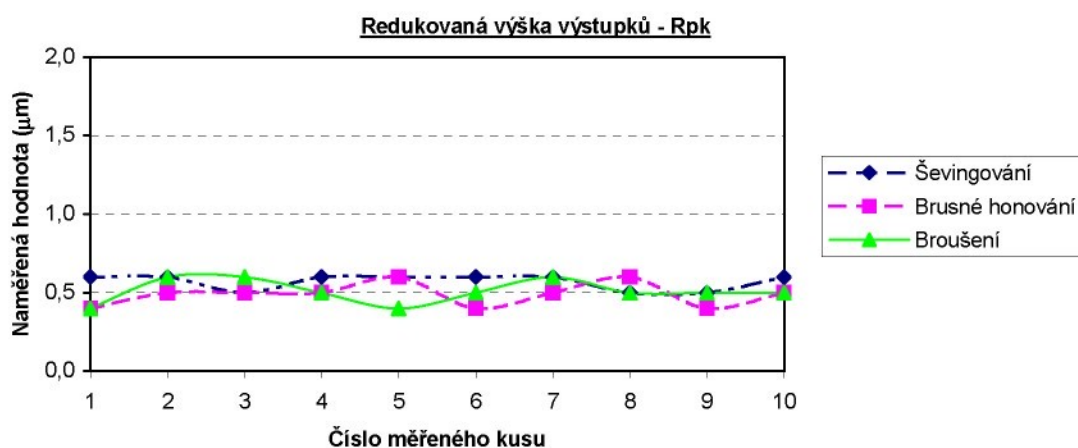
Základní hloubka R_k (μm) - zpětný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	1,5	1,4	1,4	1,5	1,4	1,3	1,5	1,3	1,5	1,4	1,42	$\pm 0,059$
Brusné honování	1,3	1,4	1,1	1,2	1,3	1,2	1,1	1,1	1,3	1,1	1,21	$\pm 0,083$
Broušení	1,2	1,1	1,4	1,3	1,1	1,1	1,1	1,5	1,4	1,4	1,26	$\pm 0,119$



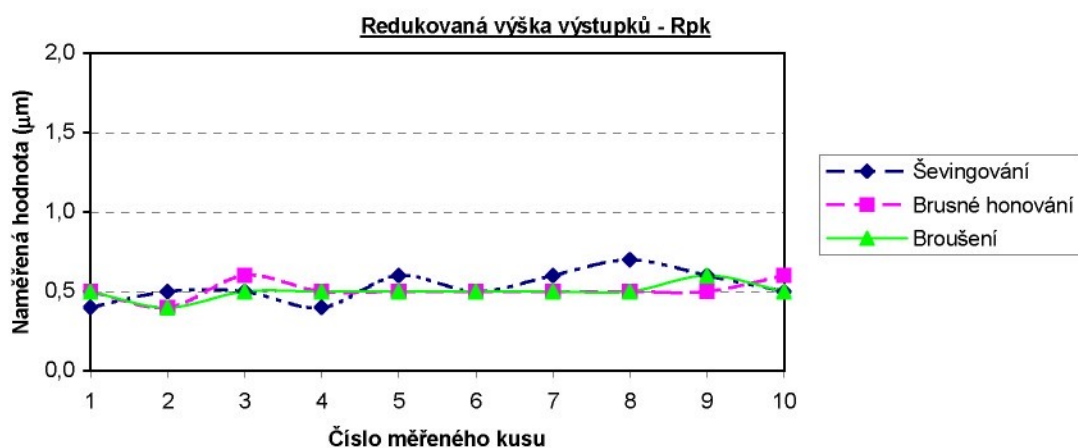
Redukovaná výška výstupků Rpk (μm) - tažný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,57	$\pm 0,036$
Brusné honování	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,49	$\pm 0,056$
Broušení	0,4	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,51	$\pm 0,056$



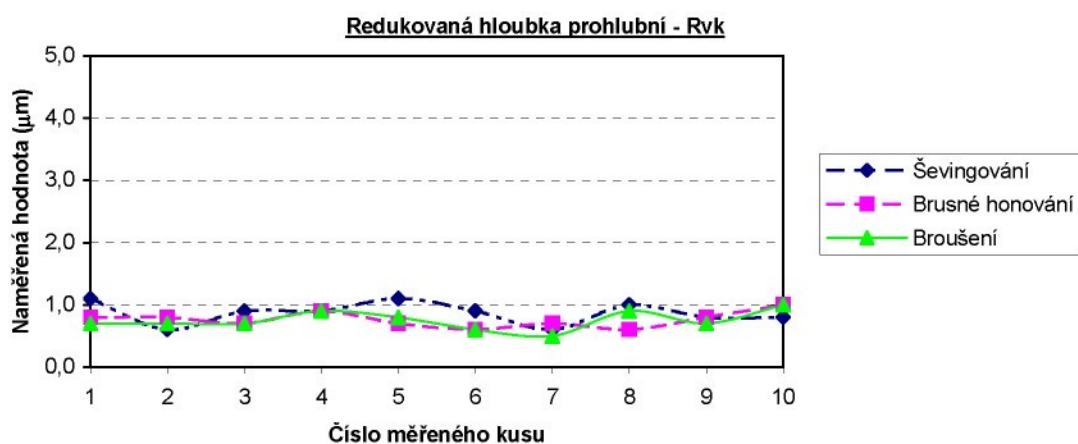
Redukovaná výška výstupků Rpk (μm) - zpětný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,53	$\pm 0,072$
Brusné honování	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,51	$\pm 0,043$
Broušení	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,50	$\pm 0,036$



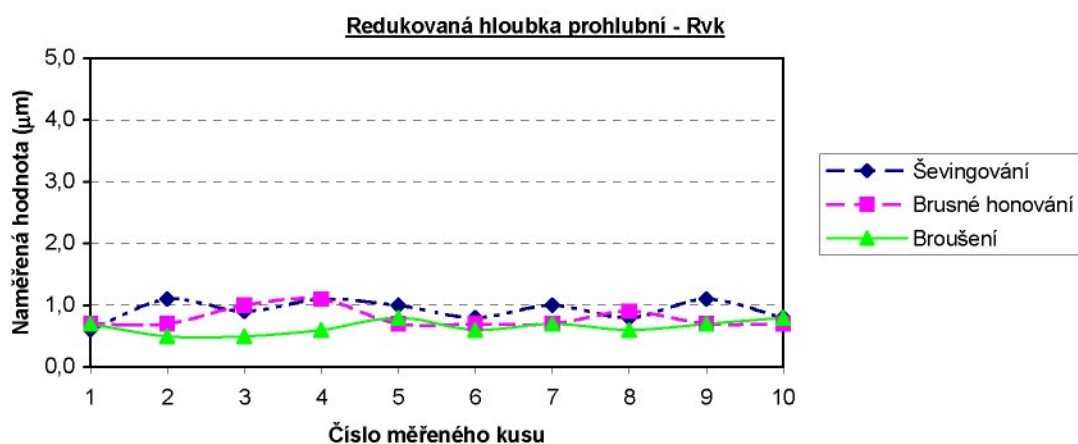
Redukovaná hloubka prohlubní Rvk (μm) - tažný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	1,1	0,6	0,9	0,9	1,1	0,9	0,6	1,0	0,8	0,8	0,87	$\pm 0,133$
Brusné honování	0,8	0,8	0,7	0,9	0,7	0,6	0,7	0,6	0,8	1,0	0,76	$\pm 0,095$
Broušení	0,7	0,7	0,7	0,9	0,8	0,6	0,5	0,9	0,7	1,0	0,75	$\pm 0,114$



Redukovaná hloubka prohlubní Rvk (μm) - zpětný bok po šroubovici

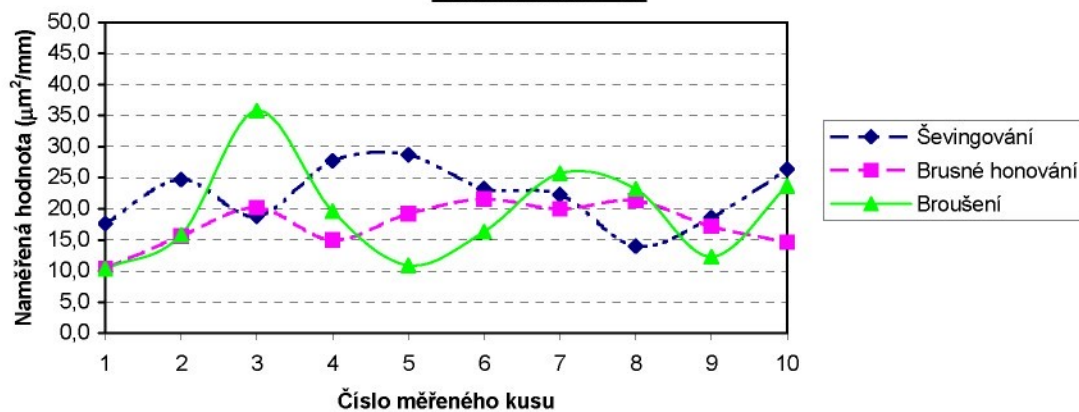
Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	0,6	1,1	0,9	1,1	1,0	0,8	1,0	0,8	1,1	0,8	0,92	$\pm 0,127$
Brusné honování	0,7	0,7	1,0	1,1	0,7	0,7	0,7	0,9	0,7	0,7	0,79	$\pm 0,115$
Broušení	0,7	0,5	0,5	0,6	0,8	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	0,65	$\pm 0,081$



Plocha výstupků A1 ($\mu\text{m}^2/\text{mm}$) - tažný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	17,6	24,7	18,8	27,7	28,7	23,3	22,3	14,0	18,6	26,4	22,21	$\pm 3,647$
Brusné honování	10,4	15,6	20,2	15,0	19,2	21,6	20,0	21,3	17,2	14,6	17,51	$\pm 2,712$
Broušení	10,4	15,8	35,8	19,6	10,9	16,3	25,7	23,2	12,3	23,7	19,37	$\pm 5,990$

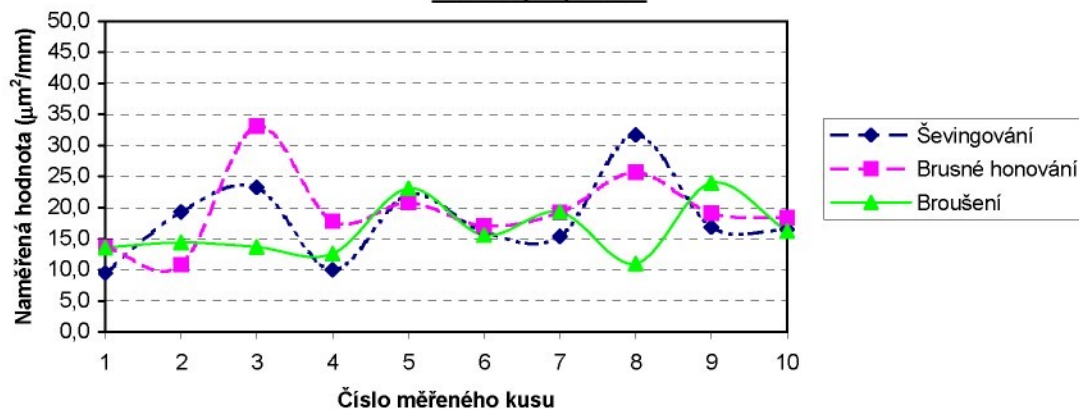
Plocha výstupků - A1



Plocha výstupků A1 ($\mu\text{m}^2/\text{mm}$) - zpětný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	9,5	19,3	23,3	10,0	22,1	16,1	15,4	31,7	16,9	16,5	18,08	$\pm 4,927$
Brusné honování	13,7	10,8	33,1	17,8	20,8	17,1	19,2	25,7	19,1	18,4	19,57	$\pm 4,665$
Broušení	13,6	14,4	13,7	12,6	23,1	15,6	19,3	11,0	24,0	16,2	16,35	$\pm 3,320$

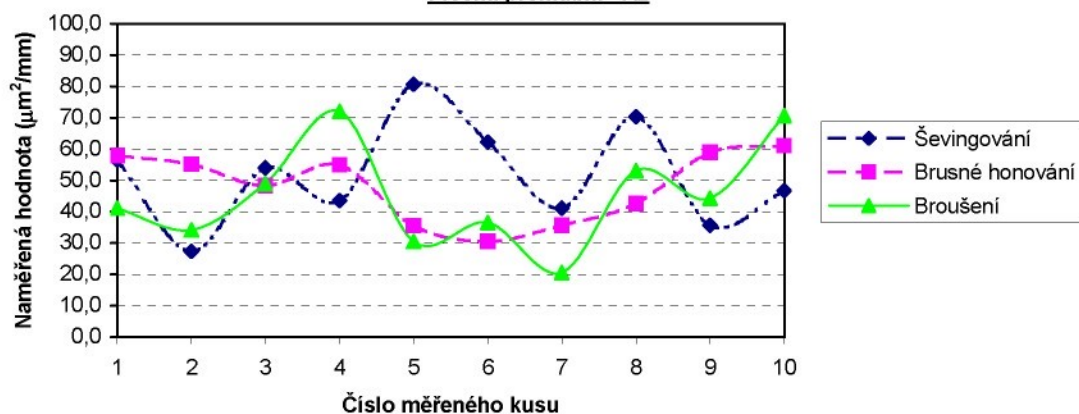
Plocha výstupků - A1



Plocha prohlubní A2 ($\mu\text{m}^2/\text{mm}$) - tažný bok po šroubovici

Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	56,5	27,4	54,0	43,5	80,7	62,2	41,2	70,3	35,6	46,7	51,81	$\pm 12,256$
Brusné honování	57,9	55,2	48,3	55,0	35,5	30,5	35,6	42,6	58,9	61,1	48,06	$\pm 8,467$
Broušení	41,2	34,2	49,0	72,0	30,5	36,6	20,6	53,1	44,3	70,7	45,22	$\pm 12,513$

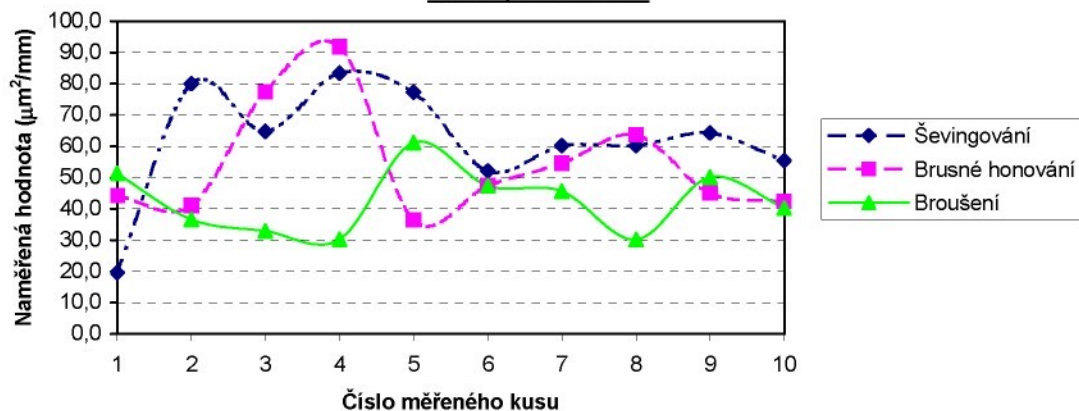
Plocha prohlubní - A2



Plocha prohlubní A2 ($\mu\text{m}^2/\text{mm}$) - zpětný bok po šroubovici

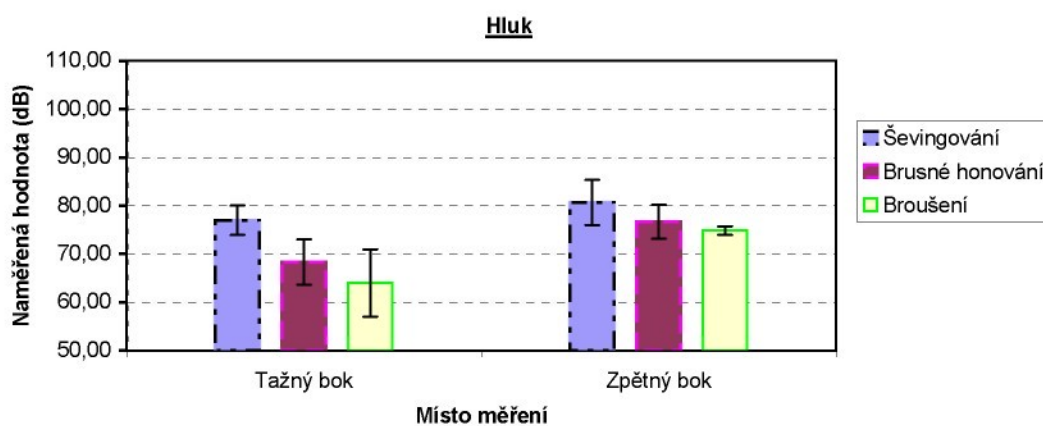
Měřený kus číslo	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Průměrná hodnota	Konfidenční interval
Ševingování	19,5	80,0	64,8	83,4	77,3	52,1	60,2	60,3	64,3	55,4	61,73	$\pm 13,727$
Brusné honování	44,2	41,0	77,4	91,8	36,4	47,4	54,6	63,7	45,0	42,4	54,39	$\pm 13,543$
Broušení	51,4	36,6	33,0	30,3	61,2	47,4	45,6	30,2	50,2	40,3	42,62	$\pm 7,754$

Plocha prohlubní - A2



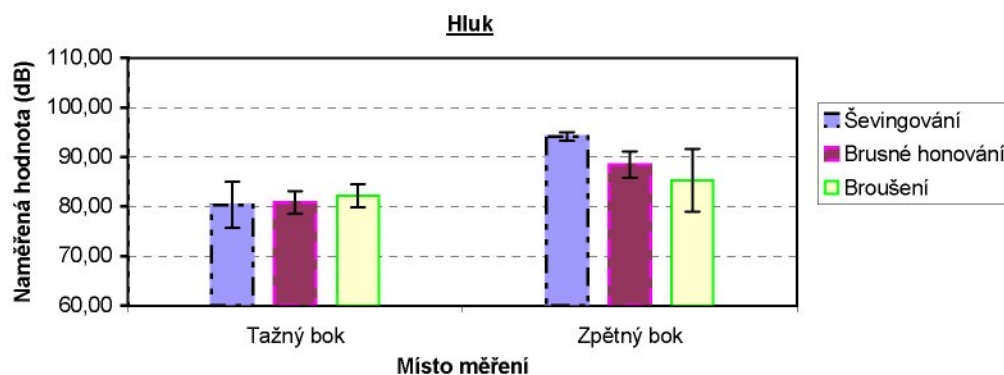
3. rychlost - 1.harmonická složka (dB)

Měření	Tažný bok				Zpětný bok			
	KS1	KS7	KS10	Průměrná hodnota	KS1	KS7	KS10	Průměrná hodnota
Švingování	77	76	78	77,00 ± 3,04	81	79	82	80,67 ± 4,65
Brusné honování	70	68	67	68,33 ± 4,65	76	78	76	76,67 ± 3,51
Broušení	63,5	66,5	62	64,00 ± 6,97	75	75	74,5	74,83 ± 0,88



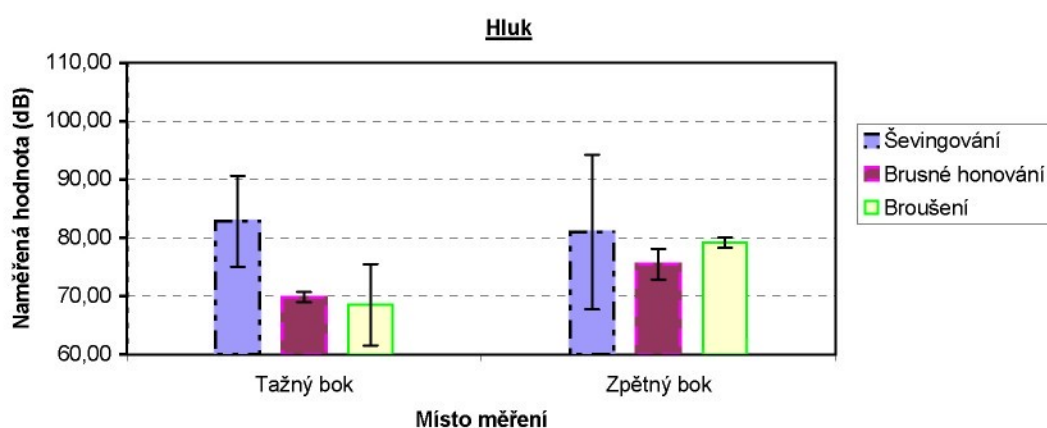
3. rychlost - 2.harmonická složka (dB)

Měření	Tažný bok				Zpětný bok			
	KS1	KS7	KS10	Průměrná hodnota	KS1	KS7	KS10	Průměrná hodnota
Švingování	80	79	82	80,33 ± 4,65	94	94	94,5	94,17 ± 0,88
Brusné honování	80	81,5	81	80,83 ± 2,32	87,5	89	89	88,50 ± 2,64
Broušení	82	81,5	83	82,17 ± 2,32	83	87	86	85,33 ± 6,33



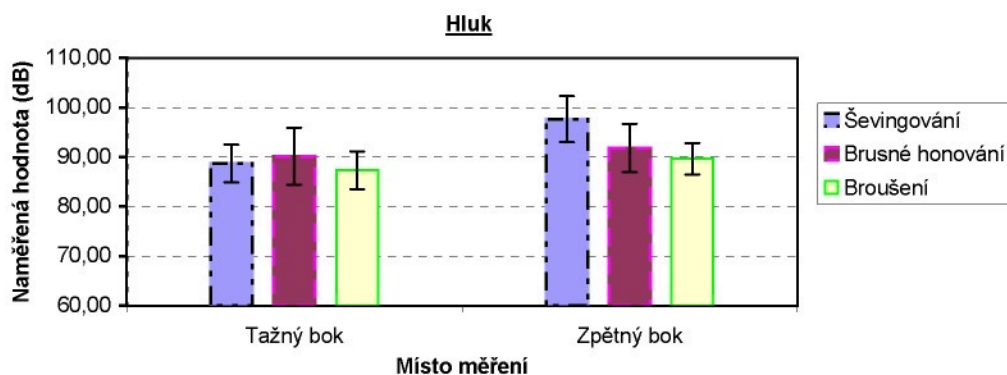
4. rychlost - 1.harmonická složka (dB)

Měření	Tažný bok				Zpětný bok			
	KS1	KS7	KS10	Průměrná hodnota	KS1	KS7	KS10	Průměrná hodnota
Ševingování	85	80	83,5	82,83 ± 7,81	79	78	86	81,00 ± 13,26
Brusné honování	70	70	69,5	69,83 ± 0,88	76	76	74,5	75,50 ± 2,64
Broušení	71	66,5	68	68,50 ± 6,97	79	79	79,5	79,17 ± 0,88



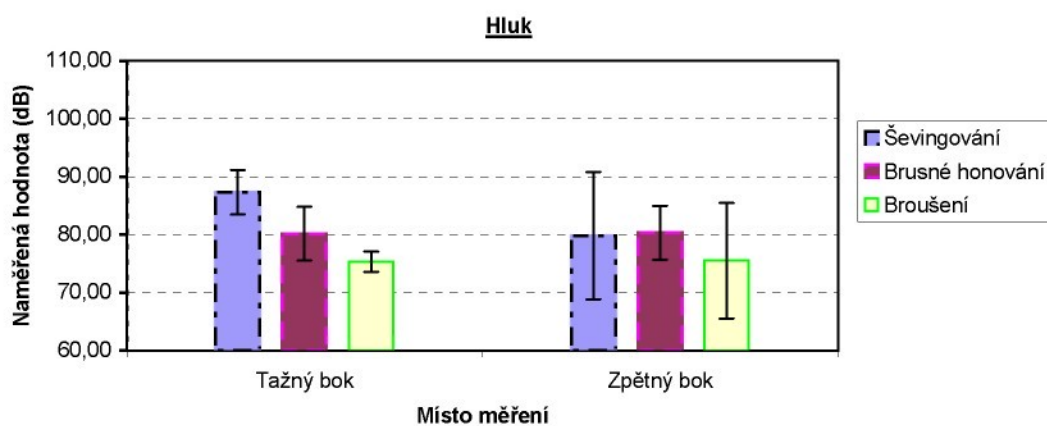
4. rychlost - 2.harmonická složka (dB)

Měření	Tažný bok				Zpětný bok			
	KS1	KS7	KS10	Průměrná hodnota	KS1	KS7	KS10	Průměrná hodnota
Ševingování	88,5	87,5	90	88,67 ± 3,83	98	96	99	97,67 ± 4,65
Brusné honování	88	91,5	91	90,17 ± 5,76	90	93	92,5	91,83 ± 4,89
Broušení	88,5	86	87,5	87,33 ± 3,83	90,5	90	88,5	89,67 ± 3,17



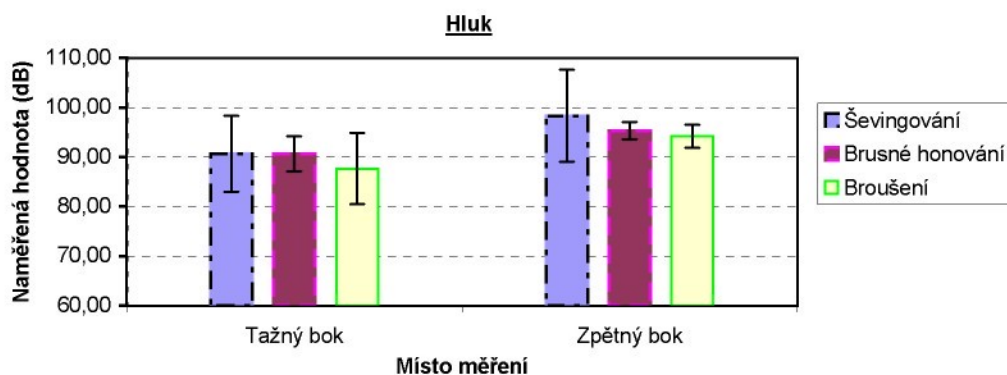
5. rychlost - 1.harmonická složka (dB)

Měření	Tažný bok				Zpětný bok			
	KS1	KS7	KS10	Průměrná hodnota	KS1	KS7	KS10	Průměrná hodnota
Ševingování	87,5	86	88,5	87,33 ± 3,83	78	84	77,5	79,83 ± 11,01
Brusné honování	78,5	80,5	81,5	80,17 ± 4,65	82	79	80	80,33 ± 4,65
Broušení	76	75	75	75,33 ± 1,76	72	78,5	76	75,50 ± 9,98



5. rychlost - 2.harmonická složka (dB)

Měření	Tažný bok				Zpětný bok			
	KS1	KS7	KS10	Průměrná hodnota	KS1	KS7	KS10	Průměrná hodnota
Ševingování	91	88	93	90,67 ± 7,66	99	95	101	98,33 ± 9,30
Brusné honování	90	92	90	90,67 ± 3,51	95	95	96	95,33 ± 1,76
Broušení	88,5	85	89,5	87,67 ± 7,19	94	93,5	95	94,17 ± 2,32



Seznam použité literatury

- [1] DIN 3960. Begriffe und Bestimmungsgrößen für Stirnräder (Zylinderräder) und Stirnradpaare (Zylinderradpaare) mit Evolventenverzahnung. 1987. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- [2] EMS, Praha: Firemní dokumentace. [B.r.].
- [3] FRESCO GmbH, Altdorf: Firemní prospekt. [B.r.].
- [4] GABRIEL, V., JERSÁK, J., HOLUB, L., aj. *Ověření vlastností řezných olejů při podélném soustružení. [Výzkumná zpráva]*. Liberec, VŠST Liberec, 2000.
- [5] KALIVODA, P. aj. *Využití progresivních nástrojů a metod při výrobě ozubení*. 1.vyd. Praha: VÚOSO, 1979. Kapitola: Ševingování jako progresivní metoda dokončování ozubených kol, s. VII/1-VII/11. ISBN -.
- [6] KLINGELNBERG SÖHNE GmbH, Ettlingen: Firemní dokumentace. [B.r.].
- [7] KOŽÍŠEK, P., KRÁLÍK, J. *L&K – ŠKODA 1895 – 1995 1.díl Laurin&Klement jest nejlepší známkou světa*. 1.vyd. Praha: MOTORPRESS, spol.s.r.o., 1995. ISBN 80-901749-1-4.
- [8] KOŽÍŠEK, P., KRÁLÍK, J. *L&K – ŠKODA 1895 – 1995 2.díl Let okřídleného šípů*. 1.vyd. Praha: MOTORPRESS, spol.s.r.o., 1995. ISBN 80-901749-3-0.
- [9] LECO INSTRUMENTE GmbH, Kirchheim bei München: Firemní dokumentace.[B.r.].
- [10] MORAVEC, V. *Konstrukce strojů a zařízení II*. 1.vyd. Ostrava: MONTANEX a.s., 2001. 291 s. ISBN 80-7225-051-5.
- [11] PRÄWEMA – ANTRIEBSTECHNIK GmbH, Eschwege/Werra: Firemní dokumentace. [B.r.].
- [12] REISHAUER AG, Wallisellen: Firemní dokumentace. [B.r.].
- [13] ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav: Firemní dokumentace. [B.r.].
- [14] ŠVEC, S. *Konstrukce nástrojů pro výrobu čelních ozubených kol*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1965. 362 s. ISBN -.
- [15] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z., aj. *Obrábění*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1984. 808 s. ISBN 04-250-84.