

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A
METROLOGIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

POKROČILÉ TECHNOLOGIE STROJNÍHO DOKONČOVÁNÍ
TITANOVÝCH KOMPONENT

ADVANCED TECHNOLOGIES OF AUTOMATED TITANIUM PARTS FINISHING

AUTOR: Tadeáš Šerhant

STUDIJNÍ PROGRAM: Výroba a ekonomika ve strojírenství

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Zdeněk Pitrmuc

PRAHA 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šerhant** Jméno: **Tadeáš** Osobní číslo: **467414**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Pokročilé technologie strojního dokončování titanových komponent

Název bakalářské práce anglicky:

Advanced technologies of automated titanium parts finishing

Pokyny pro vypracování:

- 1) Vlastnosti titanových slitin
- 2) Mechanismy úběru při dokončovacích technologiích
- 3) Přehled dokončovacích technologií
- 4) Návrh technologických zkoušek pro studii vybrané technologie dokončování
- 5) Vyhodnocení experimentálních zkoušek

Seznam doporučené literatury:

- 1) DONACHIE, Matthew J. Titanium: a technical guide. 2nd ed. Materials Park, OH: ASM International, c2000. ISBN isbn:978-0-87170-686-7.
- 2) patent PCT/US2017/033093

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Pitrmuc, ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

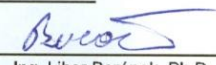
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **02.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19.07.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Zdeněk Pitrmuc
podpis vedoucí(ho) práce

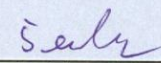

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

16.4.2019
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

.....

Podpis

Anotace

Předkládaná bakalářská práce pojednává o problematice broušení a leštění titanových lopatkových kol. V teoretické části bakalářské práce popisují různé technologie strojního dokončování povrchů lopatek. Dále popisují souřadnicové měřicí stroje, bez kterých by nebylo možné provádět následné experimenty. Poslední část je věnována pěti různým experimentům, kde bylo cílem provést základní hodnocení použité technologie.

Klíčová slova

leštění, broušení, titan, souřadnicové měřicí stroje, lopatková kola

Annotation

This bachelor thesis deals with the issue of grinding and polishing of titanium blade wheels. In the theoretical part of the bachelor thesis are described various technologies of machine finishing of blades surfaces. Furthermore, I describe coordinate measuring machines without which it would not be possible to perform subsequent experiments. The last part is devoted to five different experiments, where the aim was to perform a basic evaluation of the technology used.

Keywords

polishing, grinding, titanium, coordinate measuring machine, paddle wheel

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Zdeňku Pitrmucovi za užitečné konzultace a připomínky v odborném vedení mé bakalářské práce.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Titan	10
2.1	Vlastnosti slitin titanu	10
2.2	Obecná charakteristika Ti-Al6-V4.....	11
3	Základní technologie dolešťování.....	12
3.1	Ruční dolešťování.....	12
3.2	Nekonvenční technologie dolešťování.....	12
3.2.1	Elektrochemické leštění.....	12
3.2.2	Omílací technologie	14
3.2.3	Průtokové broušení (Abrasive flow)	18
3.2.4	Spotřební materiál	19
4	Vznik nových povrchů	20
4.1	Druhy opotřebení.....	21
4.1.1	Abrazivní opotřebení	21
4.1.2	Adhezivní opotřebení.....	21
5	Souřadnicové měřicí stroje	23
5.1	Konstrukce souřadnicových měřicích strojů	23
5.2	Typy konstrukcí souřadnicových měřicích strojů.....	24
5.3	Snímací systém CMM strojů.....	26
6	Praktická část	28
6.1	Použitá terminologie značení lopatek.....	28
6.2	Princip měření	30
6.3	Princip leštění.....	30
6.4	Experiment 1	31
6.4.1	Grafické znázornění experimentu 1.....	33

6.5	Experiment 2	34
6.5.1	Grafické znázornění experimentu 2.....	35
6.6	Experiment 3	37
6.6.1	Grafické znázornění experimentu 3.....	38
6.7	Experiment 4	39
6.7.1	Grafické znázornění experimentu 4.....	40
6.8	Experiment 5	41
6.8.1	Grafické znázornění experimentu 5.....	42
7	Závěr	44
8	Literatura	46
9	Seznamy.....	49
9.1	Obrázky	49
9.2	Tabulky	49
9.3	Grafy.....	51
9.4	Zkratky a jednotky.....	53
9.5	Přílohy	54
9.5.1	Grafy a tabulky k experimentu 1	54
9.5.2	Grafy a tabulky k experimentu 2	59
9.5.3	Grafy a tabulky k experimentu 3	62
9.5.4	Grafy a tabulky k experimentu 4	67
9.5.5	Grafy a tabulky k experimentu 5	73

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá pokročilými technologiemi strojního dokončování titanových komponent. Hlavním cílem práce je porovnat jednotlivé experimenty broušení titanových lopatkových kol v omílacím zařízení. První část je věnována základním metodám nekonvenčního broušení, leštění materiálu a popisu souřadnicových měřicích zařízení. Druhá část je věnována samotnému experimentu, kde jsou vyhodnocena naměřená data. Cílem broušení je docílit ideálního povrchu se sníženou drsností a zvýšením užitných vlastností. Jedná se například o větší odolnost vůči kontaktnímu namáhání a lepší aerodynamické účinnosti. S použitou technologií nejsou dosud v České republice zatím žádné zkušenosti a jedná se o pilotní experiment.

Broušení je velice starý způsob úběru materiálu. Již v minulosti člověk využíval brusiva k opracování povrchu (nože, kopí, sekery, meče). Díky vývoji materiálů a technologií se vytvořil první brus s ručním pohonem, který byl vzorem pro vznik současné brusky. Razantnější vývoj nastal v druhé polovině 19. století. [1, 5]

Broušení se rozděluje podle typu brousícího nástroje, a to na broušení vázaným pevným brusivem a broušení volným brusivem. Broušení je dokončovací operací obrábění, která je velice produktivním způsobem přesného úběru materiálu. Díky broušení jsme schopni dosahovat přesných rozměrů a kvalitního povrchu, který pomocí frézky nebo soustruhů nejsme schopni dosáhnout. Dají se také brousit i velice tvrdé materiály, kalená ocel, cementovaná ocel, slinuté karbidy a titanové slitiny. [1, 5]

2 Titan

Titan je kovový materiál. Mechanické vlastnosti titanu jsou velice ovlivněny obsahem nečistot, a to především kyslíku, uhlíku a dusíku. Čistý titan se vyrovná svou pevností i běžným konstrukčním ocelím, ale má bohužel nižší modul pružnosti. Charakteristickou vlastností je velký poměr meze kluzu a meze pevnosti. Tato vlastnost má vliv na tváření, a to především na tváření za studena, kdy se titan zpevňuje. Obsah vodíku v titanu má vliv především na houževnatost. Mezi velké výhody patří chování titanu v korozním prostředí, kde je schopen si velmi dobře zachovat své vlastnosti. Tyto vlastnosti titan získává díky pasivačním vrstvám, a to nejčastěji TiO_2 a TiH . Dále mezi jeho výhody patří odolnost proti tečení. Při vyšších teplotách titan ztrácí pevnost a tento zlom většinou nastává kolem $300\text{ }^\circ\text{C}$. Z technologického hlediska je nepříznivou vlastností vysoký součinitel tření, který je úzce spjat s velkým otěrem a velkou náchylností k zadírání. Běžná maziva bohužel tento problém neřeší, ale osvědčenou metodou jsou povrchové úpravy. [1]

2.1 Vlastnosti slitin titanu

Fyzikální vlastnosti slitin titanu se oproti čistému titanu liší pouze v detailech, mění se pouze tepelná a elektrická vodivost. Jednofázové slitiny α jsou typické svou střední pevností, a to až 100kg/mm^2 s tažností okolo 20%. Často mají i lepší pevnost při vyšších teplotách, a to zhruba okolo $600\text{ }^\circ\text{C}$. Jednofázové slitiny β disponují vysokou pevností a jsou ještě obohaceny o lepší schopnost tvažitelnosti. Bohužel jsou tyto slitiny velice náchylné na obsah nečistot. Dvoufázové slitiny již mají pevnost až 160kg/mm^2 . Mez tečení je příznivá jak u fáze β , ale především u fáze α , kde je poměr meze únavy k mezi pevnosti lepší než u ocelí. [1]

2.2 Obecná charakteristika Ti-Al6-V4

Titanové slitiny dosahují vysoké pevnosti, nízké hmotnosti a mají výborné antikorozivní vlastnosti. Díky všem těmto vlastnostem je škála využití titanových slitin velice pestrá. S těmito slitinami se nejčastěji můžeme setkat v letectví, lékařství, automobilovém průmyslu, výrobě elektřiny, těžbě ropy a plynu, sportu a mnoha dalších odvětvích. Titanové slitiny většinou nahrazují těžší a méně použitelné materiály. Čistý titan sám o sobě nedosahuje takových vlastností jako různé titanové slitiny. Slitina titanu Ti-Al6-V4 je nejrozšířenější titanovou slitinou. Představuje dobrou obrobiteľnosť, svařitelnosť, tvařitelnosť, disponuje vysokou pevnosťou a výbornou odolnosťou vŕči korozi. Tato slitina se nejčastěji využívá v leteckém a automobilovém průmyslu pro snížení hmotnosti. Ti-Al6-V4 obsahuje dvě fáze, fázi α a β . Množství β fáze se pohybuje od 5% až do 50%. Slitinu s obsahem fáze β do 25% řadíme mezi martenzitické slitiny, protože při prudkém ochlazení vzniká martenzitická fáze α' nebo α'' . [4]

Chemické a mechanické vlastnosti Ti-Al6-V4:

Tab. 1: Chemické vlastnosti [27]

Chemická vlastnosti	Ti6Al4V	
	Min.	Max.
Hliník, Al	5,5%	6,75%
Vanad, V	3,5%	4,5%
Uhlík, C	-	0,08%
Železo, Fe	-	0,40%
Kyslík, O	-	0,20%
Dusík, N	-	0,05%
Vodík, O	-	0,02%

3 Základní technologie dolešťování

V této části bych se rád věnoval rozdělení a popisu základních metod při dolešťování titanových lopatkových kol.

3.1 Ruční dolešťování

Ruční dolešťování lze provádět pomocí různých kotoučů. Hrubé dolešťování může být prováděno pomocí lamelových kotoučů připevněných na bruskách, ale úběr bude nekontrolovatelný a nerovnoměrný, proto se tato metoda v dnešní době moc nevyužívá. Pro jemnější dolešťování lze aplikovat látkové či filcové kotouče, na které bude nanesená brusná pasta různé zrnitosti. Tato metoda bude šetrnější, nebude docházet k tak velkému úbytku materiálu jako při použití lamelových kotoučů a budeme schopni dosáhnout povrchu s lepší drsností, ale leštění bude opět velice nekontrolovatelné. Jedná se o nejčastější způsob dokončování v dílenské praxi a v kusové výrobě.

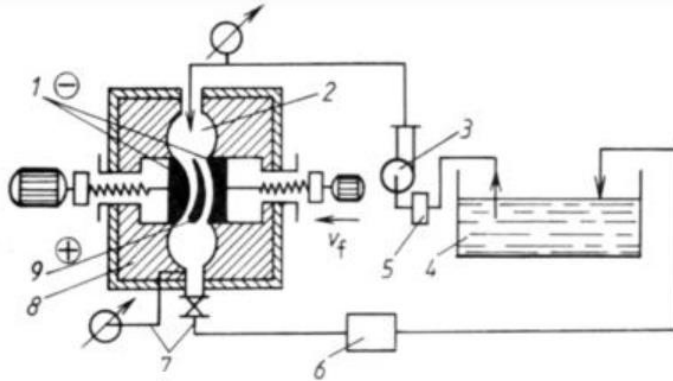
3.2 Nekonvenční technologie dolešťování

Nekonvenční technologie dolešťování jsou založeny na využití fyzikálních či chemických principů úběru materiálu. Jedná se o bezsilové působení na obráběný dílec bez vzniku třísek tak, jak je tomu při konvenčním obrábění. Podle principu úběru materiálu se technologie dolešťování rozdělují na různé metody do skupin. [6]

3.2.1 Elektrochemické leštění

Při této metodě leštění se využívá účinek stejnosměrného proudu v elektrolytu, kde je leštěný dílec zapojen na kladný pól jako anoda a nerozpustné katody jsou zapojeny na mínus pól. Při použití této metody je třeba zajistit, aby byl leštěný dílec v transpasivním

nebo pasivním stavu. Tento stav je dosažen v určitém rozmezí potenciálu při nepřilíš se měnící proudové hustotě. Při dalším zvyšování potenciálu dochází k vývoji kyslíku, čímž se povrch leštěného dílce posunuje mimo pasivní oblast. Silný vývoj znemožňuje dosáhnoutí lesklého povrch. Na grafu je patrná proudová hustota na potenciálu pro ocel Cr12/Ni18. [7]



1 - nástroj (katoda), 2 - rozvod elektrolytu, 3 - čerpadlo, 4 - nádrž s elektrolytem, 5 - chladič, 6 - filtr, 7 - regulátor tlaku, 8 - pracovní komora, 9 - obrobek (anoda)

Obr. 1: Schéma pro elektrochemické leštění [20]

Struktura materiálu zůstává zachována v celé hloubce leštěného dílce včetně povrchové vrstvy. To má velký vliv na zachování mechanických a chemických vlastností materiálu. [7]

Přípravná fáze: Před samostatným leštěním je třeba dílec připravit. Je nutné dodržet některé zásady, aby došlo k požadovaným parametrům u finálního výrobku. Přípravné operace jsou zpravidla tyto, ale na každý materiál je třeba zvolit individuální postup. [7]

- Mechanické čištění
- Odmaštění
- Moření - chemické, elektrochemické
- Pískování - velice zřídka
- Mechanické broušení
- Mechanické leštění

U těchto operací se musí dodržet některé zásady, aby nedošlo k narušení nebo poškození povrchu. Při mechanickém čištění je nutné použít umělohmotné kartáče. Pokud je zapotřebí použít účinnější nástroj, například pro očištění svaru, lze zvolit kartáče z korozi-vzdorné oceli. [7, 8]

Při moření je třeba znát přesný obsah chromu v materiálu, abychom byli schopni určit, jak moc koncentrovanou kyselinu lze použít. Pro materiál s nižším obsahem chromu se využívá slabší kyselina, kdežto u materiálu s vyšším obsahem chromu využíváme kyseliny silnější. [7, 8]

U samostatného leštění je třeba dbát na teplotu leštěného dílce, aby nedocházelo k jeho přehřátí. V případě přehřátí může docházet ke zbarvení dílce v místě přehřátí a následné povrchové oxidaci nebo k deformacím. Proto se komplikované dílce musí chladit. [7, 8]

Mezi známější firmy, které se zabývají právě touto metodou, patří například Rosma, Svaziko s.r.o. a Klemat s.r.o.. [9]

3.2.2 Omílací technologie

Abrazivo do omílacích zařízení se využívá přírodní nebo umělé. Přírodní abrazivo má zpravidla nižší životnost než to umělé, jedná se například o drcenou žulu, skořápky od ořechů nebo dřevěné piliny. V dnešní době se však většinou používá umělé abrazivo, které je výkonnější a odolnější. Existuje nespočet druhů a typů těchto abraziv. Mezi základní abraziva řadíme karbid křemíku, oxid hlinitý nebo ocelové kuličky. Každý výrobce omílacích zařízení předepisuje do svého zařízení svá abraziva a zaručuje pro ně určitý výsledek. [10]

Při omílání se vyhlazuje povrch dílce a ovlivňuje se tak jeho finální drsnost. Z počátku je úběr materiálu poměrně rychlý a plynulý, později se však většina materiálu dostane do bodu, kdy je úběr zpomalen či skoro zastaven. Čas omílání závisí na materiálu a na hloubce leštění. Omílací činnost trvá většinou 2 až 6 hodin. Omíláním lze dosáhnout drsnosti 0,1 μm až 0,4 μm . [10]

Způsoby omílání: [10]

Rotační omílání: Rotační omílání se většinou aplikuje na menší díly jako jsou například kloubní implantáty a řezné nástroje. Lze omílat různé materiály, kovy, plasty, dřevo, drahé kameny.

Vibrační omílání: Součástky jsou omílány pomocí vibračního pohybu v bubnu, nebo žlabu. Součástky se volně v bubnu pohybují, ve směru toku média.

Odstředivé omílání: Jedná se o hrubší omílání součástí, které jsou uspořádány planetově.

Omílací technologie Rösler: Firma Rösler je jednou z nejznámějších výrobců omílacích a tryskacích zařízení na světě. Jejich zařízení jsou oblíbená pro časovou a zdrojovou šetrnost. Díky jejich dlouholeté zkušenosti vyrábí i tryskací zařízení určená na plasty. Zabezpečují snížení nákladu na místech, kde je povrch zpracováván manuálně nebo za cenu náročné technologie. Firma Rösler vyrábí zařízení k preciznímu tryskání stlačeným vzduchem, tak i k tryskání metacými koly. Mimo samotnou výrobu a vývoj omílacích a tryskacích zařízení se firma specializuje také na výrobu provozních materiálů, jako jsou například kompoundy, keramická brusná tělíska, plastová brusná tělíska a leštící a sušící prostředky. Mezi nabízené služby této firmy patří: zdrsňování, odhroťování, odlakování, odrezování, čištění od písku, odstraňování vrstev, čištění od okují, vysokotlaké vodní tryskání (letecký průmysl), ISF®, zaoblování hran, mokré tryskání, leštění, hlazení, čištění, odmašťování od oleje, odmašťování od tuku, broušení, kuličkové tryskání, speciální aplikace. [11]

Omílací technologie S.P.M. Mould Polishing Systém: Omílací technologie S.P.M. Mould Polishing se převážně specializuje na omílání lopatkových dílů vyrobených ze slitiny titanu. Tyto díly se nejčastěji vyskytují v leteckém motoru, vysokotlakém motoru

a v turbínách. Omílací médium je nejčastěji tvořeno z 98% kovovými třískami, méně než 2% kapaliny a méně než z 0,05% brusiva. Kovové částice jsou nejčastěji měděné. Používanou kapalinou je nejčastěji voda, která je obohacena o aktivní látky. Lze použít i mýdlo. Tento poměr je pouze orientační a záleží na spoustě aspektů. Doba leštění se stanovuje individuálně, zásadně jí ovlivňuje vstupní drsnost, požadovaná drsnost materiálu a geometrická složitost leštěného dílu. Doba broušení bývá obvykle 15 až 150 minut. [12]

Postup při leštění: V první řadě se obrobek musí upnout do pracovního prostoru, následně se prostor násypky naplní abrazivem (98% kovových třísek, méně než 2% kapaliny a méně než 0,05% brusiva). Po naplnění se zařízení uzavře, naprogramuje a spustí. Díky oscilaci se vytváří leštící tok média kolem obrobku a díky tomu dochází k úběru materiálu. Leštění probíhá, dokud se nedosáhne požadované drsnosti povrchu. Leštící operace lze urychlit použitím hrubších zrn, která nejsou schopna vytvořit dokonalý povrch, ale díky nim je úběr materiálu rychlejší. Následně se použijí jemnější a jemnější zrna pro dosažení požadovaného povrchu. Jako alternativní možnost lze využít větší zrna, která vytvářejí za pomoci pojiva shluk. Díky této metodě máme na začátku broušení větší zrna, která dosahují většího úběru materiálu, postupem času se shluky rozpadají na menší shluky a velikost zrna se zmenšuje. Tím pádem je úběr materiálu menší, ale dosahujeme opět lepších drsností. Po ukončení leštícího procesu se z násypky vyjme médium a následně se odmontuje obrobek z upínacího systému. Obrobek se po vyjmutí musí důkladně omýt, nejlepší je vložit obrobek do ultrazvukové pračky. [12]

Omílací technologie OTEC Präzisionsfinish: Jednou z dalších firem, která se zabývá výrobou omílacích zařízení, je firma OTEC Präzisionsfinish. Jejich předností je výborná nákladová efektivnost, manipulace a vysoká přesnost. Pomocí jejich zařízení lze dosahovat drsnosti menší než 0,05 μm . Jejich zařízení jsou rozdělena do několika řad: SF, Pulsfinish, DF, CF, ECO EASY FINISH, ECO – MAXI/ HV 20. Jako každý výrobce omílacích zařízení vyrábí a doporučuje vhodná abraziva: plastová média, keramická

média, nerezová média, zirkonové kuličky, mikrofinišovací omílací média, brusné pasty pro mokrý proces, granuláty z vlašských ořechů a kukuřice a HSC média. [13]

Řada SF: Řada SF je vhodná na zlepšování povrchu těch nejmenších obrobků, kde je zapotřebí získat lepší drsnosti. Zařízení z řady SF pracuje na principu proudového omílání a lze dosáhnout drsnosti menší než $0,05 \mu\text{m}$. Mezi hlavní výhody patří velmi krátké časy při leštění, odjehlování a zaoblování stran. Tato řada najde nejčastěji uplatnění při výrobě nástrojů, převodových kol a turbín. [13]



Obr. 2: Omílací zařízení značky OTEC Präzisionsfinish řady SF [13]

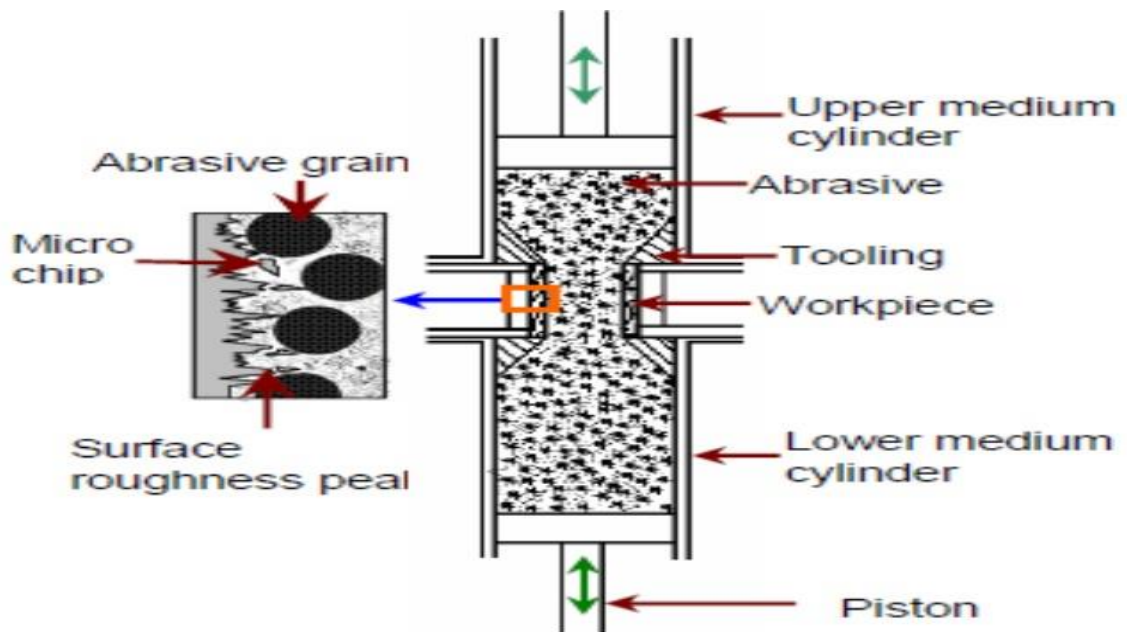
Pulsfinish: Zařízení z této řady jsou vybavena pulsním pohonem, díky tomu lze zařízení aplikovat do velkosériové výroby, kde jsou kladeny extrémní požadavky. Zařízení lze použít na odjehlování, zaoblení a vyhlazování. [13]

Řada ECO – MAXI /HV 20: Tato řada je výjimečná tím, že na jednom zařízení lze využít tři metody obrábění: (ECO-Maxi „magnetic“) magnetické, (ECO-Maxi „wet“) mokré a (ECO-Maxi „dry“) suché. [13]

Omílací technologie First Surface MMP: Technologie First Surface je velice přesná a precizní metoda při odstraňování otřepů, ostrých hran a leštění povrchu. Jedná se o mechanicko-fyzikální metodu broušení. Mezi velké výhody této metody patří zachování mechanických vlastností, nulové zpěvnění, nedochází k tečení materiálu a lze aplikovat na lékařské nástroje. Samotný proces začíná důkladnou analýzou povrchu a měřením drsností. Následně se zohlední mechanické vlastnosti daného materiálu a stanoví se optimální nastavení tak, aby se splnil požadavek zákazníka. Metoda je vhodná takřka na všechny dosud známe slitiny kovů, lopatkové díly, ozubená kola, řezné nástroje a na statory. V Evropě není metoda zatím úplně známa a jsou zde pouze tři země, kde se MMP zařízení nachází - Německo, Francie a Švýcarsko. [14]

3.2.3 Průtokové broušení (Abrasive flow)

Abrasive flow: průtokové broušení lze definovat jako opracovávání povrchu abrazivním proudem za pomoci polotuhého média. Tato metoda se používá při finálních úpravách v mnoha odvětvích, ale primárně byla vyvinuta na opracování vnitřních ploch. Aplikace tohoto procesu zahrnuje leštění vnitřního povrchu až do vysokého lesku, zarovnání ostrých hran a výstupků. Touto metodou lze odstranit různé otřepy na vnitřních plochách, a to má za následek lepší proudění různých médií. Samotný proces probíhá na specifickém zařízení velice podobném hydraulickému lisu, kde je obrobek upnut mezi dvě komory s pohyblivými písty a 100% utěsněn. Jedna z komor je naplněna speciální omílací hmotou a za pomoci pístů je tato hmota protlačována skrz dílec. V druhé fázi dochází k naplnění druhé komory a následuje opět přesun této hmoty z jedné komory do druhé. Tento cyklus se opakuje tolikrát, dokud se nedojde k požadovanému výsledku. V extrémních případech je zapotřebí dílec chladit, protože při protlačování vzniká nadměrné teplo, které by mohlo dílec tepelně ovlivnit. [15]



Obr. 3: Princip průtokového broušení [22]

3.2.4 Spotřební materiál

Při omílacích operacích je zapotřebí omílací médium. Toto médium může být v pevné nebo v kapalně formě. Volba pracovního média je jednou z nejdůležitějších fází. Při nevhodném výběru nedosáhneme správných výsledků. Každý výrobce předepisuje pro svůj vlastní přístroj daný typ média a v případě jeho nedodržení nemůže být zaručena předepsaná výsledná kvalita. Pro každý obrobek je zapotřebí jiného média, záleží například na velikosti, materiálu a mnoha dalších aspektech. [11]

Používaná média: [11]

- plastová omílací tělíska
- keramická tělíska
- ocelová média
- zirkonové kuličky
- kompaundy
- speciální brusné pasty pro mokré broušení
- mikrofinišovací omílací média

4 Vznik nových povrchů

Vlastnosti povrchu jsou jedním z nejdůležitějších parametrů a mají obrovský vliv na funkčnost a životnost součástí. Jeden z nejpoužívanějších parametrů, který udává hodnotu drsnosti, je parametr R_a v jednotkách μm nebo μin . Tato hodnota může být velice nevyovídající o kvalitě povrchu, protože povrch může mít stejné R_a , ale rozdílnou charakteristiku profilu povrchu. Tento problém je řešen pomocí Abbottovy křivky, která lépe vypovídá o charakteristice profilu povrchu, protože nám udává poměr délky, která je vyplněna materiálem k hodnocení délky v určité hloubce. Sklon na začátku křivky nám představuje vrcholy a výstupky v povrchu. Sklon na konci křivky nám představuje prohlubně v profilu. [16]

Veličiny nosného podílu: [17]

R_a – Střední aritmetická hodnota drsnosti - Je aritmetický střed absolutních odchylek filtrovaného profilu, vypovídající hodnota je velice nízká, protože R_a nereaguje na extrémní výšku hrotů profilu a na hloubku rýh profilu.

R_z - Maximální výška profilu – Jedná se o součet výšky nejvyššího výstupku R_p a hloubky nejnižší rýhy R_v uvnitř základní délky.

R_{Sm} - Materiálový podíl drsnosti profilu – Jedná se o procentuální podíl součtu délek materiálových přímek v dané výšce profilu.

R_{mr} - Střední vzdálenost rýh – Jedná se o střední hodnotu roztečí nerovností profilu v rozsahu vyhodnocované délky.

R_k – Základní hloubka – „hloubka profilu jádra drsnosti (zóna s největším nárůstem podílu materiálu nad určitou hloubku)“

R_{pk} – Redukovaná výška špiček – „střední výška špiček profilu, vyčnívající z profilu drsnosti jádra“

Rvk – Redukovaná hloubka rýh – „střední hloubka rýh profilu, zasahujících z profilu jádra drsnosti do materiálu“

Mr1 – Podíl materiálu nad profilem jádra – „je určován linií řezu, která vymezuje profil jádra drsnosti ke straně bez materiálu“

Mr2 – Podíl materiálu pod profilem drsnosti – „je určován linií řezu, která vymezuje profil jádra drsnosti ke straně materiálu“

4.1 Druhy opotřebení

Mezi základní rozdělení opotřebení povrchu můžeme zařadit abrazivní opotřebení, adhezivní opotřebení a korozivní opotřebení. [18]

4.1.1 Abrazivní opotřebení

Abrazivní opotřebení lze rozdělit na dva druhy, a to na abraze s interakcí dvou těles a s interakcí tří těles. Abraze s interakcí dvou těles se týká dvou ploch, které po sobě kloužou, a tvrdší materiál z těchto dvou těles se zarývá do druhého tělesa, přičemž část materiálu z měkčího tělesa je unášena pryč. Typickým příkladem je například pilník, který obrušuje měkčí materiál, a unáší jej pryč. Jako další příklad lze uvést styk vačky s rolnou vahadla, styk kuliček, válečků v ložisku. K abrazi tří těles dochází tam, kde částice mezi dvěma povrchy odděluje materiál z jednoho nebo obou povrchů, příkladem je například čištění odlitků v bubnu. [18]

4.1.2 Adhezivní opotřebení

U adhezivního opotřebení je důležitá kompatibilita materiálů. Kompatibilitou se zde myslí „přilnavost“ materiálu, která vede ke vzniku adhezních spojů. Díky této kompatibilitě může vznikat vazba, která vyvolává zadření, a v extrémních případech i svaření za studena. Existuje však několik základních pravidel, která stačí dodržet při

výběru materiálu, aby nedocházelo k adhezivnímu opotřebení. Není vhodné volit materiály, které by v určitém prostředí tvořily slitiny. [18]

5 Souřadnicové měřicí stroje

Souřadnicové měřicí stroje jsou jednou z největších inovací v oblasti měření ve strojírenství. Vývoj těchto zařízení byl vynucen díky měření v leteckém a automobilovém průmyslu, kdy bylo zapotřebí změřit tvarově náročné dílce, které by se pomocí ručních měřidel daly velice těžko změřit. Princip samostatného měření je v nasnímání bodů, vyhodnocení v příslušném souřadném systému a výpočtu konkrétního elementu, jako je například válec, rovina, kruh. Měření pomocí tohoto zařízení představuje velkou úsporu času a zpřesnění výstupních hodnot.

Souřadnicové měřicí přístroje se dělí na laboratorní a dílenské. Dílenské stroje, jak už název napovídá, jsou umístěny v provozu a pracují v běžných podmínkách na pracovišti, proto je jejich konstrukce bytelnější, ale výstupní hodnoty nejsou tak přesné jako u laboratorních měřicích strojů. Laboratorní měřicí stroje jsou přesnější, musí pracovat v čistém a bezprašném prostředí. Teplota v místnosti by se neměla během měření měnit. Měřený díl musí být důkladně očištěn a natemperován na správnou teplotu, což může trvat i několik hodin. Mezi další vlivy, které mohou ovlivňovat měření, patří vibrace. Díky tomu je zapotřebí vybrat vhodné místo pro umístění stroje a místnost opatřit speciálními základy. [3]

5.1 Konstrukce souřadnicových měřicích strojů

Na pracovní desku, kterou tvoří samotný základ CMM, jsou kladeny vysoké požadavky co se týče rovinnosti a kolmosti. Minimální úchylka rovinnosti bývá kolem $2\mu\text{m}/\text{m}$. Mezi konstrukční prvky patří například pracovní deska, otočný stůl, vedení, most, vozík a pinola. [3]

Pracovní deska: Pracovní deska bývá nejčastěji vyrobena z granitu nebo diabasu. Výjimečně se jedná o litinový odlitek, ten se nejčastěji využívá pro menší dílenské stroje. Deska je ustavena na čtyřech základních podpěrách. Horní plocha desky je

broušená, aby bylo dosaženo správné rovinnosti, drsnosti a kolmosti. V pracovní ploše jsou otvory se závity, které slouží pro upínání měřeného dílu. Na koncích desky je vedení, po kterém jezdí most. [3]

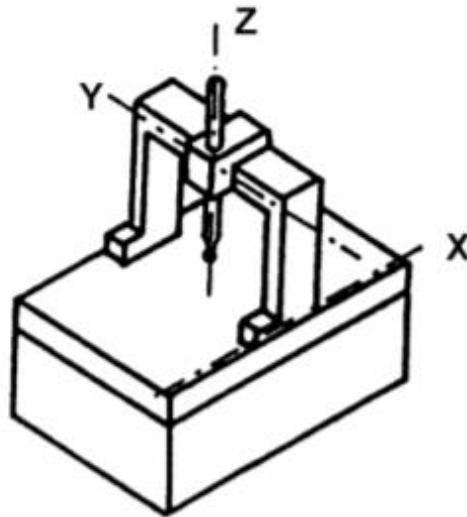
Vedení: Konstrukce CMM je provedena tak, aby se pohyblivé části pohybovaly lehce, bez trhavých pohybů a s maximální přesností. Pohyblivé části jsou uloženy tak, aby vykazovaly co nejmenší tření s minimálním opotřebením a maximální tuhostí. Mezi nejrozšířenější vedení patří aerostatické s plynným třením. Výhodou tohoto provedení je velmi malé tření i při vyšších rychlostech. Při tomto způsobu vedení je zapotřebí dodržovat čistotu a bezprašnost v měřicí místnosti. Prach způsobuje vydírání vzduchových ložisek, která by po čase mohla negativně ovlivnit výstupní hodnoty stroje. [3]

Otočný stůl: Otočný stůl je vhodný k měření nejen rotačních součástí (hřídelí, ozubených kol, lopatkových kol). Díky otočnému stolu je možné měřit pomocí čtyřosého skenování. Otočný stůl nám velice rozšiřuje použití CMM. Otočný stůl přináší hned několik výhod, a to například kratší objezdové dráhy, zvětšení použitelného rozsahu měřicího stroje, snadnější upínání a polohování stejných součástí. Otočný stůl je možné vyrovnat tak, abychom měřili s minimální chybou, která se může pohybovat pod 1 μ m. [19]

5.2 Typy konstrukcí souřadnicových měřicích strojů

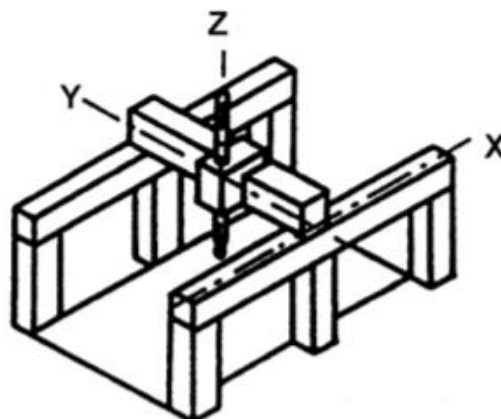
Mezi základní typy konstrukcí CMM patří konstrukce mostové, konzolové (výložníkové), pinolové, sloupové a stojanové. Každý z uvedených konstrukčních typů je vhodný pro rozdílné aplikace měření, nicméně princip jejich činnosti je zachován. Následně lze tyto stroje ještě rozdělit podle použitých stolů: na stroje s pohyblivým stolem, s pevným stolem a s pevnou deskou v úrovni podlahy. [3]

Portálová konstrukce: Portálová konstrukce CMM je jednou z nejrozšířenějších konstrukcí CMM strojů. Díky velice pevné konstrukci tyto stroje zajišťují velice přesné měření, oproti výložníkové či stojanové konstrukci. [3]



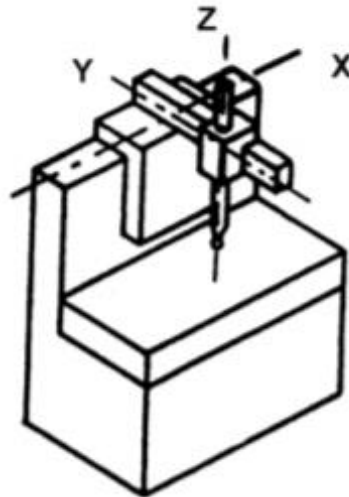
Obr. 4: Portálová konstrukce [25]

Mostová konstrukce: Mostový typ je jedním z nejpoužívanějších konstrukčních provedení CMM, a to hned ze dvou důvodů. Konstrukce je velice tuhá a vyniká značnou velikostí měřicího prostoru. [3]



Obr. 5: Mostová konstrukce [25]

Výložníková konstrukce: Tato konstrukce se nejčastěji používá pro měření středních a menších obrobků. Nevyniká tak velkou kapacitou měřicího prostoru, ale je zde lepší přístup k měřené součásti. [3]



Obr. 6: Výložníková konstrukce [25]

5.3 Snímací systém CMM strojů

Jedním z nejdůležitějších komponentů CMM je snímací systém. Snímací systém lze rozdělit na kontaktní a bezkontaktní. Kontaktní se dále dělí na pevný a otočný. Bezkontaktní se dále dělí na kamerové a laserové. V případě, že je extrakce bodů prováděna na základě fyzického kontaktu snímacího doteku s povrchem součásti, jedná se o systém dotykový. Použijeme-li ke snímání bodů kamerový či laserový systém, jde o měření bezkontaktní. Výhodou optického snímacího systému je vysoká produktivita ve snímání. Bohužel není tak přesný jako dotykový snímací systém, protože je náchylný na stabilitu světelných podmínek. [23]

Dotykový snímací systém: Funkce dotykových snímacích systémů je založena na fyzickém kontaktu, ke kterému dochází při kontaktu snímací sondy s měřeným dílem.

Nejrozšířenější jsou otočné snímací hlavy, a to díky své univerzálnosti použití, bohužel nejsou natolik přesné, aby se daly použít v nejpřesnější výrobě. Nepřesnost vzniká dvojicí kloubů, u kterých v čase narůstá nejistota polohování. Standardem v oblasti přesné výroby se staly pevné aktivní skenovací systémy. Tyto systémy si řídí přítlačnou sílu doteků v čase. [3]



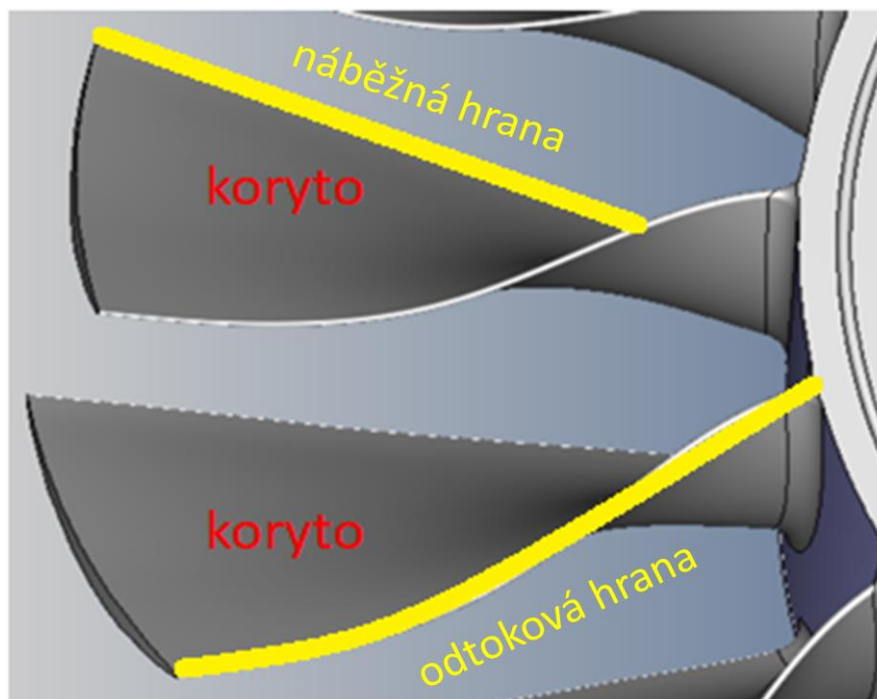
Obr. 7: Snímací systém VAST GOLD [26]

Optické snímací hlavy: Optické snímací hlavy jsou založeny na bezkontaktním způsobu snímání. Tyto snímací hlavy lze rozdělit na dvě hlavní kategorie, a to podle technologie snímání. U prvního typu je použit snímač s CCD senzorem, s diodovým nasvícením. U druhého typu je opět použit snímač s CCD senzorem, ale s laserovým nasvícením. Hlavní nevýhodou těchto snímacích hlav je problematické měření lesklých dílů, protože dochází k odrazu světelných paprsků. [24]

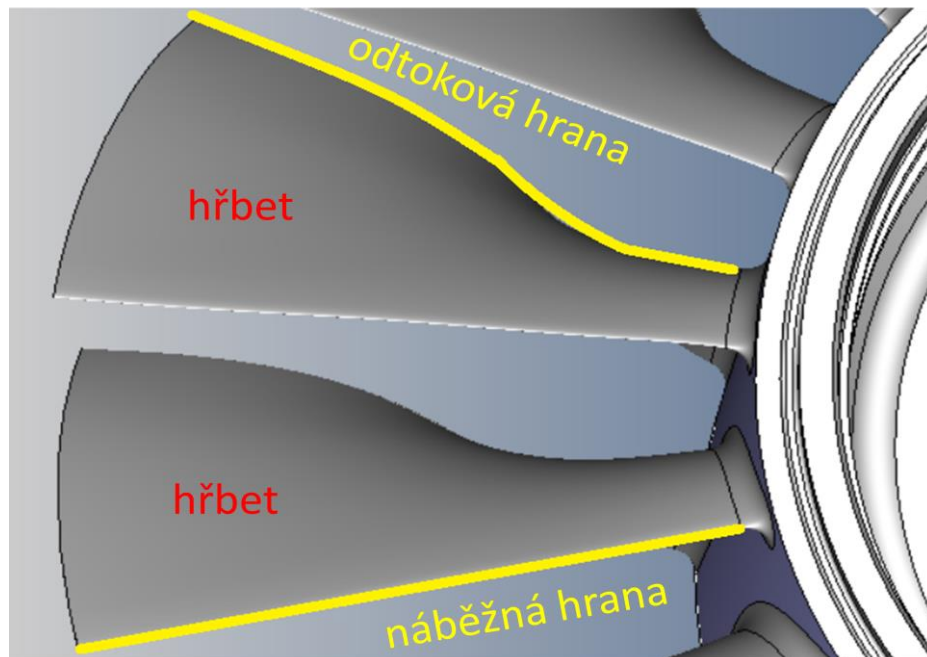
6 Praktická část

V praktické části této bakalářské práce popisují princip měření lopatkových kol na souřadnicovém měřicím zařízení, princip měření různých kol a následné vyhodnocení pěti různých experimentů nekonvenčního strojního leštění v zásypu kovových třísek.

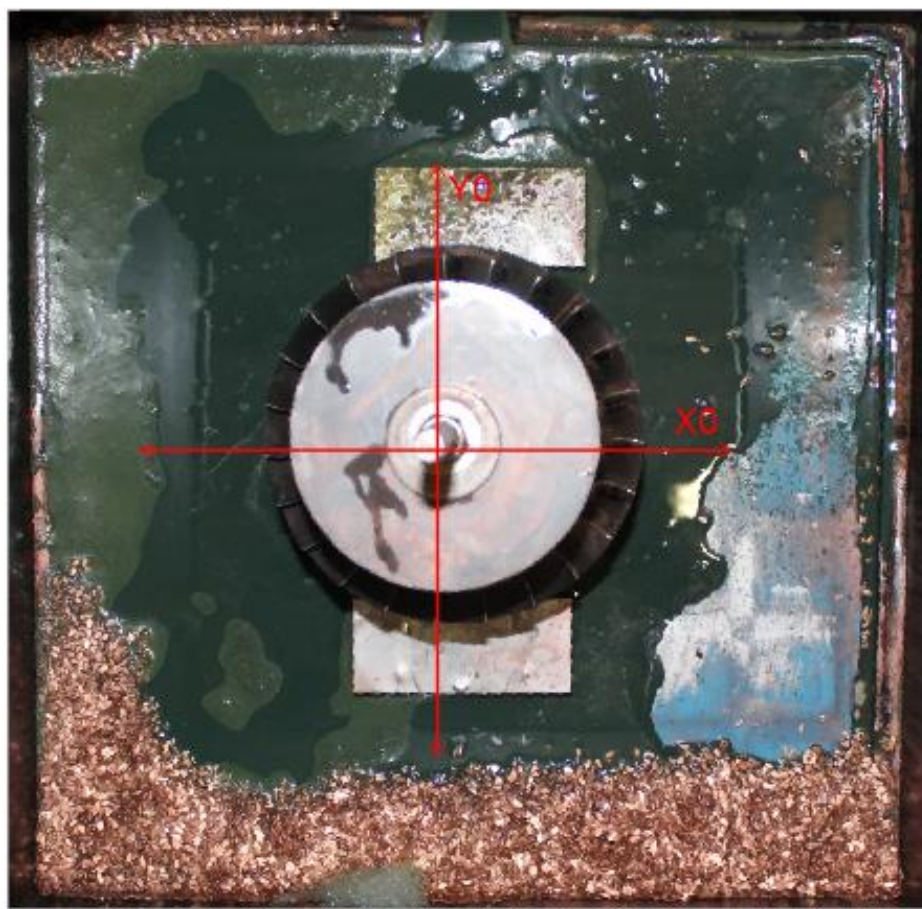
6.1 Použitá terminologie značení lopatek



Obr. 8: Koryto, náběžná hrana, odtoková hrana



Obr. 9: Hřbet, náběžná hrana, odtoková hrana



Obr. 10: Popis os pracovního prostoru

6.2 Princip měření

Měření lopatkových kol probíhalo na zařízení ZEISS PRISMO 9/12/7. Lopatkové kolo bylo na stroj upnuto pomocí otočného stolu značky ZEISS RT-01. Byl použit snímací systém VAST GOLD, jedná se o aktivní snímací systém. Otočný stůl nám umožnil měření těchto lopatkových kol, bez něj by byla tato aplikační úloha kvůli své tvarové složitosti nerealizovatelná. Do experimentu byla použita tři různá kola s označením 167, 370 a 417. Všechna tři kola byla změřena po obrábění a kuličkování, což jsou pro nás výchozí hodnoty v experimentech. Druhé měření bylo provedeno po leštění.

6.3 Princip leštění

Leštění bylo zajištěno nekonvenční metodou leštění. Všechna čtyři kola byla opatřena krycím systémem, který umožňoval odkrytí pouze některých částí kol. Tím pádem bylo možné pozorovat na jednom kole jednotlivé aspekty, které ovlivňují lešticí proces.

Lopatkové kolo 167: U kola 167 probíhal experiment ve třech fázích. První fáze probíhala s odkrytými lopatkami 1 až 8. Tato fáze probíhala 60 minut (30 minut proudilo abrazivo jedním směrem a dalších 30 minut došlo k reverzaci stroje tím pádem došlo ke změně pohybu omítacího média). Po 60 minutách došlo k odkrytí dalších lopatek, a to lopatek 9 až 14. Lopatky 1 až 8 zůstávají odkryté. Princip leštění se opakoval stejně jako v první fázi. Po druhé fázi došlo k odkrytí zbylých lopatek a následovala lešticí fáze, která byla stejná jako u první a druhé fáze. Po leštění se kolo vyjmulo, očistilo a předalo na měření.

Lopatkové kolo 370: U kola 370 probíhal experiment ve dvou různých fázích. První fáze probíhala s odkrytými lopatkami 1 až 11. Tato fáze probíhala 60 minut (30 minut proudilo abrazivo jedním směrem a dalších 30 minut došlo k reverzaci stroje). Při

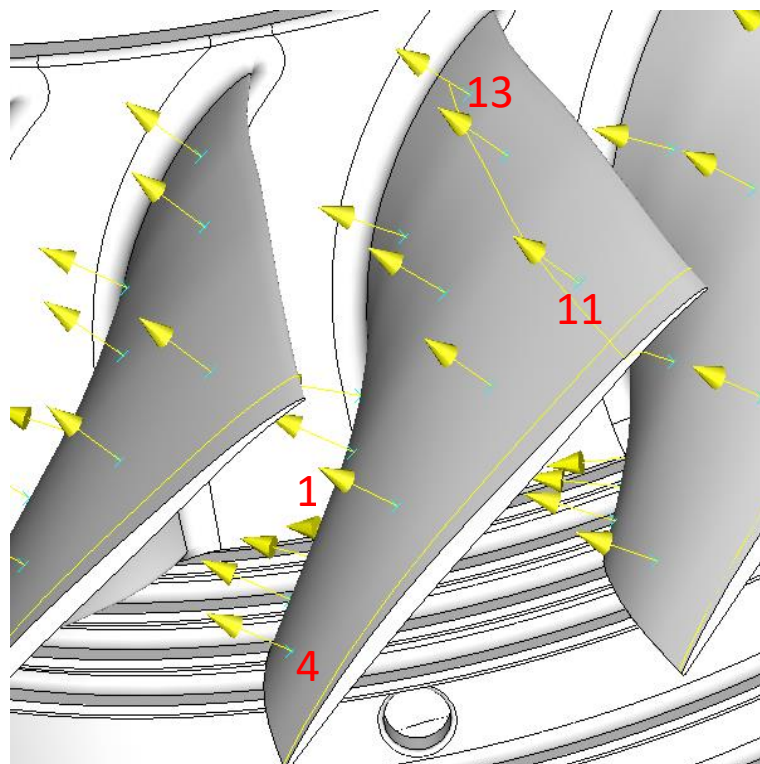
tomto leštění bylo lopatkové kolo vloženo do nádoby leštícího zařízení náběžnou hranou dolů. Po této fázi došlo k vyjmutí kola, zakrytí lopatek 1 až 11 a odkrytí lopatek 12 až 20. Následně bylo kolo vloženo do nádoby leštícího zařízení náběžnou hranou nahoru. Leštící fáze probíhala stejným principem. Po leštění se kolo vyjmul a předalo na měření.

Lopatkové kolo 471: U kola 471 probíhal experiment ve dvou různých fázích. První fáze probíhala s odkrytými lopatkami 21 až 7. Tato fáze probíhala 60 minut (30 minut proudilo abrazivo jedním směrem a dalších 30 minut došlo k reverzaci stroje). Při tomto leštění bylo lopatkové kolo vloženo do zařízení náběžnou hranou dolů a vrstva abraziva nad kolem byla 400 mm. Po této fázi došlo k vyjmutí kola, zakrytí lopatek 21 až 7 a odkrytí lopatek 9 až 18. Kolo bylo vloženo do zařízení opět náběžnou hranou dolů, ale výška náplně nad kolem byla pouze 250 mm. Leštící fáze probíhala stejným principem. Po leštění se kolo vyjmul a předalo na měření.

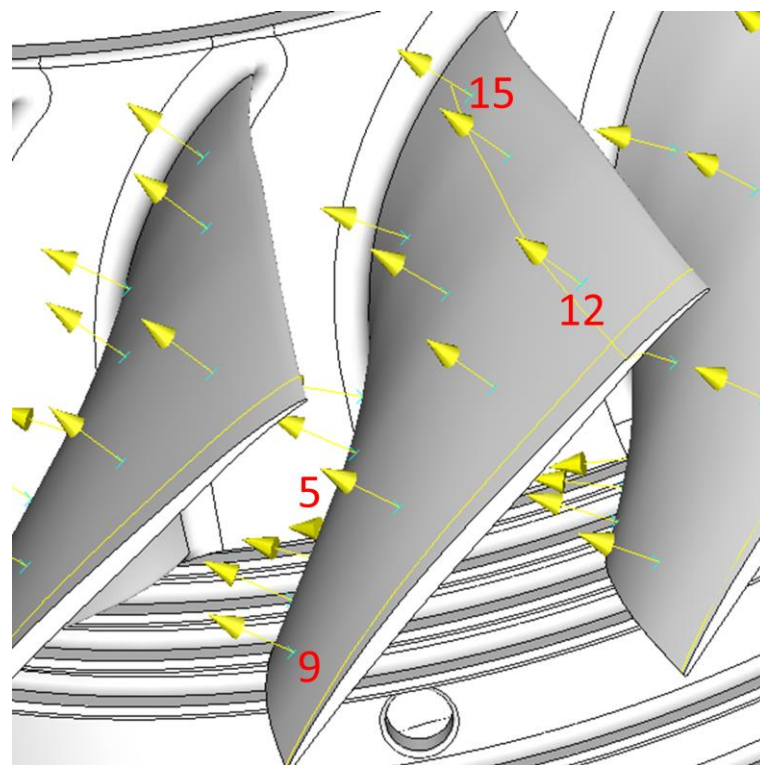
6.4 Experiment 1

Při tomto experimentu jsem porovnával úběr materiálu v bodech 13, 11, 4 a 1 na lopatkovém kole 167 a v bodech 15, 12, 9 a 5 na lopatkovém kole 417. Pro kola 167 jsem vybral lopatky na X0 - 1,9,15 a lopatky na Y0 - 7, 14, 21. Pro kola 417 jsem vybral lopatky na X0 - 1, 10 a lopatky na Y0 - 6, 16.

Výsledek tohoto experimentu vyšel u kola 167 dle předpokladů. Úběr v bodech 11 a 4 byl znatelně větší než úběr v bodech 13 a 1. Tento výsledek je způsoben tím, že cirkulace leštícího média v bodech 13 a 1 je menší než v bodech 11 a 4. To je dáno tím, že se lopatky od středu ven rozestupují, mají mezi sebou větší rozestup a abrazivo má tím pádem větší tendenci v těchto místech proudit. Nejznatelnější rozdíl je mezi lopatkou 4 a 13.



Obr. 11: Grafické znázornění bodů 13, 11, 4 a 1 u kola 167

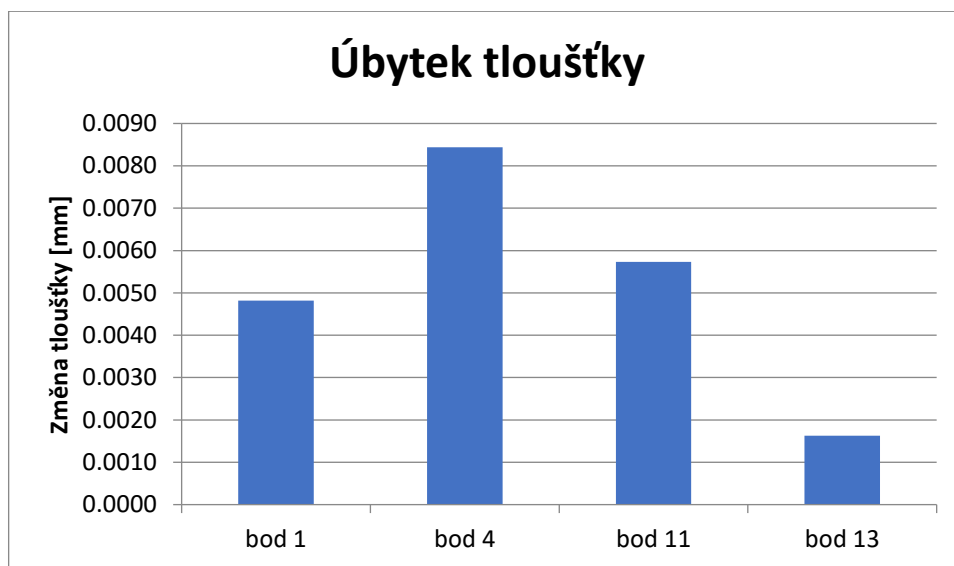


Obr. 12: Grafické znázornění bodů 15, 12, 9 a 5 u kola 417

6.4.1 Grafické znázornění experimentu 1

Tab. 2: Průměrný úběr v bodech 1, 4, 11 a 13 na lopatkovém kole 167

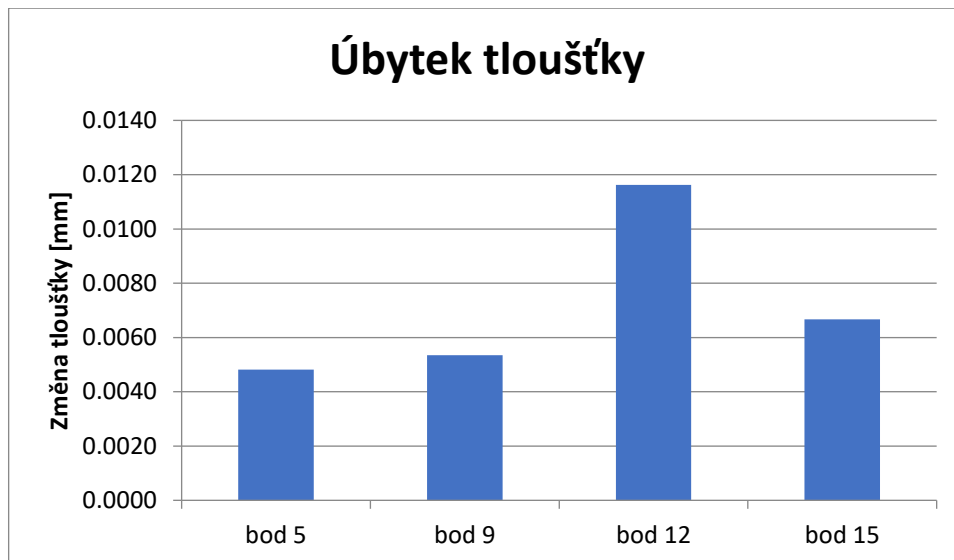
[mm]	Č. bodu	Úbytek tloušťky
167	bod 1	0,0048
	bod 4	0,0084
	bod 11	0,0057
	bod 13	0,0016



Graf 1: Průměrný úběr v bodech 1, 4, 11 a 13 na lopatkovém kole 167

Tab. 3: Průměrný úběr v bodech 5, 9, 12 a 15 na lopatkovém kole 417

[mm]	Č. bodu	Úbytek tloušťky
417	bod 5	0,0048
	bod 9	0,0053
	bod 12	0,0116
	bod 15	0,0067

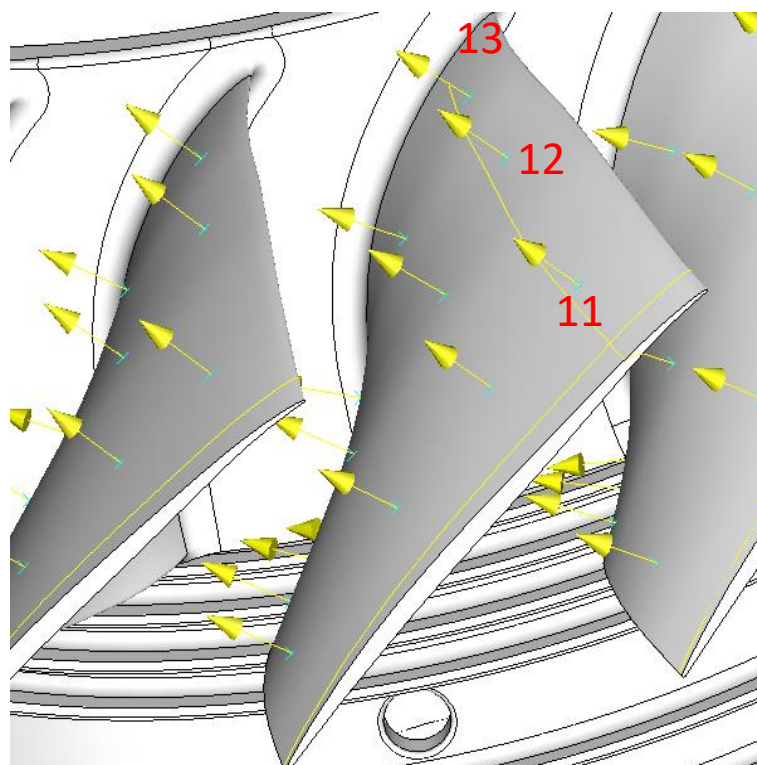


Graf 2: Průměrný úběr v bodech 5, 9, 12 a 15 na lopatkovém kole 417

Poznámka: Na lopatkovém kole 417, v bodě 5 na lopatce číslo 16 došlo k chybnému měření a výsledná hodnota tloušťky lopatky vyšla záporná. Tím pádem jsem byl nucen volit nejbližší možnou lopatku a zvolil jsem lopatku číslo 17.

6.5 Experiment 2

V tomto experimentu jsem prověřoval hypotézu, která vyšla z prvního experimentu. Na bodech, které jsou vzdálenější více od středu, je mnohem znatelnější úběr materiálu než na bodech, které jsou blíže ke středu lopatkového kola. Proto jsem porovnával body 13, 12, a 11, a to na lopatkových kolech 167 a 417. Pro lopatkové kolo 167 jsem vybral lopatky 1, 7, 9, 14, 15 a 20. Pro lopatkové kolo 417 jsem vybral lopatky 1, 6, 10 a 16. Průměrná hodnota úběru materiálu na kole 167 v bodě 13 byla 0,0016 μm , kdežto v bodě 11 byl průměrný úběr 0,0057 μm . U lopatkového kola 417 byl největší rozdíl mezi bodem 12 a 13. Rozdíl je velice nepatrný, tím pádem bych popisovanou hypotézu považoval za správnou. Tento rozdíl mohl vzniknout i nepřesným měřením.

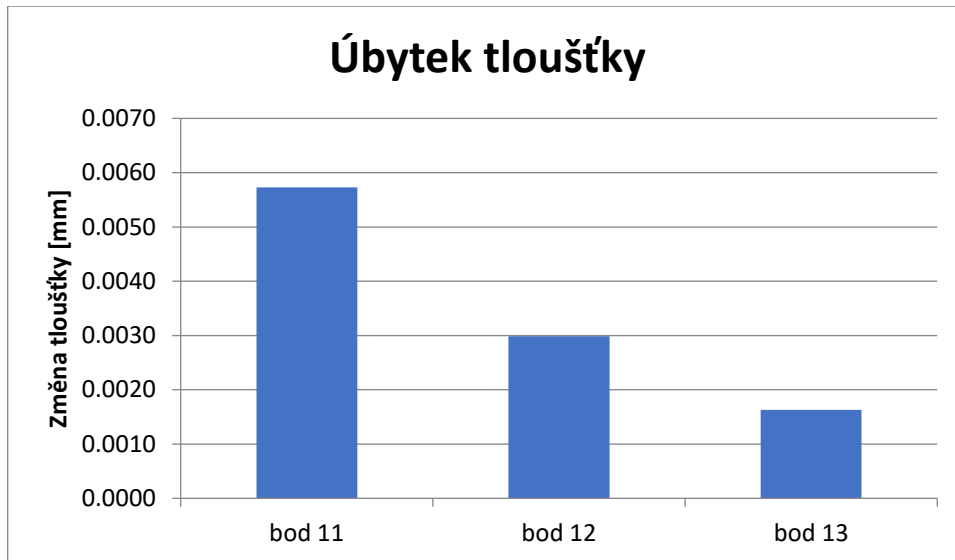


Obr. 13: Grafické znázornění bodů 11, 12 a 13 u kola 167 a 417

6.5.1 Grafické znázornění experimentu 2

Tab. 4: Průměrný úběr v bodech 11, 12 a 13 na lopatkovém kole 167

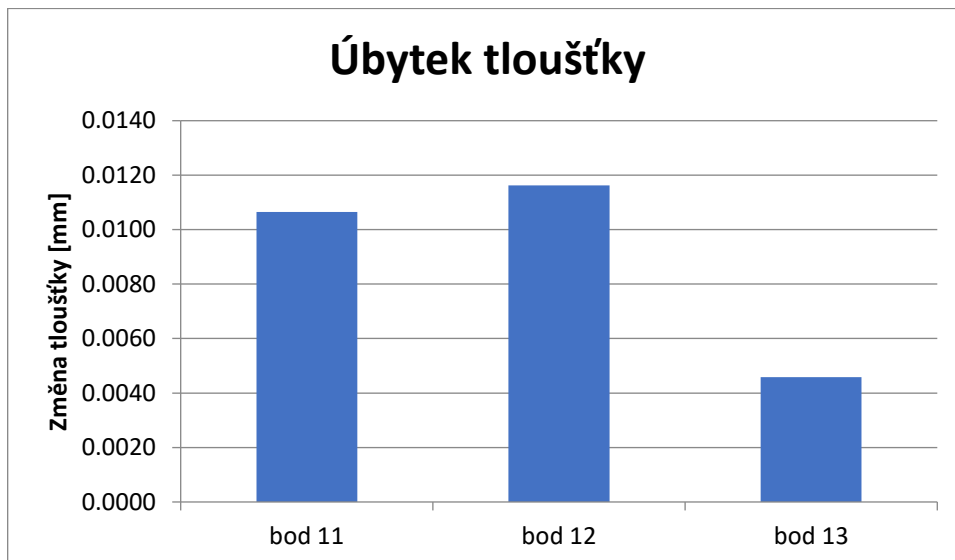
[mm]	Č. bodu	Úbytek tloušťky
167	bod 11	0,0057
	bod 12	0,0030
	bod 13	0,0016



Graf 3: Průměrný úběr v bodech 11, 12 a 13 na lopatkovém kole 167

Tab. 5: Průměrný úběr v bodech 11, 12 a 13 na lopatkovém kole 417

[mm]	Č. bodu	Úbytek tloušťky
417	bod 11	0,0106
	bod 12	0,0116
	bod 13	0,0046

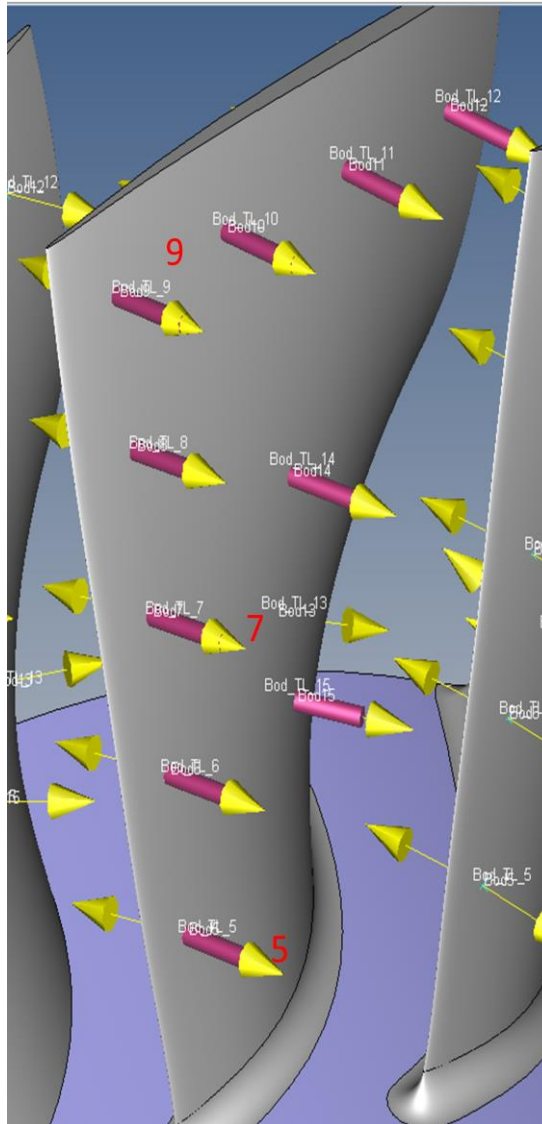


Graf 4: Průměrný úběr v bodech 11, 12 a 13 na lopatkovém kole 417

6.6 Experiment 3

V tomto experimentu jsem porovnával, jak závisí úběr materiálu na umístění lopatkového kola v pracovním prostoru. Lopatkového kola bylo umístěno náběžnou hranou nahoru a následně náběžnou hranou dolů. Tento experiment probíhal na lopatkovém kole 370, vybral jsem si body 5, 7 a 9, protože jsou k tomu experimentu nejvhodnější. Lopatky jsem opět volil na ose X0, a to 1 a 19, a na ose Y0 a to 7 a 13.

Při vyhodnocení tohoto experimentu se ukázalo, že úběr v blízkosti náběžné materiálu je nepatrně lepší v případě, kdy lopatkové kolo leží náběžnou hranou dolů. To je způsobeno tím, že médium se díky lopatkám usměrní, a proto okolo náběžné hrany lépe protéká, kdežto v pozici náběžnou hranou nahoru se v okolí náběžné hrany médium pohybuje chaoticky.

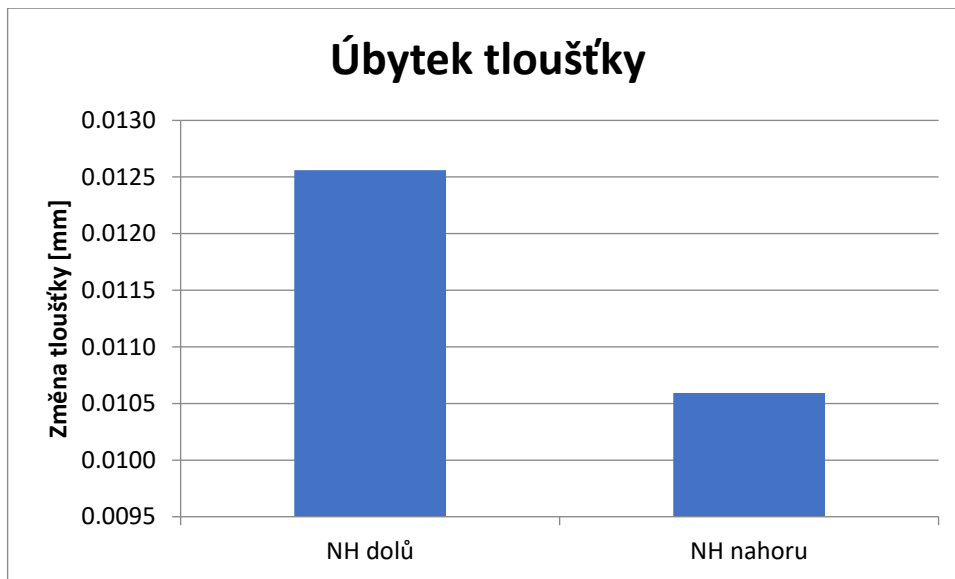


Obr. 14: Grafické znázornění bodů 9, 7 a 5 u kola 370

6.6.1 Grafické znázornění experimentu 3

Tab. 6: Průměrný úběr vzhledem k natočení lopatkového kola 370

[mm]	NH nahoru/dolů	Úbytek tloušťky
370	NH dolů	0,0126
	NH nahoru	0,0106

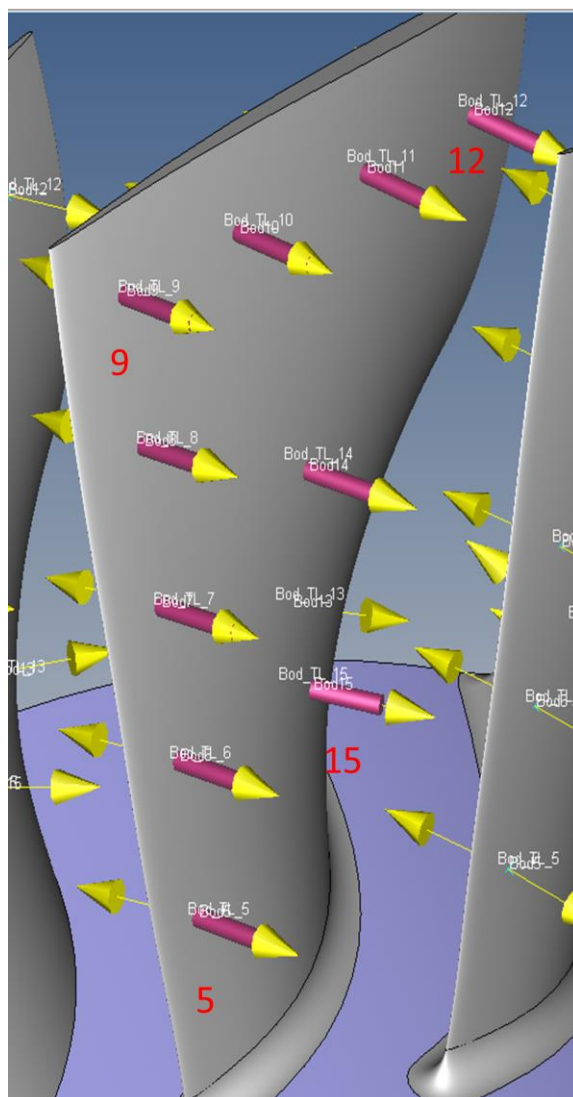


Graf 5: Průměrný úběr vzhledem k natočení lopatkového kola 370

6.7 Experiment 4

V tomto experimentu jsem zkoumal, jaký vliv má množství média, které je nasypané nad lopatkovým kolem. Při prvním měření bylo kolo leštěno vrstvou abraziva do výšky 400 mm, při druhém měření bylo kolo leštěno vrstvou abraziva do výšky 250 mm.

Průměrný úběr materiálu při výšce abraziva 400 mm byl 0,0118 μm a průměrný úběr materiálu při výšce abraziva 250 mm byl 0,0091 μm .

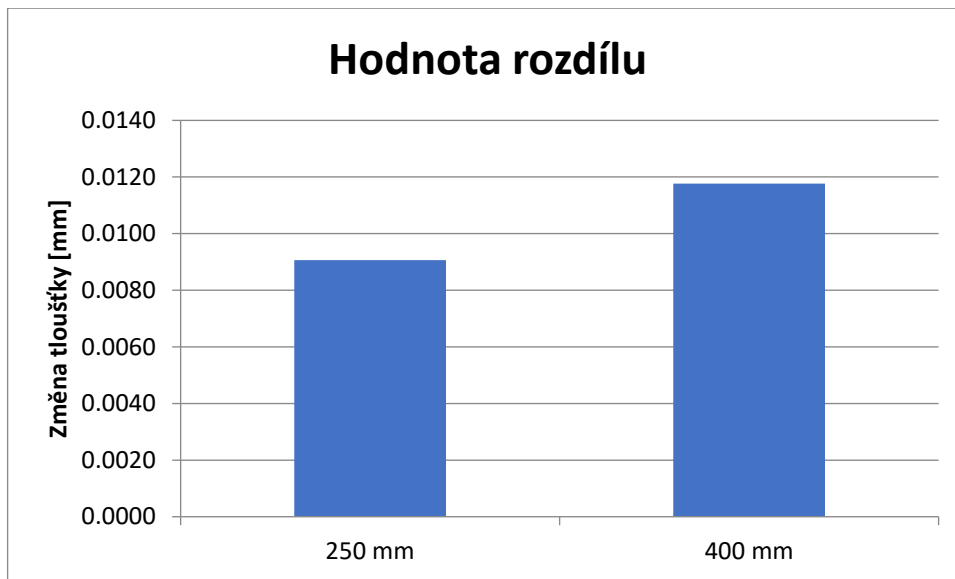


Obr. 15: Grafické znázornění bodů 15, 12, 9 a 5 u kola 417

6.7.1 Grafické znázornění experimentu 4

Tab. 7: Průměrný úběr vzhledem k výšce náplně na lopatkovém kole 417

[mm]	Zaplnění pracovního prostoru [mm]	Hodnota rozdílu
417	250 mm	0,0091
	400 mm	0,0118



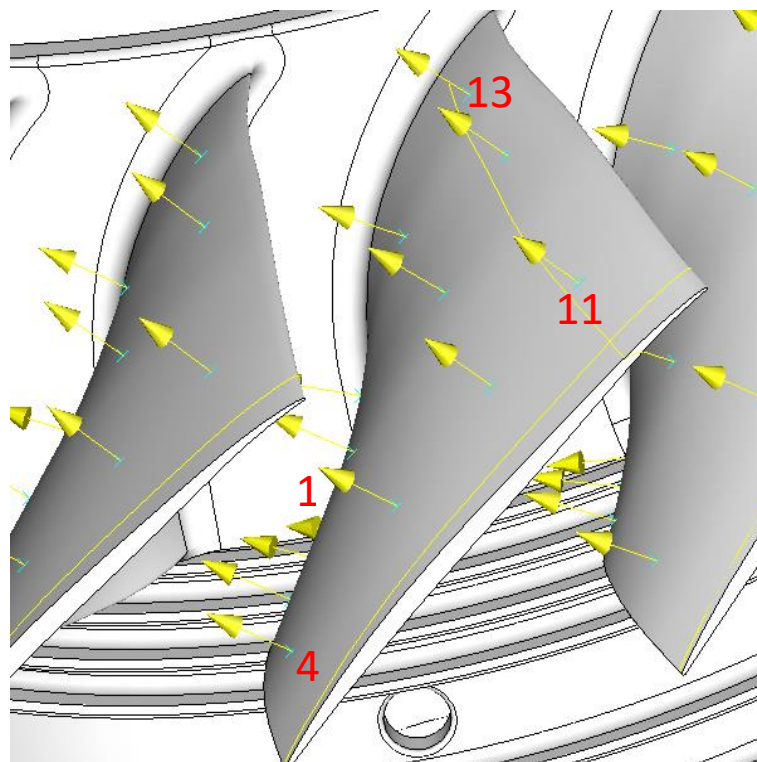
Graf 6: Průměrný úběr vzhledem k výšce náplně na lopatkovém kole 417

Poznámka: Na lopatkovém kole 417, v bodě 12 na lopatce číslo 3 při výšce abraziva 250 mm došlo k chybnému měření a výsledná hodnota tloušťky lopatky vyšla záporná. Tím pádem jsem byl nucen volit nejbližší možnou lopatku a zvolil jsem lopatku číslo 2.

6.8 Experiment 5

V tomto experimentu jsem sledoval, jaký vliv bude mít čas leštění na úběru materiálu. Pro tento experiment jsem si vybral lopatkové kolo 167 a body 13, 11, 4 a 1. Pro čas leštění 60 minut jsem vybral lopatky 16, 19 a 23. Pro čas leštění 120 minut jsem vybral lopatky 9, 11 a 14. Pro čas leštění 180 minut jsem vybral lopatky 1, 4 a 8.

Výsledek leštění dopadl dle mého očekávání. Úběr materiálu je závislý na času leštění. Čím déle bude lopatkové kolo leštěné, tím dojde k většímu úběru materiálu. Úběr materiálu bude postupně klesat s časem leštění díky opotřebení a rozpadu abraziva.

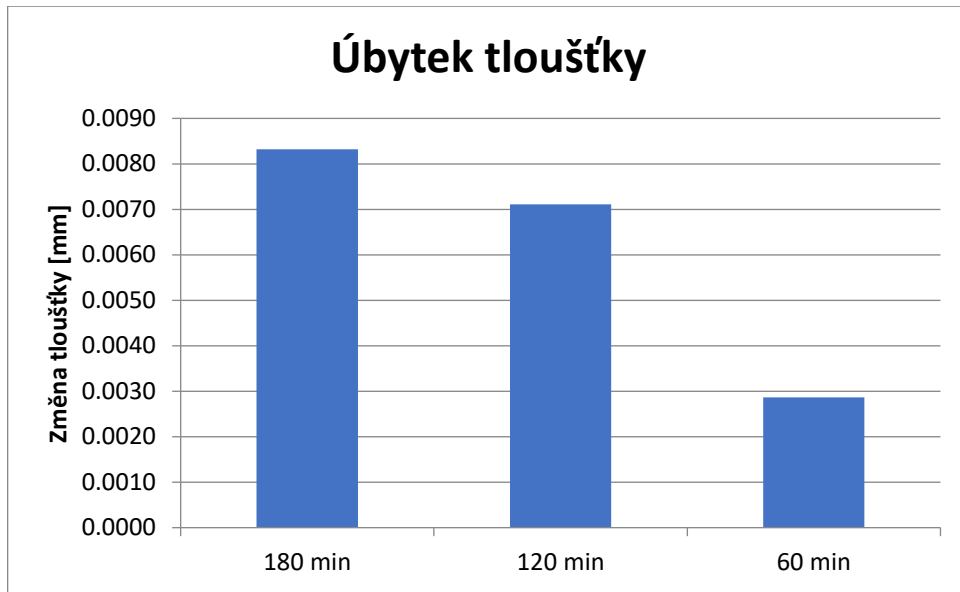


Obr. 16: Grafické znázornění bodů 1, 4, 11 a 13 u kola 167

6.8.1 Grafické znázornění experimentu 5

Tab. 8: Průměrný úběr vzhledem k času leštění na lopatkovém kole 167

[mm]	Čas leštění	Úbytek tloušťky
167	180 min	0,0083
	120 min	0,0071
	60 min	0,0029



Graf 7: Průměrný úběr vzhledem k času leštění na lopatkovém kole 167

7 Závěr

Tato bakalářská práce pojednává o problematice broušení a leštění titanových lopatkových kol, které jsou použity v leteckých motorech, stacionárních turbínách a nezávislých pohonných jednotkách, kde jsou kladeny ty nejvyšší nároky na bezpečnost a provozní spolehlivost. V teoretické části bakalářské práce jsem analyzoval a hodnotil různé technologie dokončování povrchů lopatek. Vzhledem ke geometrické složitosti lopatkových dílu jsem hlavní pozornost věnoval nekonvenčním technologiím strojního leštění dostupným na světovém trhu technologií. Již při zadání bakalářské práce jsem měl k dispozici několik součástí dokončených technologií strojního leštění v zásypu měděných třísek od italského výrobce, jejichž analýza je předmětem praktické části. Popis potřebných analytických technologií, postupů a metod měření je rozpracován v teoretické části.

Vzhledem k minimálním zkušenostem s použitou technologií leštění na území České republiky bylo cílem experimentů provést základní hodnocení tohoto procesu, upozornit na nedostatky a anizotropie úběrů. Prezentované experimenty byly navrženy tak, abych na základě měření a vyhodnocení mohl potvrdit nebo vyvrátit hypotézy a mohl formulovat základní technologická doporučení pro další vývojové zkoušky. Hodnoceno bylo celkem pět experimentů.

První experiment byl proveden na lopatkových kolech 167 a 417. Cílem bylo zjistit, ve kterých bodech dochází k největšímu a nejmenšímu úběru materiálu a jestli úběr materiálu probíhá systematicky nebo je nahodilý. Úběr materiálu u lopatkového kola 167 vyšel dle mé hypotézy. V bodech, které jsou vzdálenější od středu kola, je úběr materiálu znatelnější než v bodech, které jsou ke středu blíže. Bohužel u lopatkového kola 417 nebyl výsledek tak jednoznačný, ale částečně potvrzuje mou hypotézu výjma bodu 15.

Druhý experiment byl proveden opět na kolech 167 a 417. Cílem bylo potvrdit hypotézu z prvního experimentu, a proto jsem vybral tři body z náběžné hrany. U lopatkového kola 167 se hypotéza potvrdila, bohužel u druhého kola 417 nebyl

výsledek tak jednoznačný, protože v prostředním bodě došlo k většímu úběru než v bodě, který je nejvzdálenější od středu, rozdíl byl však minimální.

Třetí experiment byl proveden na lopatkovém kole 370. V tomto experimentu jsem se věnoval tomu, jaký vliv má umístění lopatkového kola v pracovním prostoru. Lopatkové kolo bylo opatřeno krycím systémem, který zakrýval část lopatek, aby bylo možné leštění provést ve dvou fázích. V první fázi bylo lopatkové kolo vloženo do zařízení náběžnou hranou nahoru a ve druhé fázi bylo lopatkové kolo vloženo náběžnou hranou dolů. Rozdíl v leštění nebyl tak zásadní, jak jsem očekával, ale když bylo kolo leštěno náběžnou hranou dolů, došlo k většímu úběru materiálu. To bylo způsobeno tím, že se médium lépe usměrní a tím pádem lépe proudí mezi lopatkami.

Čtvrtý experiment byl proveden na lopatkovém kole 417. V tomto experimentu jsem pozoroval, jaký vliv má výška média nad lopatkovým kolem. Kolo bylo opět opatřeno krycím systémem, aby bylo možné leštění provést ve dvou fázích. Výsledek vyšel dle mé hypotézy, kdy výška média má vliv na úběr materiálu.

Pátý a poslední experiment probíhal na lopatkovém kole 167. V tomto experimentu jsem porovnával, jaký vliv má čas leštění. Lopatkové kolo bylo opatřeno krycím systémem, aby bylo možné proces provést třikrát. Při prvním leštění byla odhalena pouze jedna část lopatek, při druhém leštění byly odhaleny dvě části lopatek a v poslední fázi bylo odkryté celé lopatkové kolo. Úběr materiálu je závislý na času leštění. Čím déle jsou lopatky leštěny, tím větší je úběr materiálu. Rychlost úběru materiálu však s postupem času klesá, což je způsobeno degradací abraziva.

Uvedené výsledky budou dále využity pro optimalizaci a zavedení strojního leštění lopatkových kol. Všechny cíle bakalářské práce byly splněny.

8 Literatura

[1] MASLOV, J. N. *Teorie broušení kovů*. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1979.

[2] SEDLÁČEK, Vladimír. *Titan a jeho slitiny: výroba, zpracování a použití*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.

[3] EDITED BY ROBERT J. HOCKEN & PAULO H. PEREIRA. *Coordinate measuring machines and systems*. 2nd ed. Boca Raton, Fla: CRC Press, 2012. ISBN 9781420017533.

[4] MACEK, Karel a České vysoké učení technické v Praze. Strojní fakulta. *Kovové materiály*. Vyd. 1. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 9788001035139;8001035131;.

[5] [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1825>

[6] [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni.html>

[7] [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62016/elektrolyticke-lesteni-korozivzdornych-oceli.html>

[8] [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://rosma.cz/galvanovna/zinkovani>

[9] [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.klematcz.cz/elektrochemicke-lesteni.html>

[10] [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1388>

[11] [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://cz.rosler.com/cz-cs/>

[12] [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z:
<https://patents.google.com/patent/US20170361422A1/en?q=terence&q=brand&q=GE&q=airfoil&q=finish&oq=terence+brand+GE+airfoil+finish>

[13][online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.otec.de/cz/>

[14][online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z:
<http://mmptechnology.com/site/contact-us/>

[15][online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z:
<https://www.flowgrinding.com/products-services/abrasive-flow-machining-systems/>

[16][online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z:
<https://www.skf.com/cz/products/seals/industrial-seals/hydraulic-seals/general-technical-information/specifications-for-effective-sealing-systems/counter-surface-finish-properties/index.html>

[17][online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.hommel-etamic.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>

[18][online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-druhy-opotrebeni>

[19] CALYPSO, *Základní program, Návod k obsluze.*

[20] [online]. [cit. 2019-05-29]. Dostupné z:
<https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-2-2.html>

[21] [online]. [cit. 2019-05-29]. Dostupné z:

<https://www.slideshare.net/sagaragarwal7/abrasive-flow-machining-afm>

[22] [online]. [cit. 2019-05-29]. Dostupné z:

<http://utpedia.utp.edu.my/6352/1/5.pdf>

[23] ČEPOVÁ, Lenka a Lenka PETŘKOVSKÁ. Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch: studijní opora. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2514-4.

[24] URBAN, Jan. Nasazení CMM technologií v rámci kontroly kvality v malém a středním podniku. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Libor Beránek.

[25] TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1209-6.

[26] [online]. [cit. 2019-05-29]. Dostupné z:

<https://www.zeiss.com/metrology/products/sensors/on-cmm/tactile-scanning-probe/vast-gold.html>

[27] [online]. [cit. 2019-05-30]. Dostupné z:

<http://www.timet.com/assets/local/documents/datasheets/alphaandbetaalloys/6-4.pdf>

9 Seznamy

9.1 Obrázky

Obr. 1: Schéma pro elektrochemické leštění [20]	13
Obr. 2: Omílací zařízení značky OTEC Präzisionsfinish řady SF [13]	17
Obr. 3: Princip průtokového broušení [22]	19
Obr. 4: Portálová konstrukce [25]	25
Obr. 5: Mostová konstrukce [25]	25
Obr. 6: Výložníková konstrukce [25]	26
Obr. 7: Snímací systém VAST GOLD [26]	27
Obr. 8: Koryto, náběžná hrana, odtoková hrana	28
Obr. 9: Hřbet, náběžná hrana, odtoková hrana	29
Obr. 10: Popis os pracovního prostoru	29
Obr. 11: Grafické znázornění bodů 13, 11, 4 a 1 u kola 167	32
Obr. 12: Grafické znázornění bodů 15, 12, 9 a 5 u kola 417	32
Obr. 13: Grafické znázornění bodů 11, 12 a 13 u kola 167 a 417	35
Obr. 14: Grafické znázornění bodů 9, 7 a 5 u kola 370	38
Obr. 15: Grafické znázornění bodů 15, 12, 9 a 5 u kola 417	40
Obr. 16: Grafické znázornění bodů 1, 4, 11 a 13 u kola 167	42

9.2 Tabulky

Tab. 1: Chemické vlastnosti [27]	11
Tab. 2: Průměrný úběr v bodech 1, 4, 11 a 13 na lopatkovém kole 167	33
Tab. 3: Průměrný úběr v bodech 5, 9, 12 a 15 na lopatkovém kole 417	33
Tab. 4: Průměrný úběr v bodech 11, 12 a 13 na lopatkovém kole 167	35
Tab. 5: Průměrný úběr v bodech 11, 12 a 13 na lopatkovém kole 417	36
Tab. 6: Průměrný úběr vzhledem k natočení lopatkového kola 370	38
Tab. 7: Průměrný úběr vzhledem k výšce náplně na lopatkovém kole 417	40

Tab. 8: Průměrný úběr vzhledem k času leštění na lopatkovém kole 167	42
Tab. 9: Lopatkové kolo 167 - bod 13.....	54
Tab. 10: Lopatkové kolo 167 - bod 11	54
Tab. 11: Lopatkové kolo 167 - bod 4.....	55
Tab. 12: Lopatkové kolo 167 - bod 1.....	56
Tab. 13: Lopatkové kolo 417 - bod 15	56
Tab. 14: Lopatkové kolo 417 - bod 12	57
Tab. 15: Lopatkové kolo 417 - bod 9.....	57
Tab. 16: Lopatkové kolo 417 - bod 5.....	58
Tab. 17: Lopatkové kolo 167 - bod 13	59
Tab. 18: Lopatkové kolo 167 - bod 12	59
Tab. 19: Lopatkové kolo 167 - bod 11	60
Tab. 20: Lopatkové kolo 417 - bod 13	61
Tab. 21: Lopatkové kolo 417- bod 12	61
Tab. 22: Lopatkové kolo 417- bod 11	62
Tab. 23: Lopatkové kolo 370 - bod 5.....	62
Tab. 24: Lopatkové kolo 370 - bod 7.....	63
Tab. 25: Lopatkové kolo 370 - bod 9.....	63
Tab. 26: Průměrný úběr NH dolů	64
Tab. 27: Lopatkové kolo 370 - bod 5.....	64
Tab. 28: Lopatkové kolo 370 - bod 7.....	65
Tab. 29: Lopatkové kolo 370 - bod 9.....	65
Tab. 30: Průměrný úběr NH nahoru	66
Tab. 31: Lopatkové kolo 417 - bod 15	67
Tab. 32: Lopatkové kolo 417 - bod 12	67
Tab. 33: Lopatkové kolo 417 - bod 9.....	68
Tab. 34: Lopatkové kolo 417 - bod 5.....	68
Tab. 35: Průměrný úběr pro 250 mm	69
Tab. 36: Lopatkové kolo 417 - bod 15	70
Tab. 37: Lopatkové kolo 417 - bod 12	71
Tab. 38: Lopatkové kolo 417 - bod 9.....	71
Tab. 39: Lopatkové kolo 417 - bod 5.....	72

Tab. 40: Průměrný úběr pro 400 mm	72
Tab. 41: Lopatkové kolo 167 - bod 13	73
Tab. 42: Lopatkové kolo 167 - bod 11	73
Tab. 43: Lopatkové kolo 167 - bod 4.....	74
Tab. 44: Lopatkové kolo 167 - bod 1.....	74
Tab. 45: Průměrný úběr po 180 min.....	75
Tab. 46: Lopatkové kolo 167 - bod 13	76
Tab. 47: Lopatkové kolo 167 - bod 11	76
Tab. 48: Lopatkové kolo 167 - bod 4.....	77
Tab. 49: Lopatkové kolo 167 - bod 1.....	77
Tab. 50: Průměrný úběr po 120 min.....	78
Tab. 51: Lopatkové kolo 167 - bod 13	79
Tab. 52: Lopatkové kolo 167 - bod 11	79
Tab. 53: Lopatkové kolo 167 - bod 4.....	80
Tab. 54: Lopatkové kolo 167 - bod 1.....	80
Tab. 55: Průměrný úběr po 60 min.....	81

9.3 Grafy

Graf 1: Průměrný úběr v bodech 1, 4, 11 a 13 na lopatkovém kole 167.....	33
Graf 2: Průměrný úběr v bodech 5, 9, 12 a 15 na lopatkovém kole 417.....	34
Graf 3: Průměrný úběr v bodech 11, 12 a 13 na lopatkovém kole 167.....	36
Graf 4: Průměrný úběr v bodech 11, 12 a 13 na lopatkovém kole 417.....	36
Graf 5: Průměrný úběr vzhledem k natočení lopatkového kola 370.....	39
Graf 6: Průměrný úběr vzhledem k výšce náplně na lopatkovém kole 417	41
Graf 7: Průměrný úběr vzhledem k času leštění na lopatkovém kole 167.....	43
Graf 8: Lopatkové kolo 167 - bod 13	54
Graf 9: Lopatkové kolo 167 - bod 11	55
Graf 10: Lopatkové kolo 167 - bod 4	55
Graf 11: Lopatkové kolo 167 - bod 1	56
Graf 12: Lopatkové kolo 417 - bod 15	57

Graf 13: Lopatkové kolo 417 - bod 12	57
Graf 14: Lopatkové kolo 417 - bod 9	58
Graf 15: Lopatkové kolo 417 - bod 5	58
Graf 16: Lopatkové kolo 167 - bod 13	59
Graf 17: Lopatkové kolo 167 - bod 12	60
Graf 18: Lopatkové kolo 167 - bod 11	60
Graf 19: Lopatkové kolo 417 - bod 13	61
Graf 20: Lopatkové kolo 417 - bod 12	61
Graf 21: Lopatkové kolo 417 - bod 11	62
Graf 22: Lopatkové kolo 370 - bod 5	63
Graf 23: Lopatkové kolo 370 - bod 7	63
Graf 24: Lopatkové kolo 370 - bod 9	64
Graf 25: Průměrný úběr NH dolů	64
Graf 26: Lopatkové kolo 370 - bod 5	65
Graf 27: Lopatkové kolo 370 - bod 7	65
Graf 28: Lopatkové kolo 370 - bod 9	66
Graf 29: Průměrný úběr NH nahoru	66
Graf 30: Lopatkové kolo 417 - bod 15	67
Graf 31: Lopatkové kolo 417 - bod 12	68
Graf 32: Lopatkové kolo 417 - bod 9	68
Graf 33: Lopatkové kolo 417 - bod 5	69
Graf 34: Průměrný úběr pro 250 mm	70
Graf 35: Lopatkové kolo 417 - bod 15	70
Graf 36: Lopatkové kolo 417 - bod 12	71
Graf 37: Lopatkové kolo 417 - bod 9	71
Graf 38: Lopatkové kolo 417 - bod 5	72
Graf 39: Průměrný úběr pro 400 mm	72
Graf 40: Lopatkové kolo 167 - bod 13	73
Graf 41: Lopatkové kolo 167 - bod 11	74
Graf 42: Lopatkové kolo 167 - bod 4	74
Graf 43: Lopatkové kolo 167 - bod 1	75
Graf 44: Průměrný úběr po 180 min.....	75

Graf 45: Lopatkové kolo 167 - bod 13	76
Graf 46: Lopatkové kolo 167 - bod 11	77
Graf 47: Lopatkové kolo 167 - bod 4	77
Graf 48: Lopatkové kolo 167 - bod 1	78
Graf 49: Průměrný úběr po 120 min.....	78
Graf 50: Lopatkové kolo 167 - bod 13	79
Graf 51: Lopatkové kolo 167 - bod 11	80
Graf 52: Lopatkové kolo 167 - bod 4	80
Graf 53: Lopatkové kolo 167 - bod 1	81
Graf 54: Průměrný úběr po 60 min.....	81

9.4 Zkratky a jednotky

ISO - mezinárodní organizace pro normalizaci

CMM - souřadnicový měřicí stroj

CCD - zařízení s vázanými náboji - Charge Couple Device

Ra - střední aritmetická hodnota drsnosti

Rz - maximální výška profilu

RSm - materiálový podíl drsnosti profilu

Rmr - střední vzdálenost rýh

Rk - základní hloubka

Rpk - redukováná výška špiček

Rvk - redukováná hloubka rýh

Mr1 - podíl materiálu nad profilem jádra

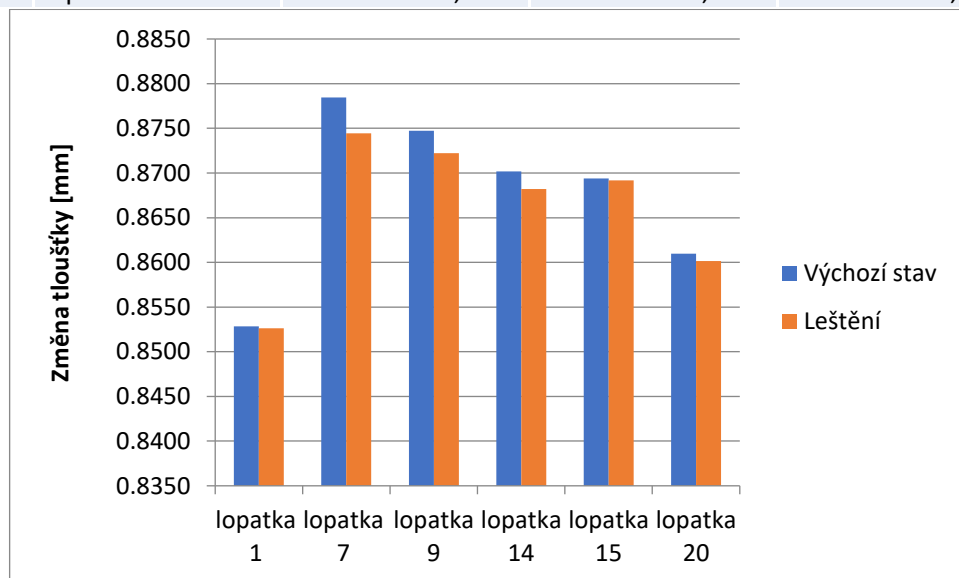
Mr2 - podíl materiálu pod profilem drsnosti

9.5 Přílohy

9.5.1 Grafy a tabulky k experimentu 1

Tab. 9: Lopatkové kolo 167 - bod 13

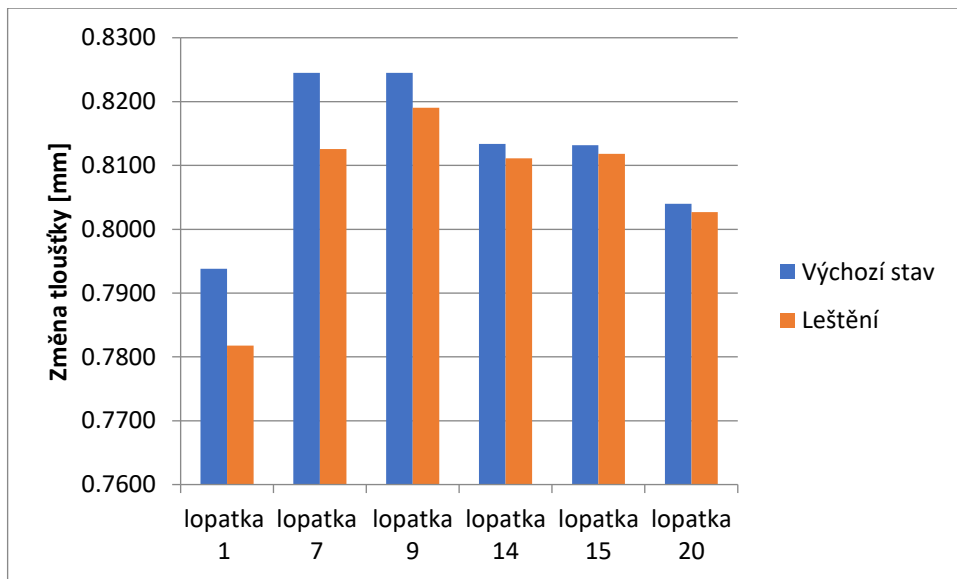
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 – Bod 13	lopatka 1	0,8529	0,8526	0,0002
	lopatka 7	0,8785	0,8745	0,0040
	lopatka 9	0,8747	0,8722	0,0025
	lopatka 14	0,8702	0,8682	0,0020
	lopatka 15	0,8694	0,8692	0,0002
	lopatka 20	0,8610	0,8602	0,0008



Graf 8: Lopatkové kolo 167 - bod 13

Tab. 10: Lopatkové kolo 167 - bod 11

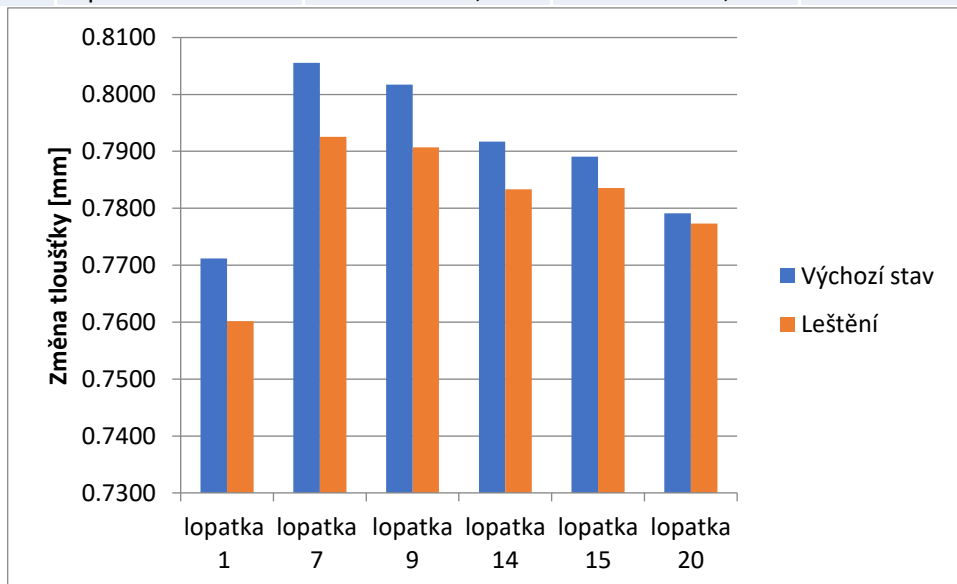
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 – Bod 11	lopatka 1	0,7938	0,7818	0,0120
	lopatka 7	0,8245	0,8126	0,0120
	lopatka 9	0,8245	0,8190	0,0055
	lopatka 14	0,8134	0,8111	0,0022
	lopatka 15	0,8132	0,8118	0,0014
	lopatka 20	0,8040	0,8027	0,0013



Graf 9: Lopatkové kolo 167 - bod 11

Tab. 11: Lopatkové kolo 167 - bod 4

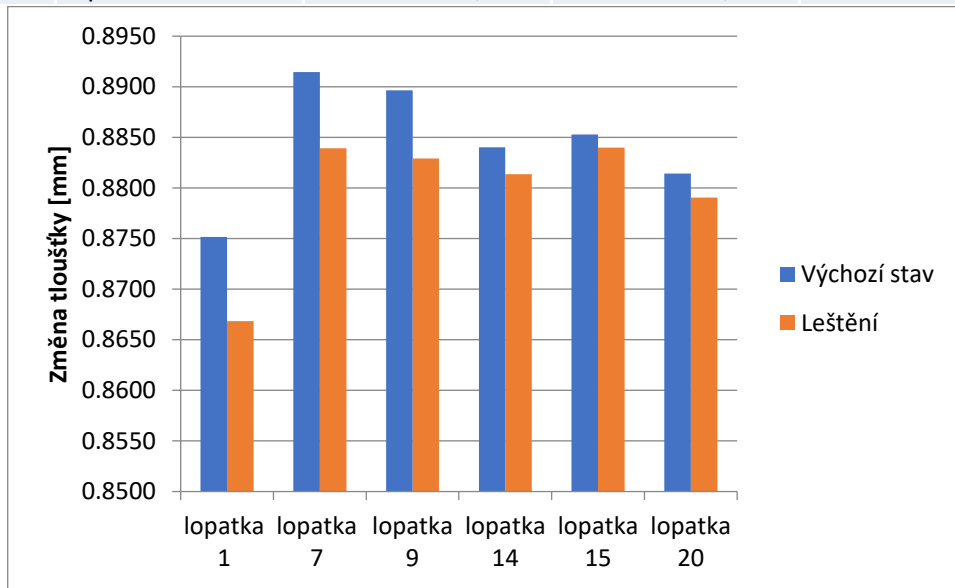
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 – Bod 4	lopatka 1	0,7712	0,7602	0,0110
	lopatka 7	0,8056	0,7925	0,0130
	lopatka 9	0,8017	0,7907	0,0110
	lopatka 14	0,7917	0,7834	0,0083
	lopatka 15	0,7891	0,7836	0,0055
	lopatka 20	0,7791	0,7773	0,0018



Graf 10: Lopatkové kolo 167 - bod 4

Tab. 12: Lopatkové kolo 167 - bod 1

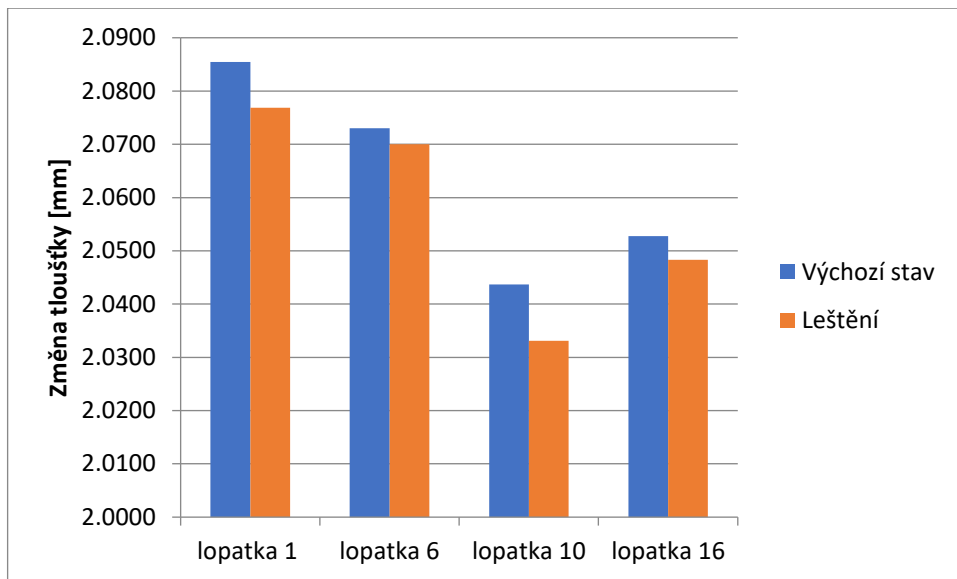
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 – Bod 1	lopatka 1	0,8752	0,8668	0,0083
	lopatka 7	0,8914	0,8839	0,0075
	lopatka 9	0,8897	0,8829	0,0068
	lopatka 14	0,8840	0,8814	0,0027
	lopatka 15	0,8853	0,8840	0,0013
	lopatka 20	0,8814	0,8790	0,0024



Graf 11: Lopatkové kolo 167 - bod 1

Tab. 13: Lopatkové kolo 417 - bod 15

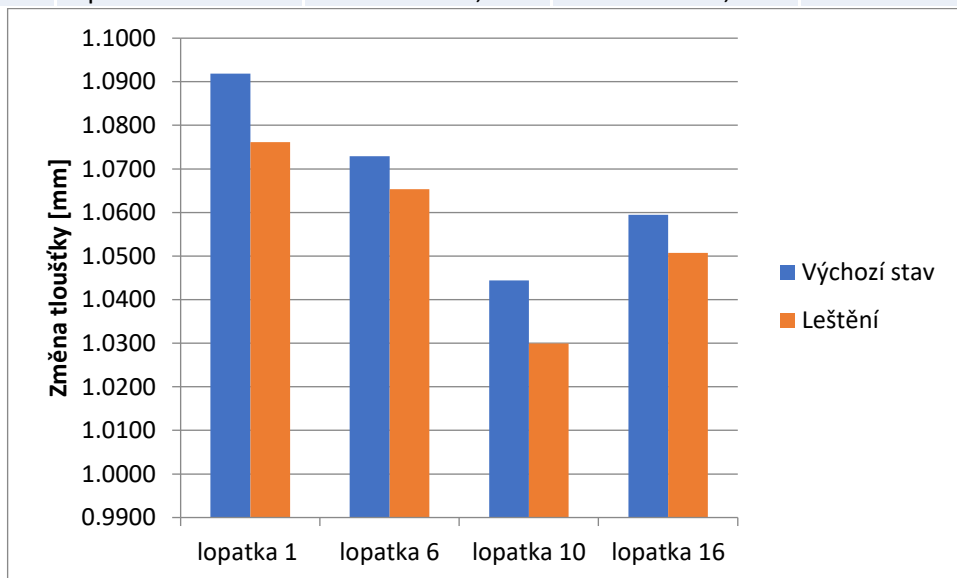
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
417 – Bod 15	lopatka 1	2,0855	2,0769	0,0086
	lopatka 6	2,0730	2,0700	0,0030
	lopatka 10	2,0437	2,0331	0,0106
	lopatka 16	2,0528	2,0483	0,0045



Graf 12: Lopatkové kolo 417 - bod 15

Tab. 14: Lopatkové kolo 417 - bod 12

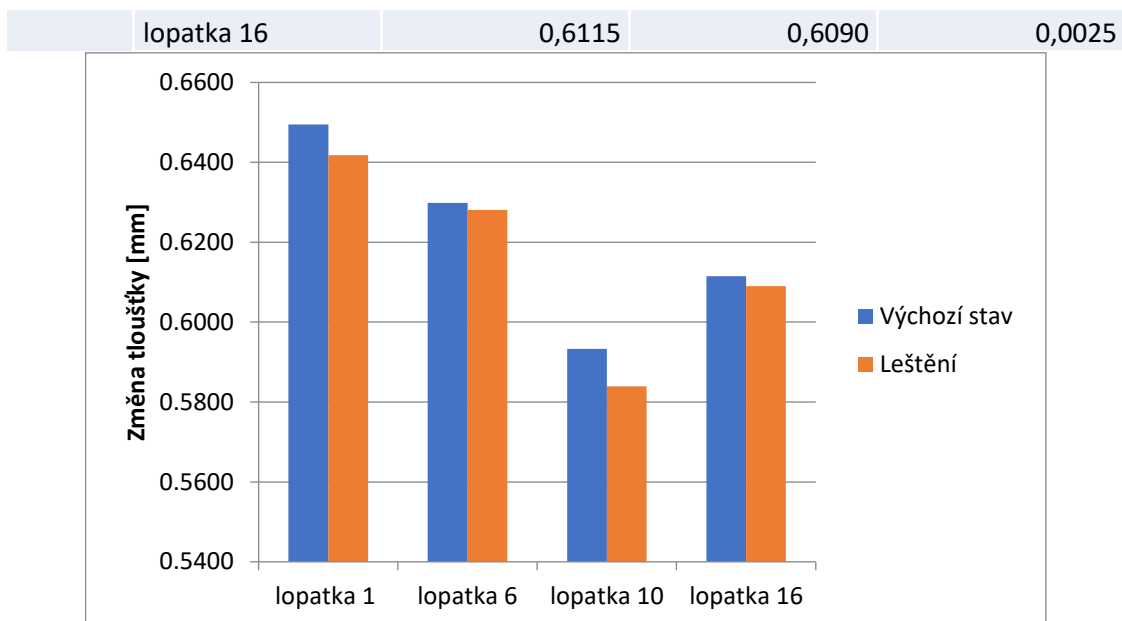
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
417 – Bod 12	lopatka 1	1,0919	1,0761	0,0157
	lopatka 6	1,0729	1,0654	0,0075
	lopatka 10	1,0444	1,0299	0,0145
	lopatka 16	1,0595	1,0507	0,0088



Graf 13: Lopatkové kolo 417 - bod 12

Tab. 15: Lopatkové kolo 417 - bod 9

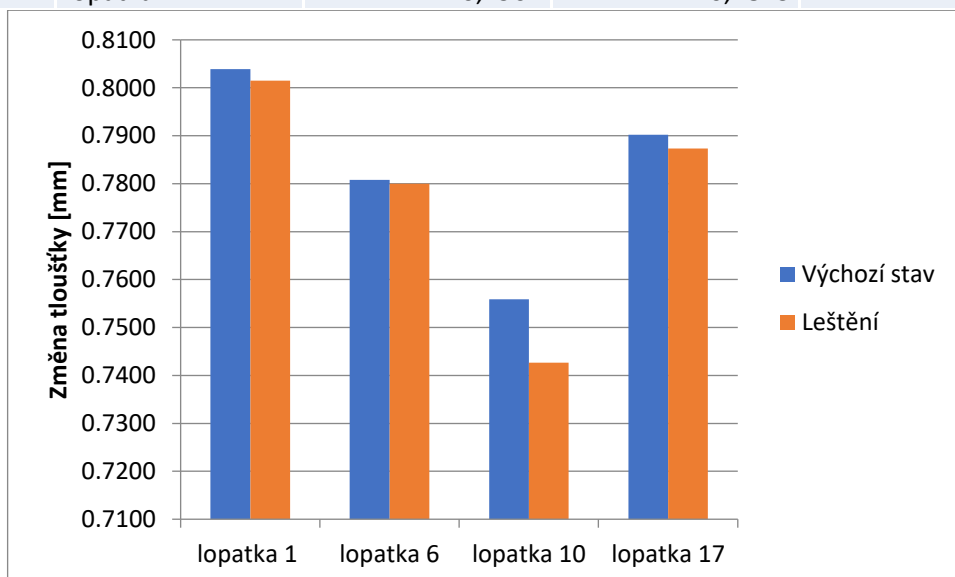
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	leštění	Rozdíl
417 – Bod 9	lopatka 1	0,6495	0,6418	0,0077
	lopatka 6	0,6299	0,6281	0,0018
	lopatka 10	0,5933	0,5839	0,0094



Graf 14: Lopatkové kolo 417 - bod 9

Tab. 16: Lopatkové kolo 417 - bod 5

[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
417 – Bod 5	lopatka 1	0,8039	0,8015	0,0024
	lopatka 6	0,7808	0,7800	0,0008
	lopatka 10	0,7559	0,7427	0,0132
	lopatka 17	0,7902	0,7873	0,0028

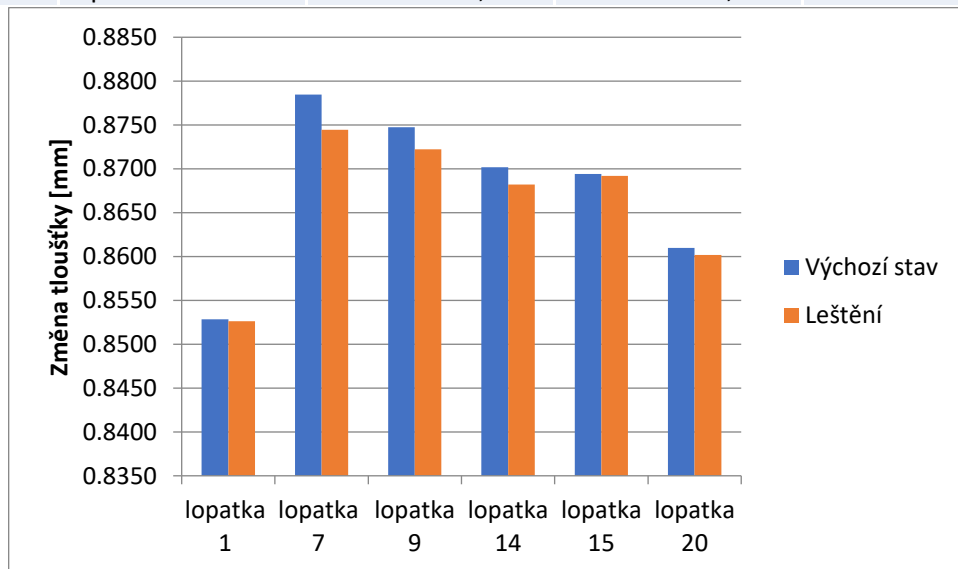


Graf 15: Lopatkové kolo 417 - bod 5

9.5.2 Grafy a tabulky k experimentu 2

Tab. 17: Lopatkové kolo 167 - bod 13

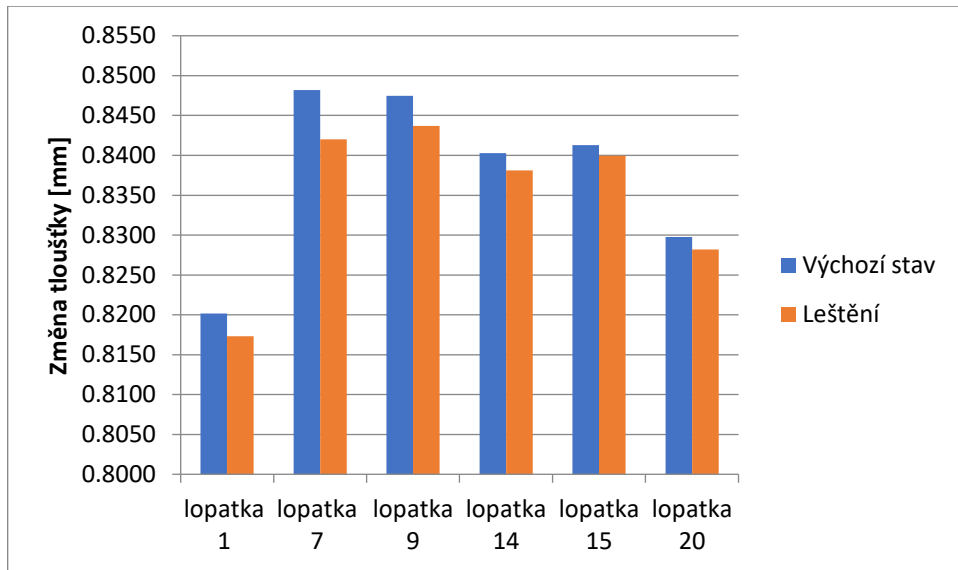
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 – Bod 13	lopatka 1	0,8529	0,8526	0,0002
	lopatka 7	0,8785	0,8745	0,0040
	lopatka 9	0,8747	0,8722	0,0025
	lopatka 14	0,8702	0,8682	0,0020
	lopatka 15	0,8694	0,8692	0,0002
	lopatka 20	0,8610	0,8602	0,0008



Graf 16: Lopatkové kolo 167 - bod 13

Tab. 18: Lopatkové kolo 167 - bod 12

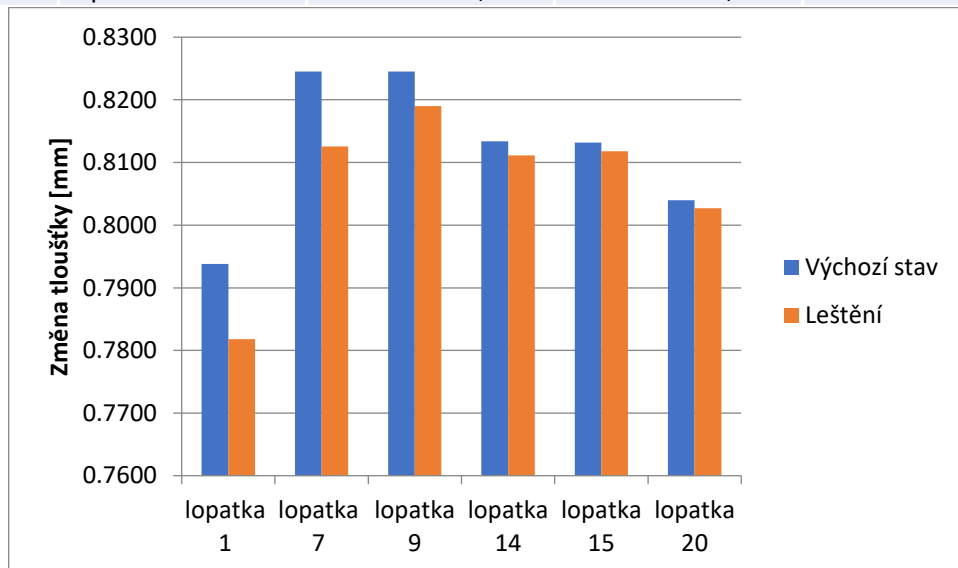
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 – Bod 12	lopatka 1	0,8202	0,8173	0,0029
	lopatka 7	0,8482	0,8420	0,0062
	lopatka 9	0,8475	0,8437	0,0038
	lopatka 14	0,8403	0,8381	0,0022
	lopatka 15	0,8413	0,8399	0,0013
	lopatka 20	0,8298	0,8282	0,0016



Graf 17: Lopatkové kolo 167 - bod 12

Tab. 19: Lopatkové kolo 167 - bod 11

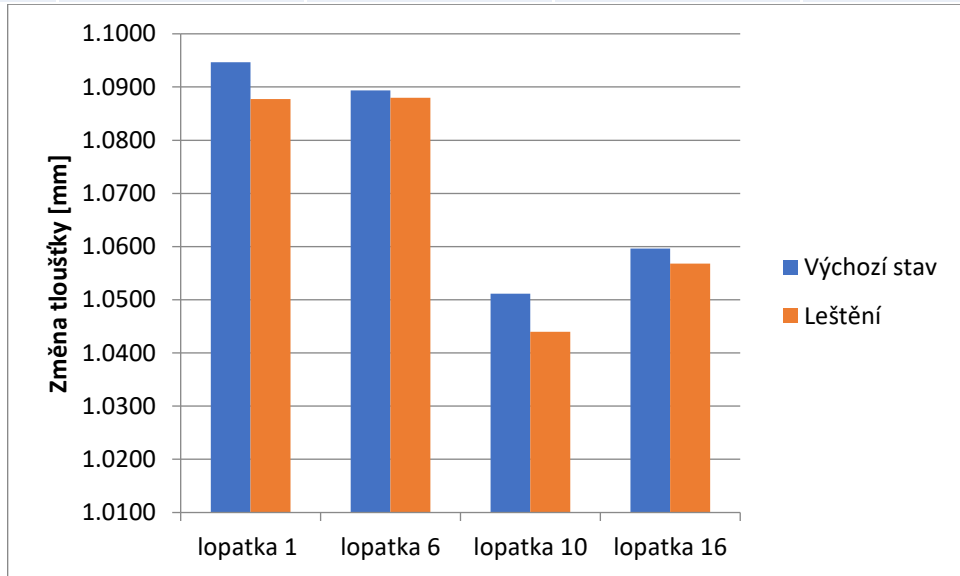
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 – Bod 11	lopatka 1	0,7938	0,7818	0,0120
	lopatka 7	0,8245	0,8126	0,0120
	lopatka 9	0,8245	0,8190	0,0055
	lopatka 14	0,8134	0,8111	0,0022
	lopatka 15	0,8132	0,8118	0,0014
	lopatka 20	0,8040	0,8027	0,0013



Graf 18: Lopatkové kolo 167 - bod 11

Tab. 20: Lopatkové kolo 417 - bod 13

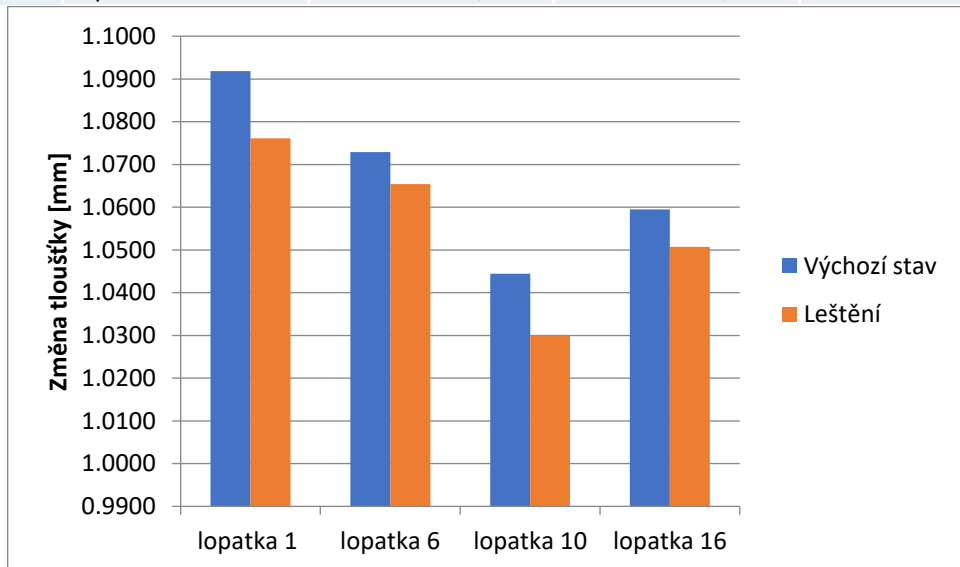
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
417 – Bod 13	lopatka 1	1,0947	1,0877	0,0069
	lopatka 6	1,0894	1,0880	0,0014
	lopatka 10	1,0511	1,0440	0,0072
	lopatka 16	1,0596	1,0568	0,0028



Graf 19: Lopatkové kolo 417 - bod 13

Tab. 21: Lopatkové kolo 417- bod 12

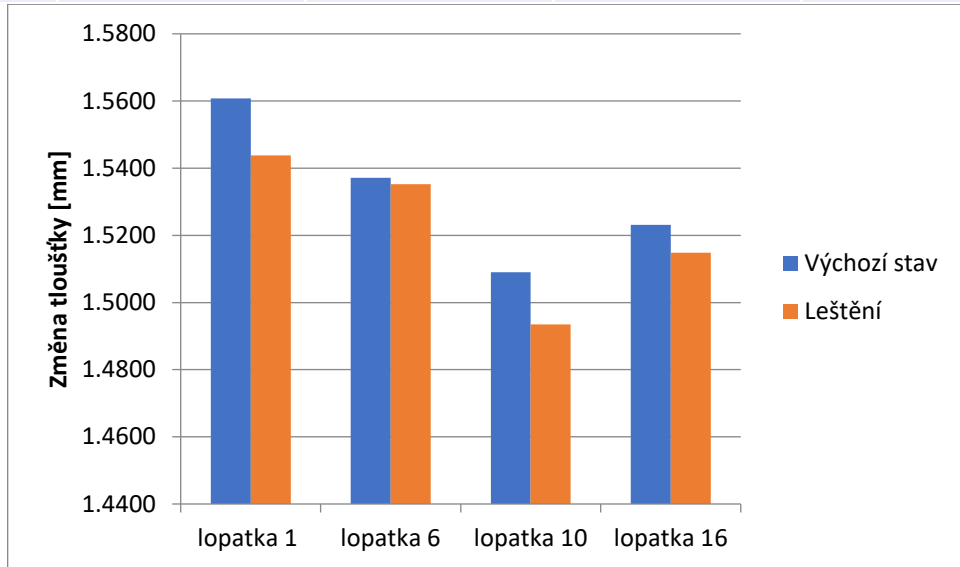
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
417 – Bod 12	lopatka 1	1,0919	1,0761	0,0157
	lopatka 6	1,0729	1,0654	0,0075
	lopatka 10	1,0444	1,0299	0,0145
	lopatka 16	1,0595	1,0507	0,0088



Graf 20: Lopatkové kolo 417 - bod 12

Tab. 22: Lopatkové kolo 417- bod 11

[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
417 – Bod 11	lopatka 1	1,5608	1,5438	0,0170
	lopatka 6	1,5372	1,5352	0,0019
	lopatka 10	1,5090	1,4935	0,0155
	lopatka 16	1,5231	1,5149	0,0083



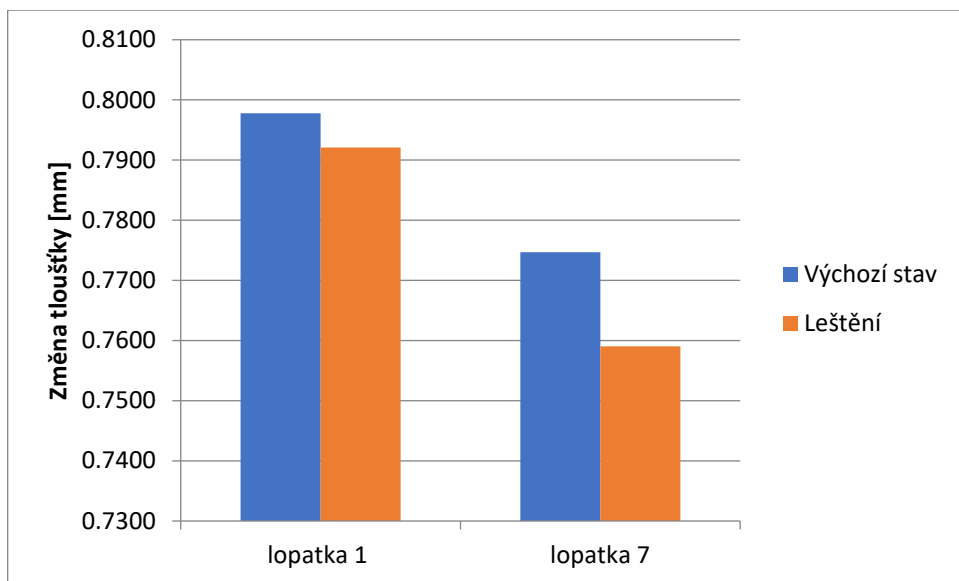
Graf 21: Lopatkové kolo 417 - bod 11

9.5.3 Grafy a tabulky k experimentu 3

NH nahoru:

Tab. 23: Lopatkové kolo 370 - bod 5

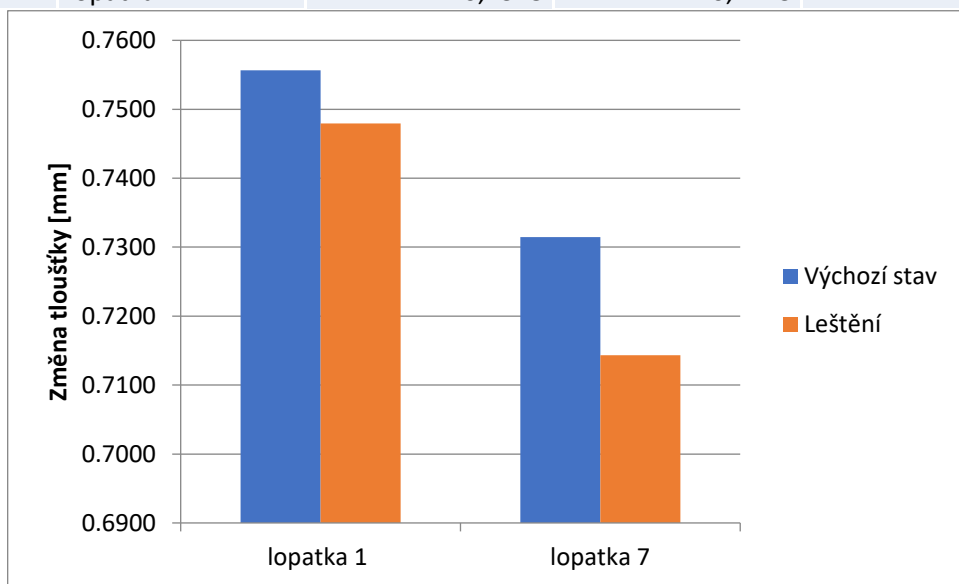
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
370 – Bod 5	lopatka 1	0,7978	0,7921	0,0057
	lopatka 7	0,7747	0,7590	0,0157



Graf 22: Lopatkové kolo 370 - bod 5

Tab. 24: Lopatkové kolo 370 - bod 7

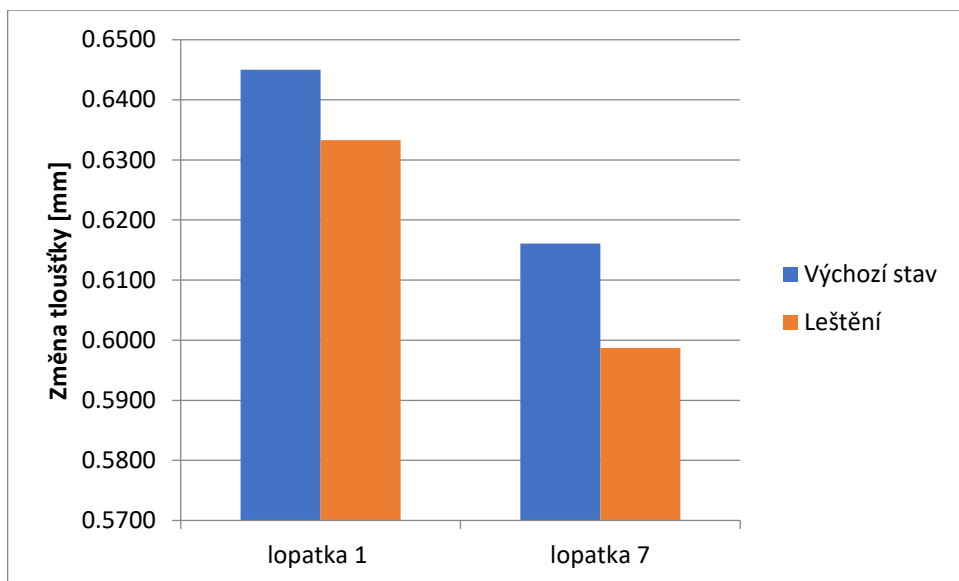
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
370 – Bod 7	lopatka 1	0,7557	0,7480	0,0077
	lopatka 7	0,7315	0,7143	0,0172



Graf 23: Lopatkové kolo 370 - bod 7

Tab. 25: Lopatkové kolo 370 - bod 9

[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
370 – Bod 9	lopatka 1	0,6450	0,6333	0,0117
	lopatka 7	0,6161	0,5987	0,0174

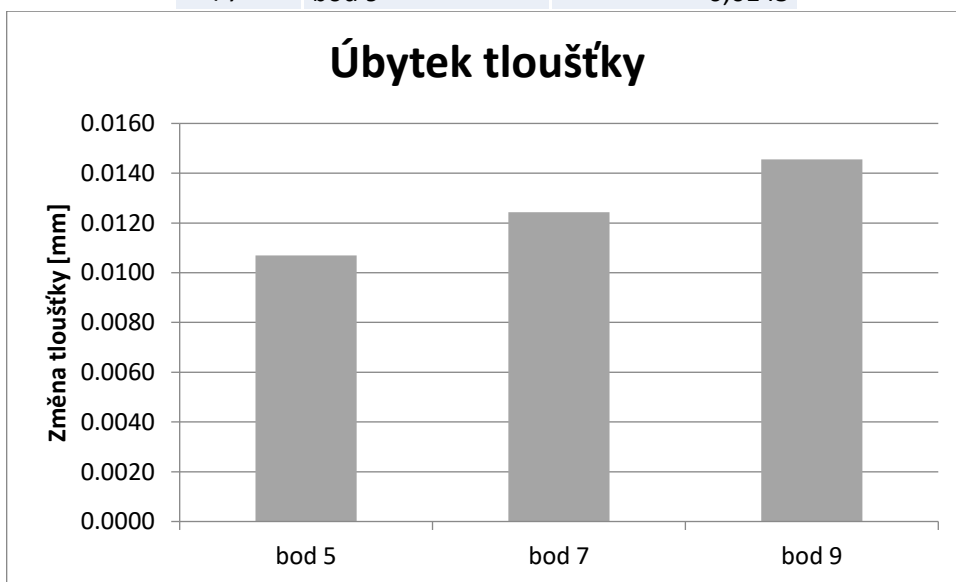


Graf 24: Lopatkové kolo 370 - bod 9

NH dolů:

Tab. 26: Průměrný úběr NH dolů

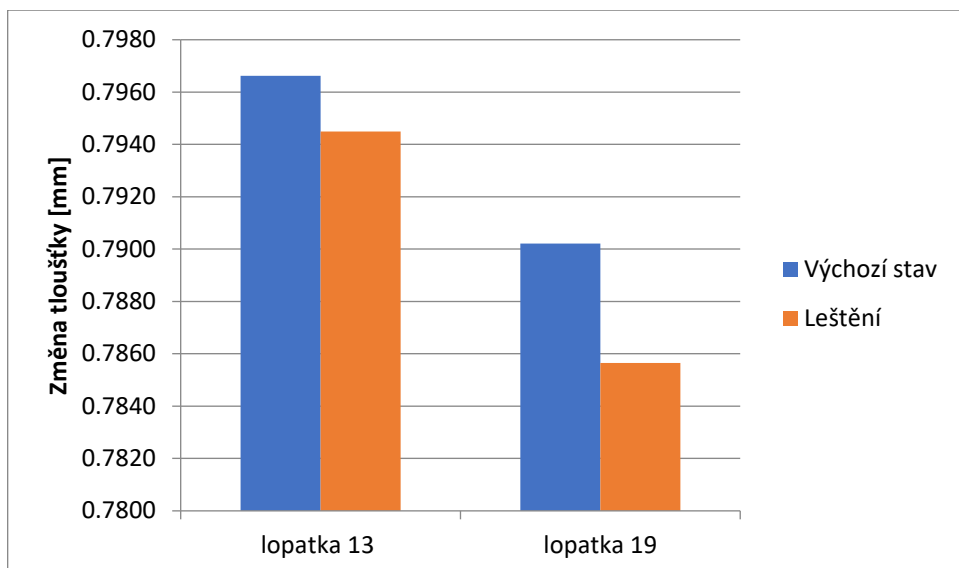
[mm]	Č. bodu	Úbytek tloušťky
370 - NH dolů	bod 5	0,0107
	bod 7	0,0124
	bod 9	0,0145



Graf 25: Průměrný úběr NH dolů

Tab. 27: Lopatkové kolo 370 - bod 5

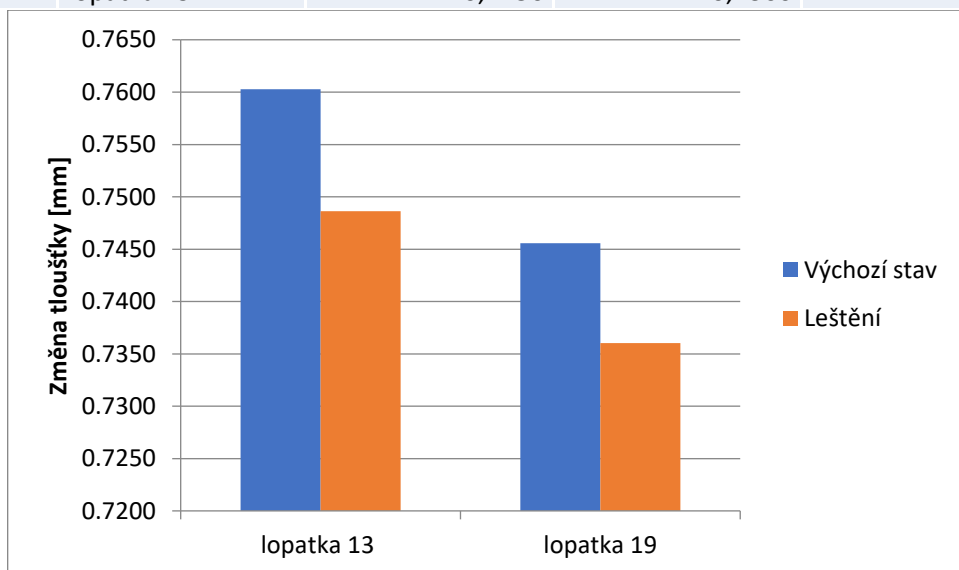
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
370 - Bod 5	lopatka 13	0,7966	0,7945	0,0021
	lopatka 19	0,7902	0,7856	0,0046



Graf 26: Lopatkové kolo 370 - bod 5

Tab. 28: Lopatkové kolo 370 - bod 7

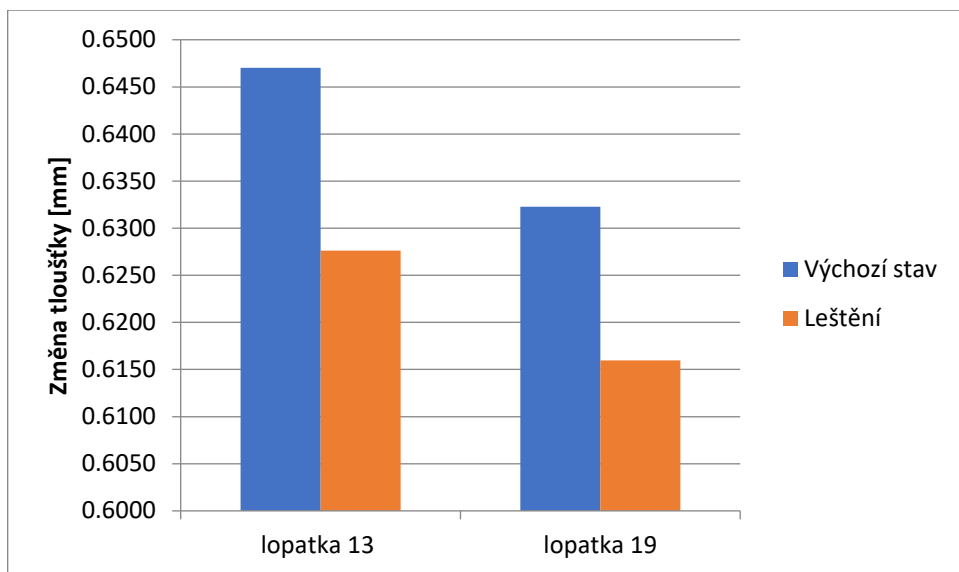
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
370 – Bod 7	lopatka 13	0,7603	0,7486	0,0117
	lopatka 19	0,7456	0,7360	0,0096



Graf 27: Lopatkové kolo 370 - bod 7

Tab. 29: Lopatkové kolo 370 - bod 9

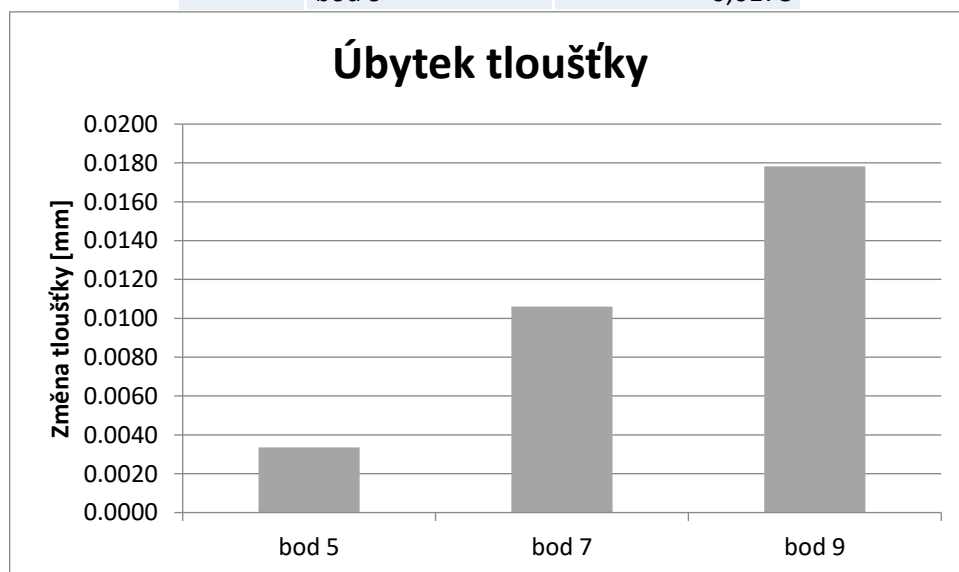
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
370 – Bod 9	lopatka 13	0,6470	0,6276	0,0194
	lopatka 19	0,6323	0,6160	0,0163



Graf 28: Lopatkové kolo 370 - bod 9

Tab. 30: Průměrný úběr NH nahoru

[mm]	Č. bodu	Úbytek tloušťky
370 -NH nahoru	bod 5	0,0033
	bod 7	0,0106
	bod 9	0,0178



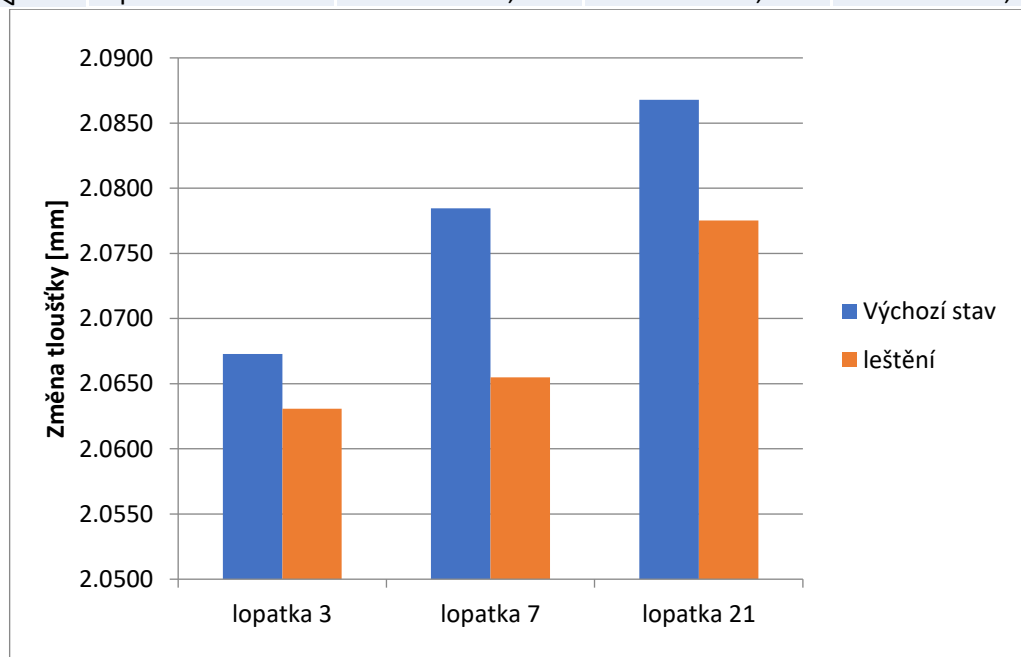
Graf 29: Průměrný úběr NH nahoru

9.5.4 Grafy a tabulky k experimentu 4

Výška zásypu 250 mm:

Tab. 31: Lopatkové kolo 417 - bod 15

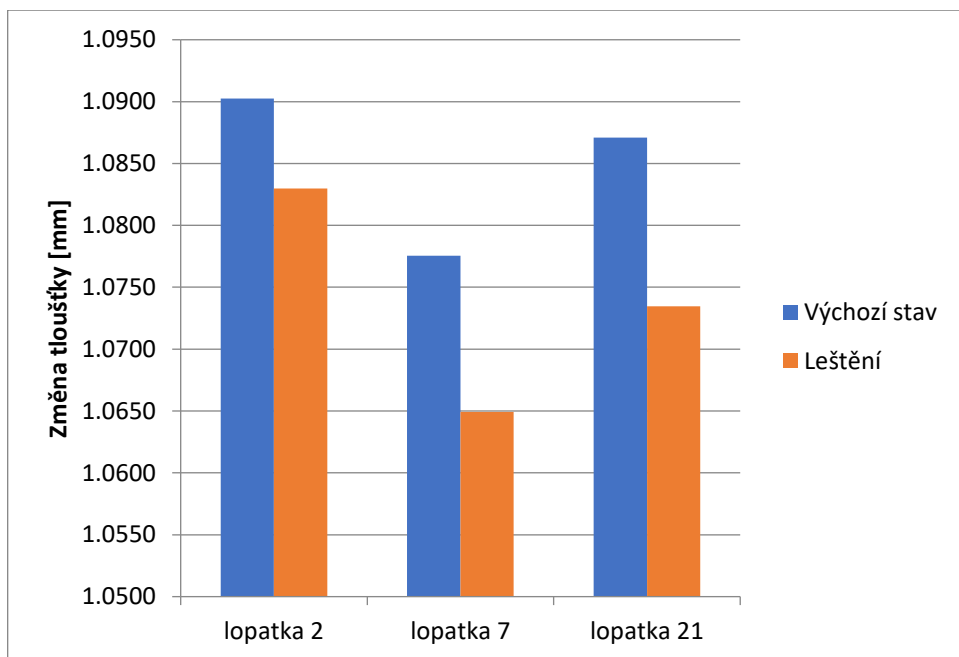
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	leštění	Rozdíl
417 - Bod 15	lopatka 3	2,0673	2,0631	0,0042
	lopatka 7	2,0784	2,0655	0,0130
	lopatka 21	2,0868	2,0775	0,0093



Graf 30: Lopatkové kolo 417 - bod 15

Tab. 32: Lopatkové kolo 417 - bod 12

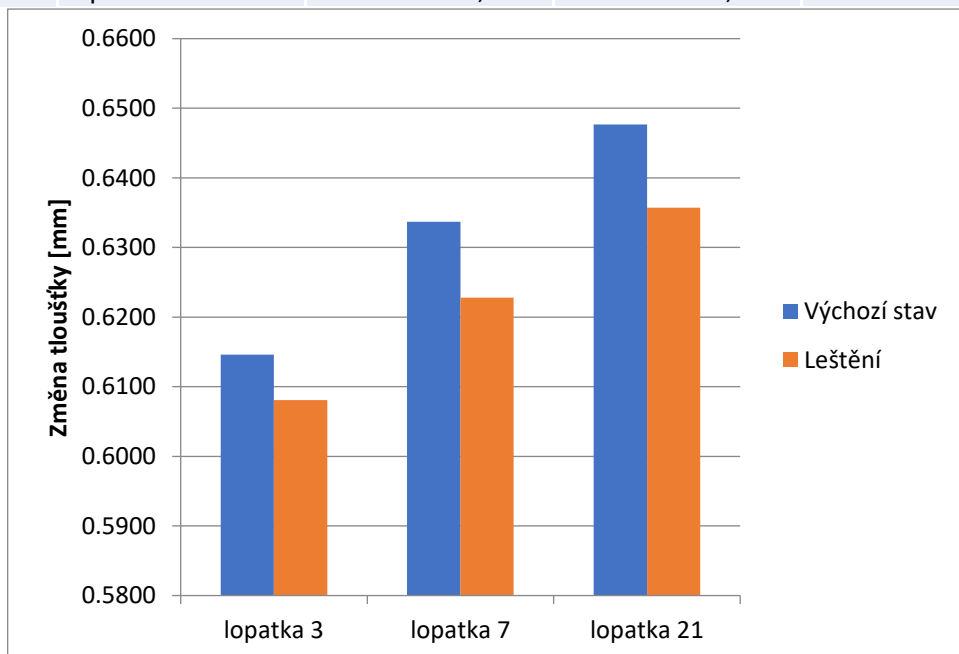
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
417 - Bod 12	lopatka 2	1,0903	1,0830	0,0073
	lopatka 7	1,0775	1,0649	0,0126
	lopatka 21	1,0871	1,0735	0,0136



Graf 31: Lopatkové kolo 417 - bod 12

Tab. 33: Lopatkové kolo 417 - bod 9

[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
417 - Bod 9	lopatka 3	0,6146	0,6081	0,0066
	lopatka 7	0,6337	0,6228	0,0109
	lopatka 21	0,6477	0,6357	0,0119

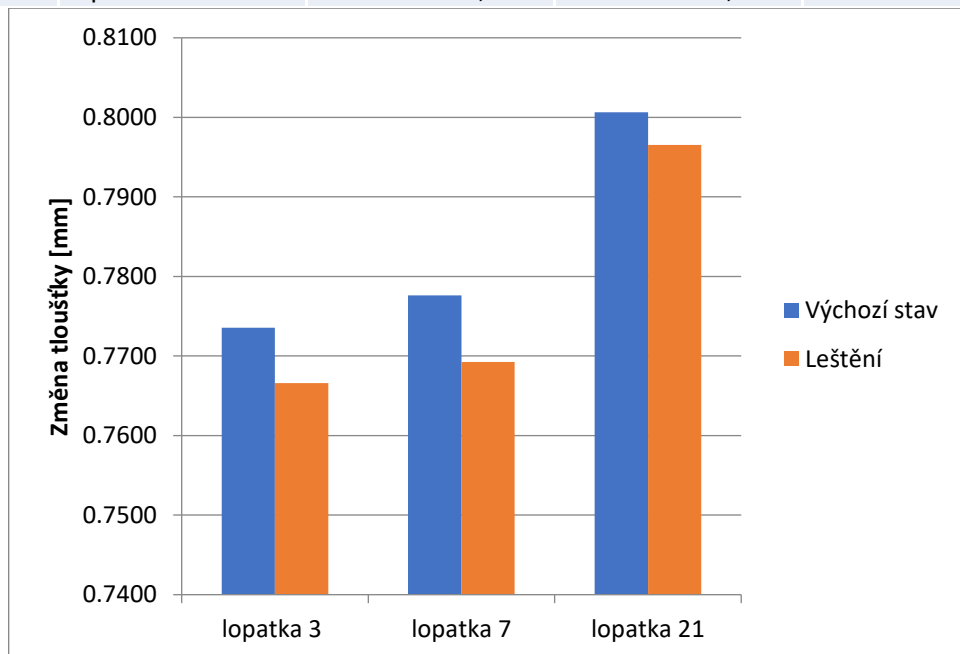


Graf 32: Lopatkové kolo 417 - bod 9

Tab. 34: Lopatkové kolo 417 - bod 5

[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
------	------------	--------------	---------	--------

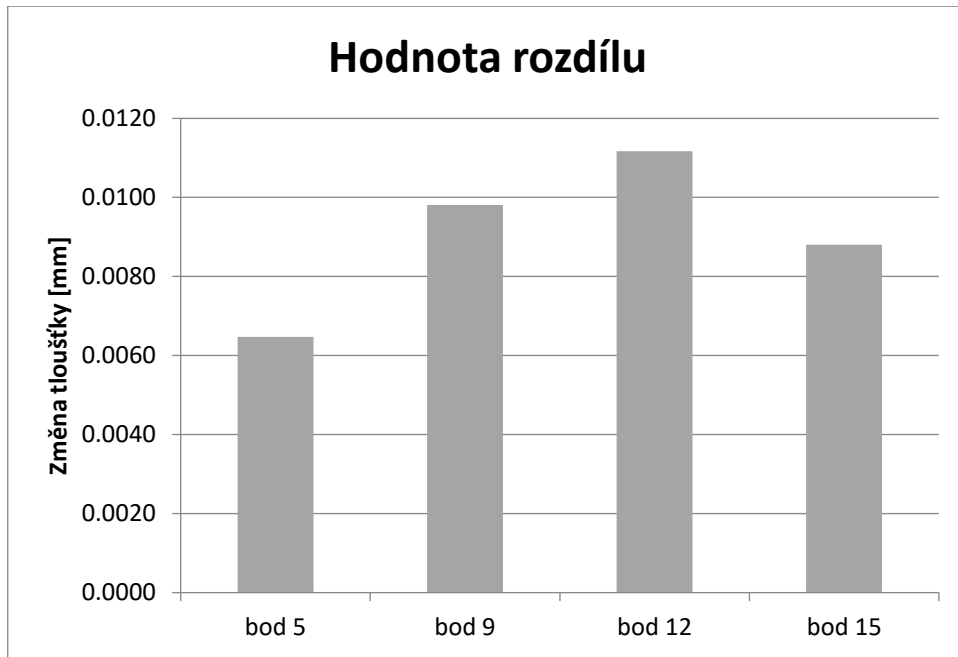
417 - Bod 5	lopatka 3	0,7736	0,7666	0,0070
	lopatka 7	0,7776	0,7693	0,0084
	lopatka 21	0,8006	0,7965	0,0041



Graf 33: Lopatkové kolo 417 - bod 5

Tab. 35: Průměrný úběr pro 250 mm

[mm]	Č. bodu	Hodnota rozdílu
417 - 250 mm	bod 5	0,0065
	bod 9	0,0098
	bod 12	0,0112
	bod 15	0,0088

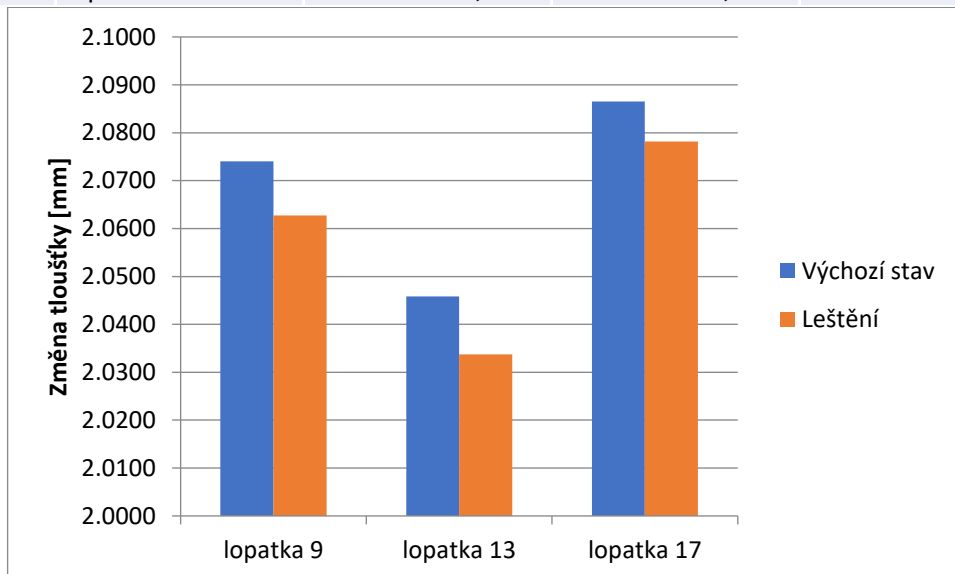


Graf 34: Průměrný úběr pro 250 mm

Výška zásypu 400 mm:

Tab. 36: Lopátkové kolo 417 - bod 15

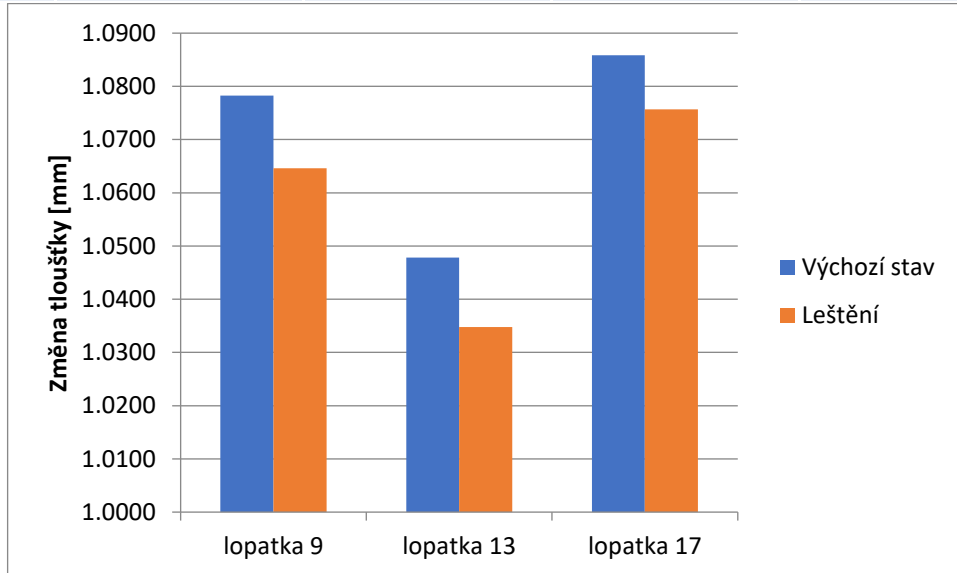
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
417 - Bod 15	lopatka 9	2,0740	2,0628	0,0113
	lopatka 13	2,0458	2,0337	0,0121
	lopatka 17	2,0866	2,0782	0,0084



Graf 35: Lopátkové kolo 417 - bod 15

Tab. 37: Lopatkové kolo 417 - bod 12

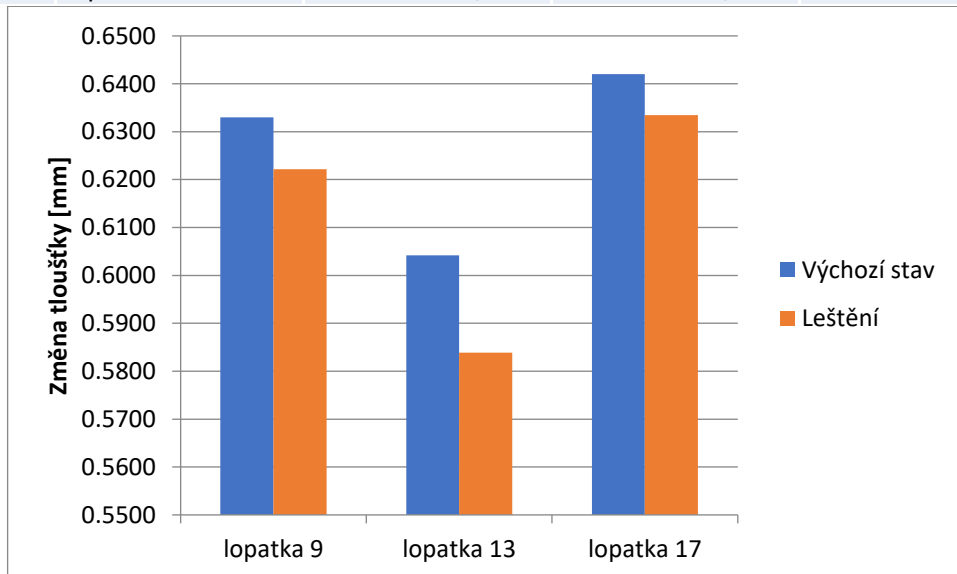
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
417 - Bod 12	lopatka 9	1,0783	1,0646	0,0137
	lopatka 13	1,0478	1,0348	0,0131
	lopatka 17	1,0858	1,0757	0,0101



Graf 36: Lopatkové kolo 417 - bod 12

Tab. 38: Lopatkové kolo 417 - bod 9

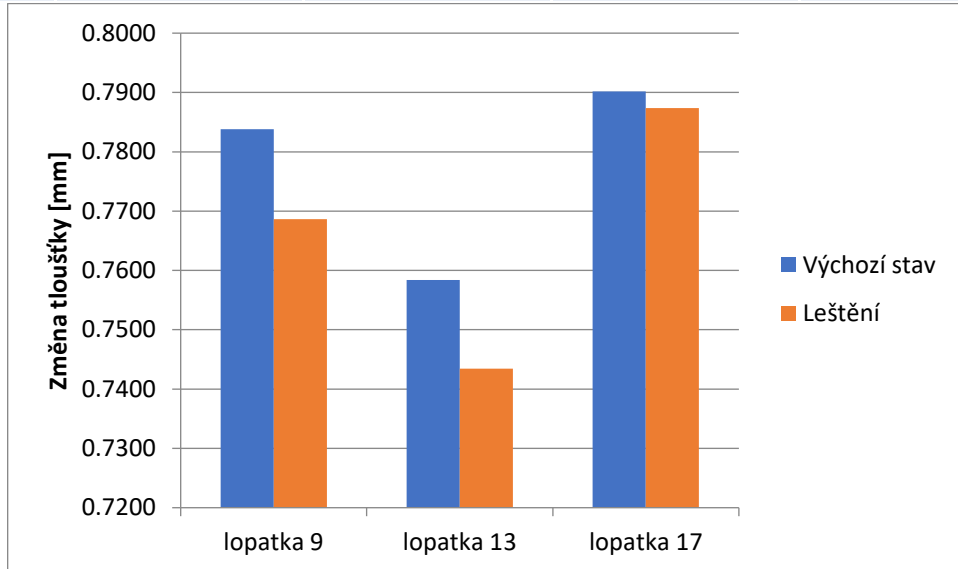
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
417 - Bod 9	lopatka 9	0,6330	0,6222	0,0108
	lopatka 13	0,6042	0,5839	0,0203
	lopatka 17	0,6420	0,6335	0,0086



Graf 37: Lopatkové kolo 417 - bod 9

Tab. 39: Lopatkové kolo 417 - bod 5

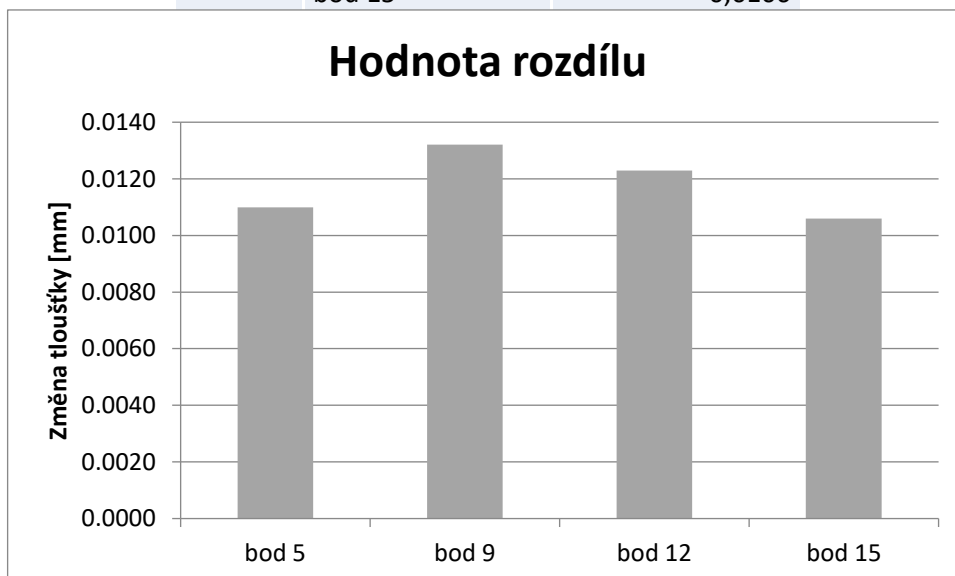
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
417 - Bod 5	lopatka 9	0,7838	0,7686	0,0152
	lopatka 13	0,7584	0,7434	0,0149
	lopatka 17	0,7902	0,7873	0,0028



Graf 38: Lopatkové kolo 417 - bod 5

Tab. 40: Průměrný úběr pro 400 mm

[mm]	Č. bodu	Hodnota rozdílu
417 - 400 mm	bod 5	0,0110
	bod 9	0,0132
	bod 12	0,0123
	bod 15	0,0106



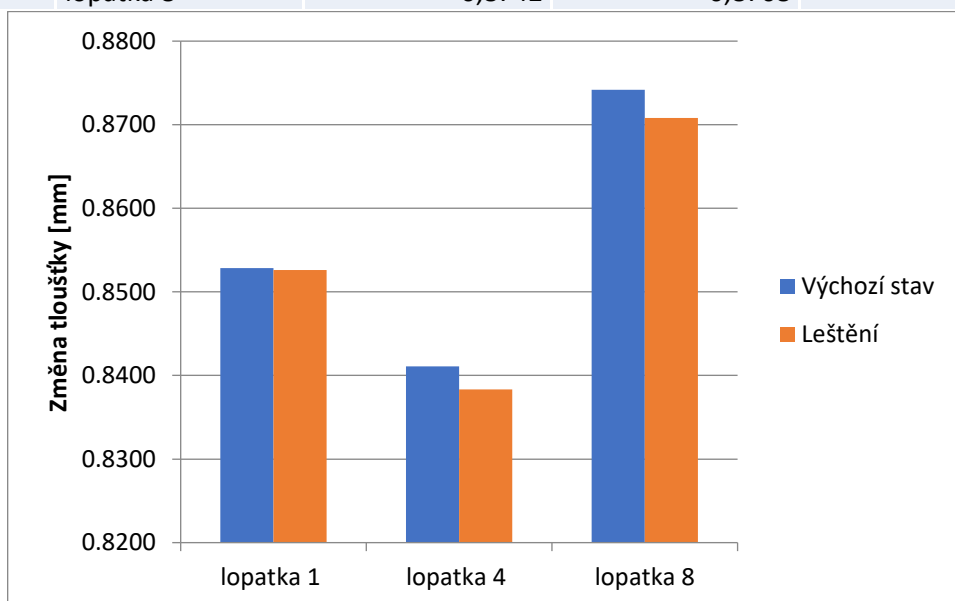
Graf 39: Průměrný úběr pro 400 mm

9.5.5 Grafy a tabulky k experimentu 5

Doba leštění 180 min:

Tab. 41: Lopatkové kolo 167 - bod 13

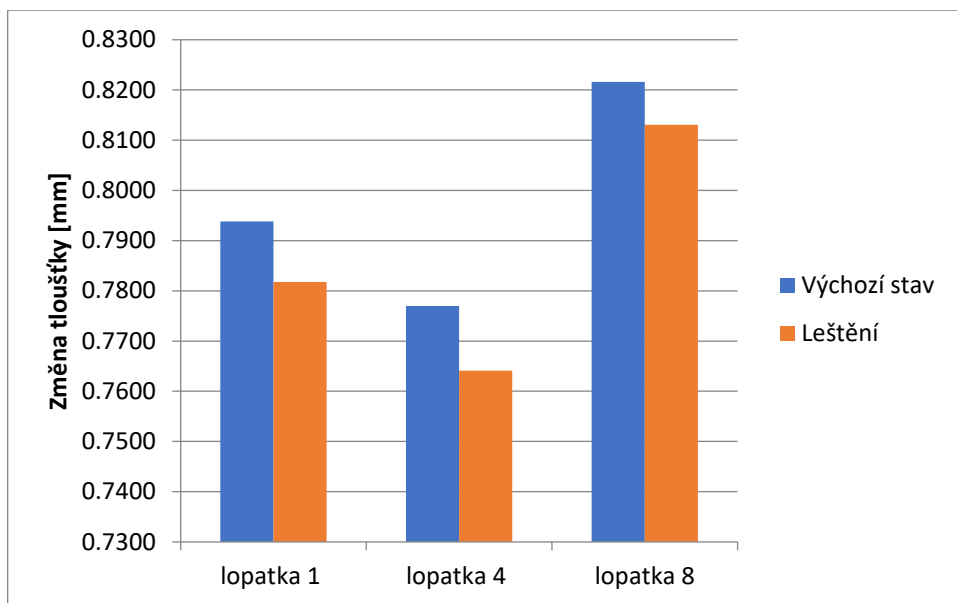
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 – Bod 13	lopatka 1	0,8529	0,8526	0,0002
	lopatka 4	0,8411	0,8383	0,0028
	lopatka 8	0,8742	0,8708	0,0034



Graf 40: Lopatkové kolo 167 - bod 13

Tab. 42: Lopatkové kolo 167 - bod 11

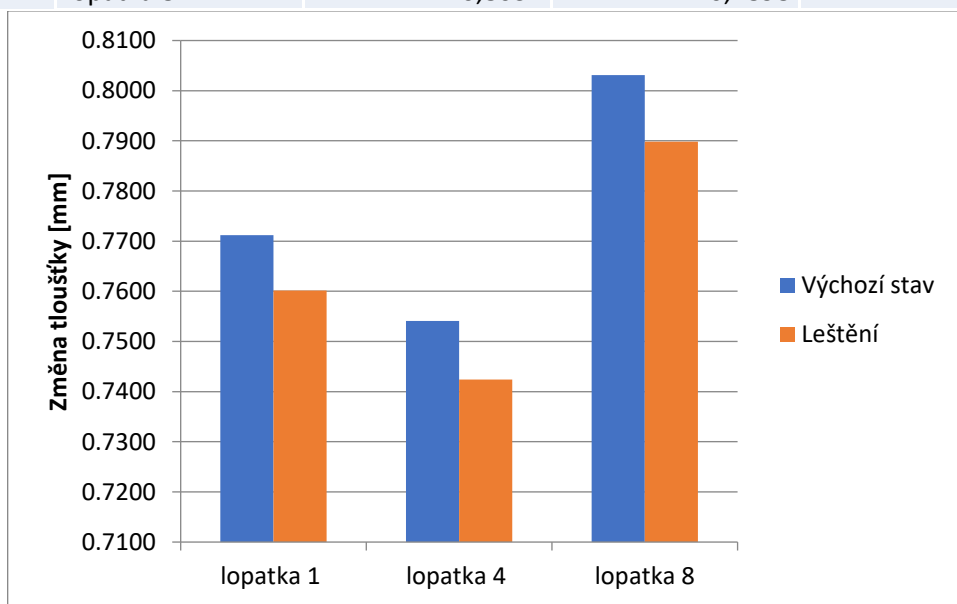
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 – Bod 11	lopatka 1	0,7938	0,7818	0,0120
	lopatka 4	0,7770	0,7641	0,0129
	lopatka 8	0,8216	0,8131	0,0086



Graf 41: Lopatkové kolo 167 - bod 11

Tab. 43: Lopatkové kolo 167 - bod 4

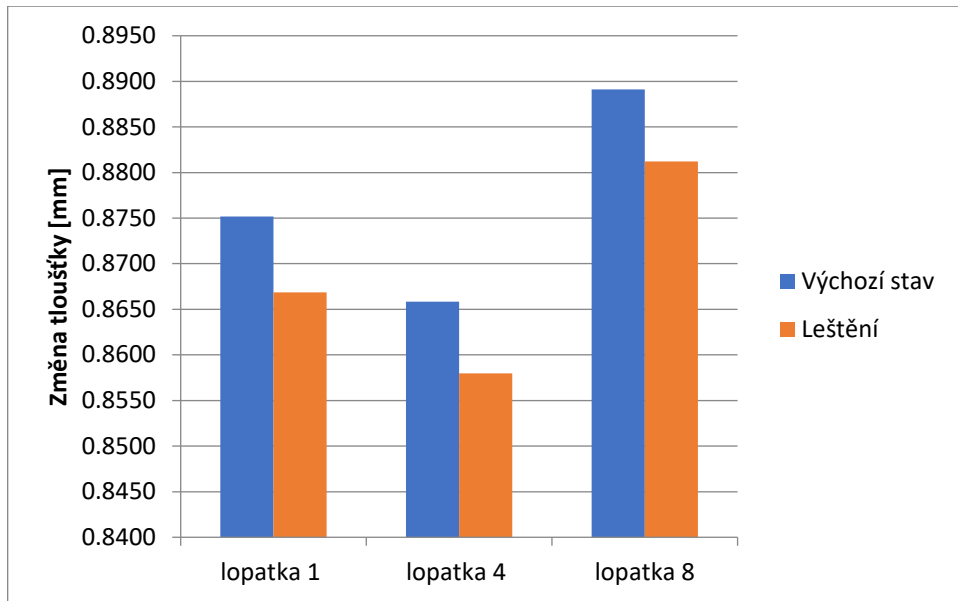
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 – Bod 4	lopatka 1	0,7712	0,7602	0,0110
	lopatka 4	0,7541	0,7424	0,0117
	lopatka 8	0,8031	0,7898	0,0132



Graf 42: Lopatkové kolo 167 - bod 4

Tab. 44: Lopatkové kolo 167 - bod 1

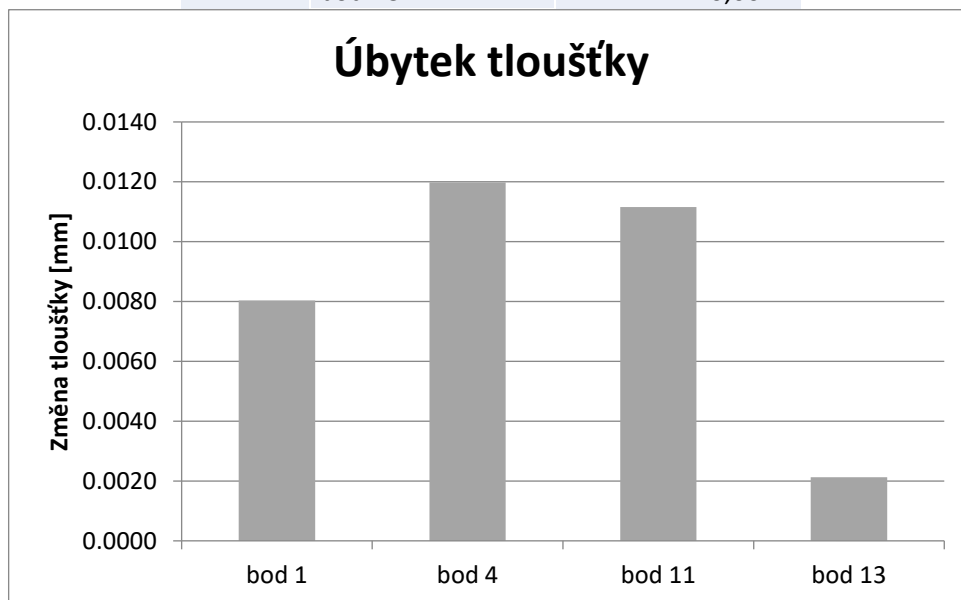
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 – Bod 1	lopatka 1	0,8752	0,8668	0,0083
	lopatka 4	0,8658	0,8580	0,0079
	lopatka 8	0,8891	0,8812	0,0079



Graf 43: Lopatkové kolo 167 - bod 1

Tab. 45: Průměrný úběr po 180 min

[mm]	Č. bodu	Úbytek tloušťky
167 – 180 min	bod 1	0,0080
	bod 4	0,0120
	bod 11	0,0112
	bod 13	0,0021

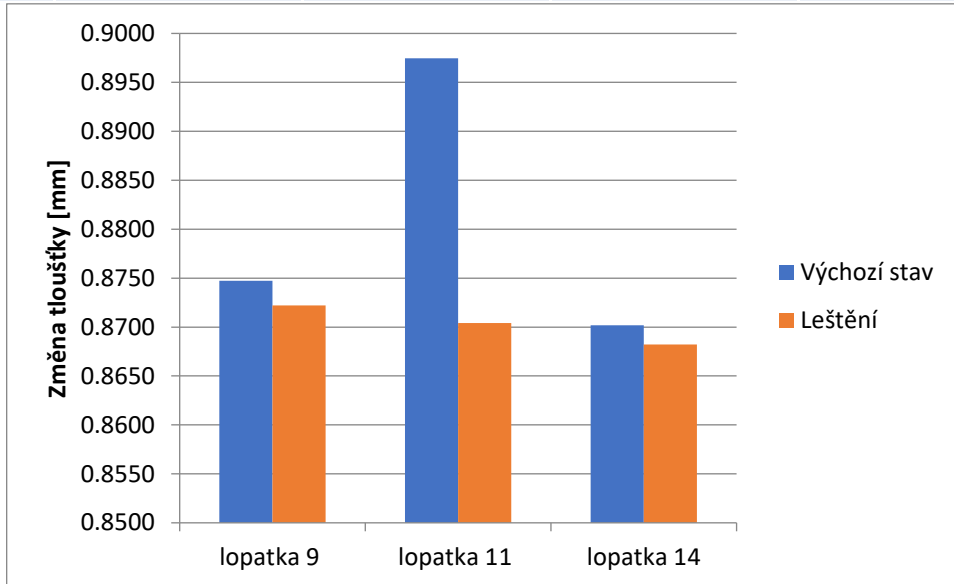


Graf 44: Průměrný úběr po 180 min

Doba leštění 120 min:

Tab. 46: Lopatkové kolo 167 - bod 13

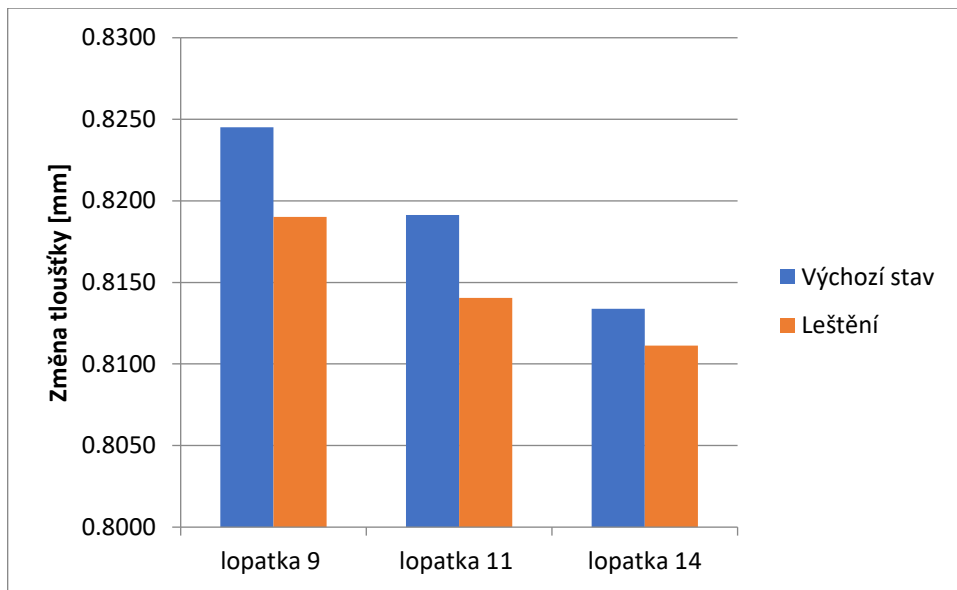
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 – Bod 13	lopatka 9	0,8747	0,8722	0,0025
	lopatka 11	0,8974	0,8704	0,0270
	lopatka 14	0,8702	0,8682	0,0020



Graf 45: Lopatkové kolo 167 - bod 13

Tab. 47: Lopatkové kolo 167 - bod 11

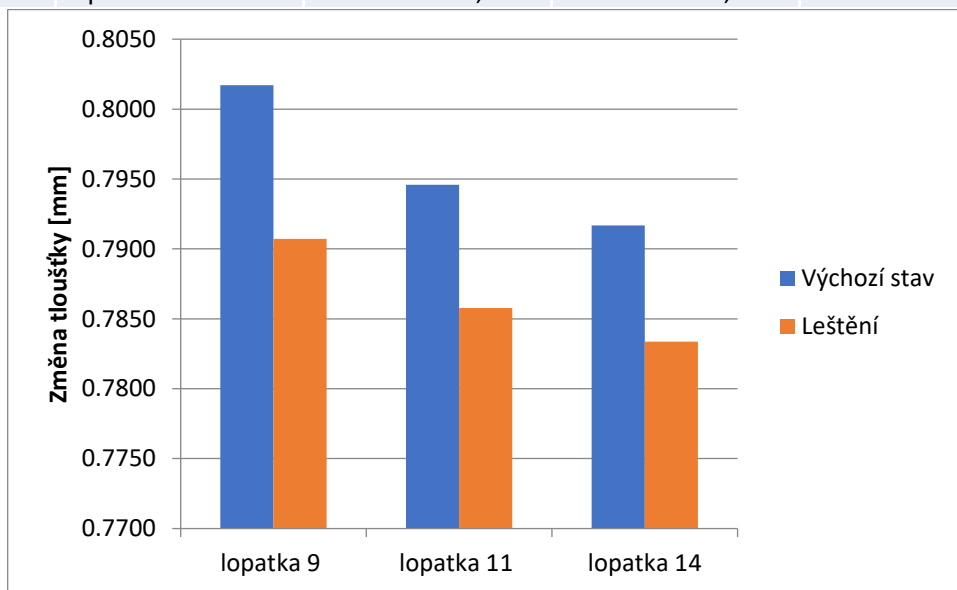
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 – Bod 11	lopatka 9	0,8245	0,8190	0,0055
	lopatka 11	0,8191	0,8141	0,0051
	lopatka 14	0,8134	0,8111	0,0022



Graf 46: Lopatkové kolo 167 - bod 11

Tab. 48: Lopatkové kolo 167 - bod 4

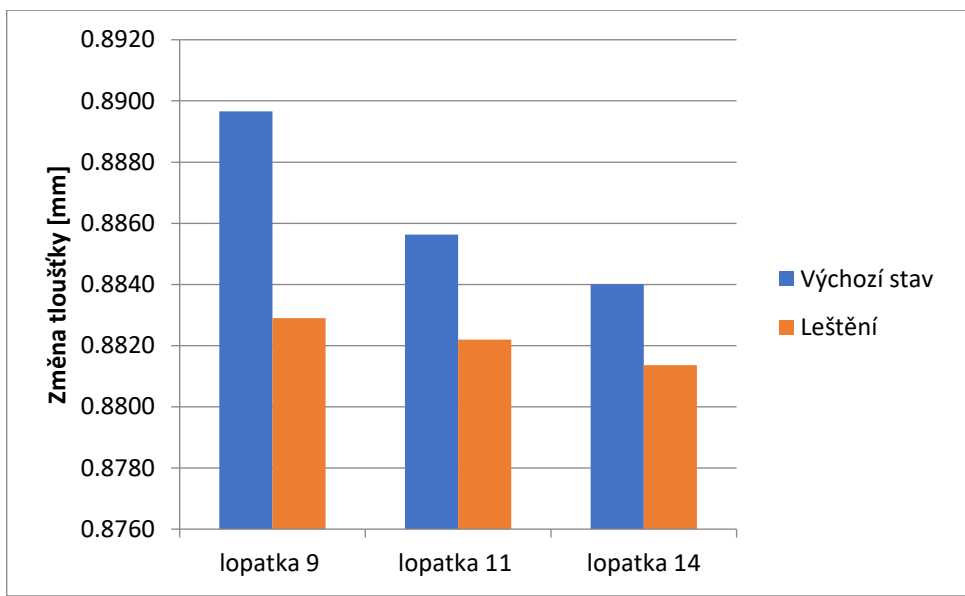
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 - Bod 4	lopatka 9	0,8017	0,7907	0,0110
	lopatka 11	0,7946	0,7858	0,0088
	lopatka 14	0,7917	0,7834	0,0083



Graf 47: Lopatkové kolo 167 - bod 4

Tab. 49: Lopatkové kolo 167 - bod 1

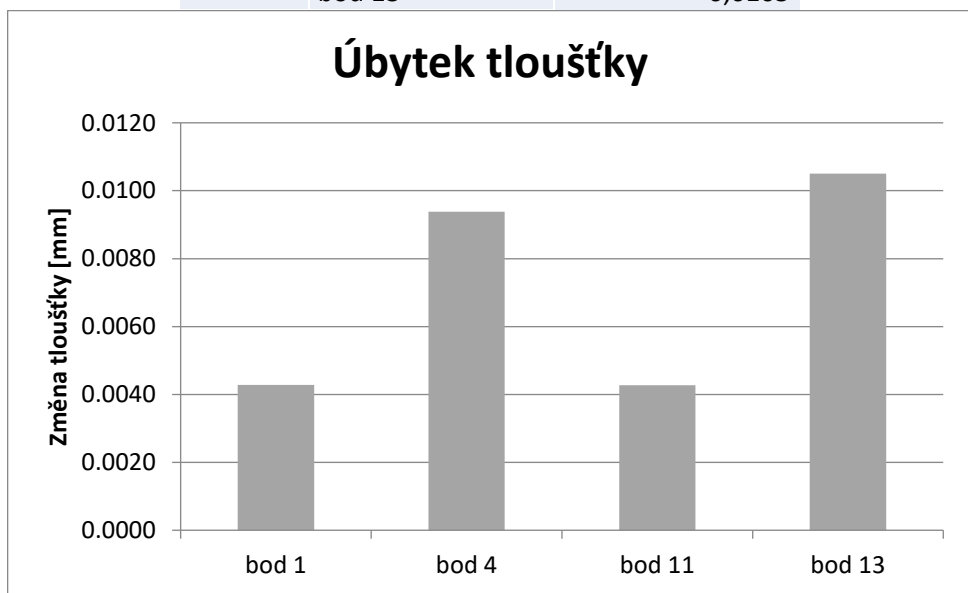
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 - Bod 1	lopatka 9	0,8897	0,8829	0,0068
	lopatka 11	0,8856	0,8822	0,0034
	lopatka 14	0,8840	0,8814	0,0027



Graf 48: Lopatkové kolo 167 - bod 1

Tab. 50: Průměrný úběr po 120 min

[mm]	Č. bodu	Úbytek tloušťky
167 – 120 min	bod 1	0,0043
	bod 4	0,0094
	bod 11	0,0043
	bod 13	0,0105

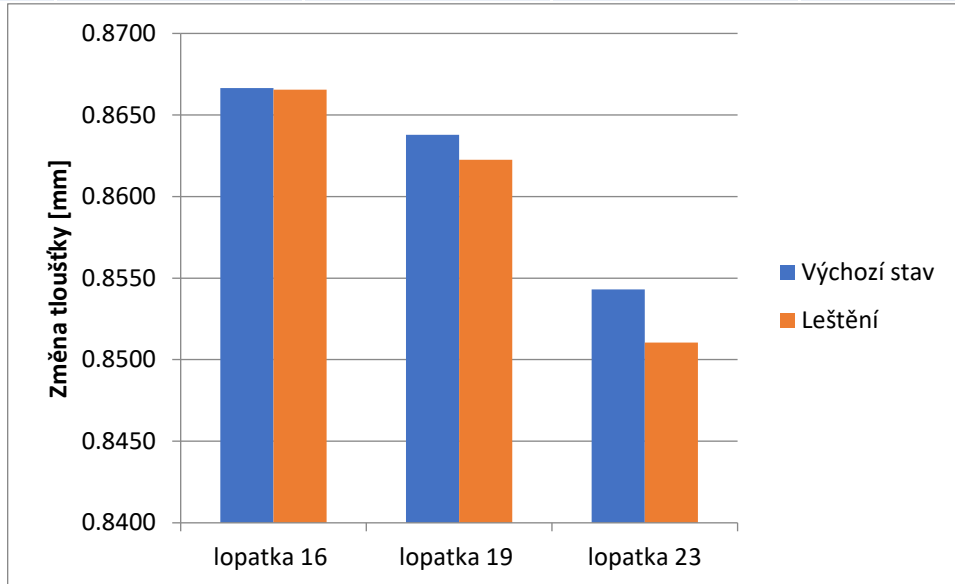


Graf 49: Průměrný úběr po 120 min

Doba leštění 60 min:

Tab. 51: Lopatkové kolo 167 - bod 13

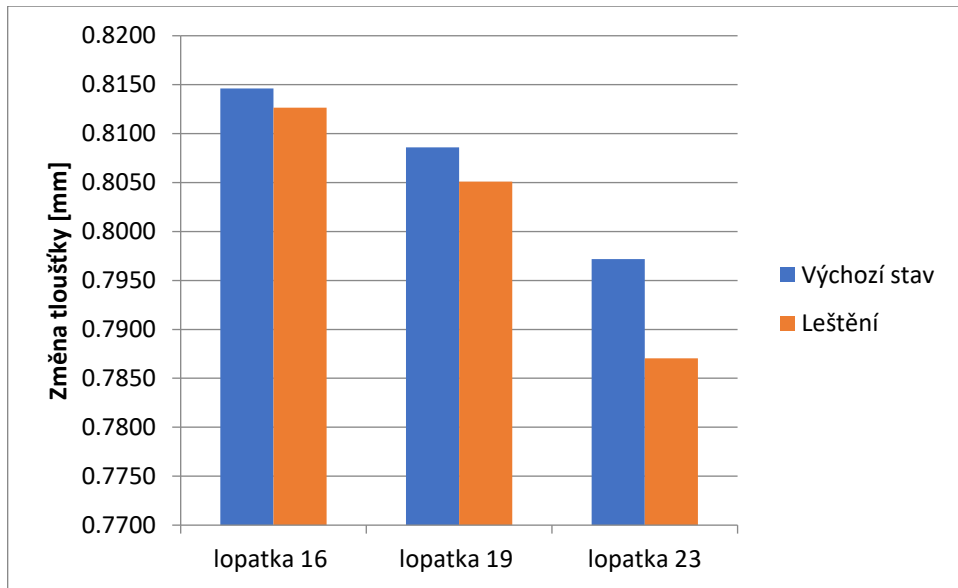
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 - Bod 13	lopatka 16	0,8667	0,8666	0,0001
	lopatka 19	0,8638	0,8622	0,0015
	lopatka 23	0,8543	0,8511	0,0033



Graf 50: Lopatkové kolo 167 - bod 13

Tab. 52: Lopatkové kolo 167 - bod 11

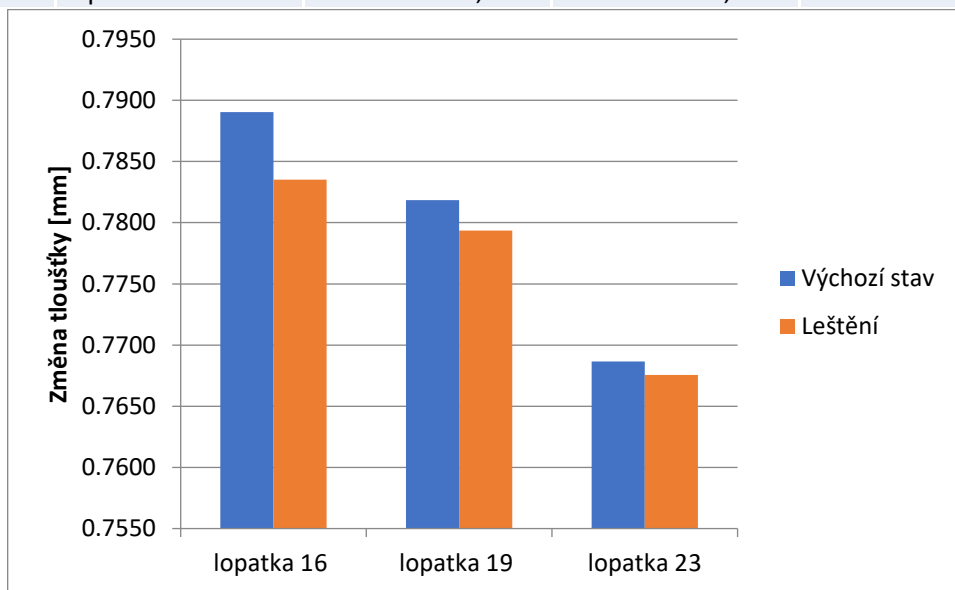
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 - Bod 11	lopatka 16	0,8146	0,8127	0,0020
	lopatka 19	0,8086	0,8051	0,0035
	lopatka 23	0,7972	0,7870	0,0102



Graf 51: Lopatkové kolo 167 - bod 11

Tab. 53: Lopatkové kolo 167 - bod 4

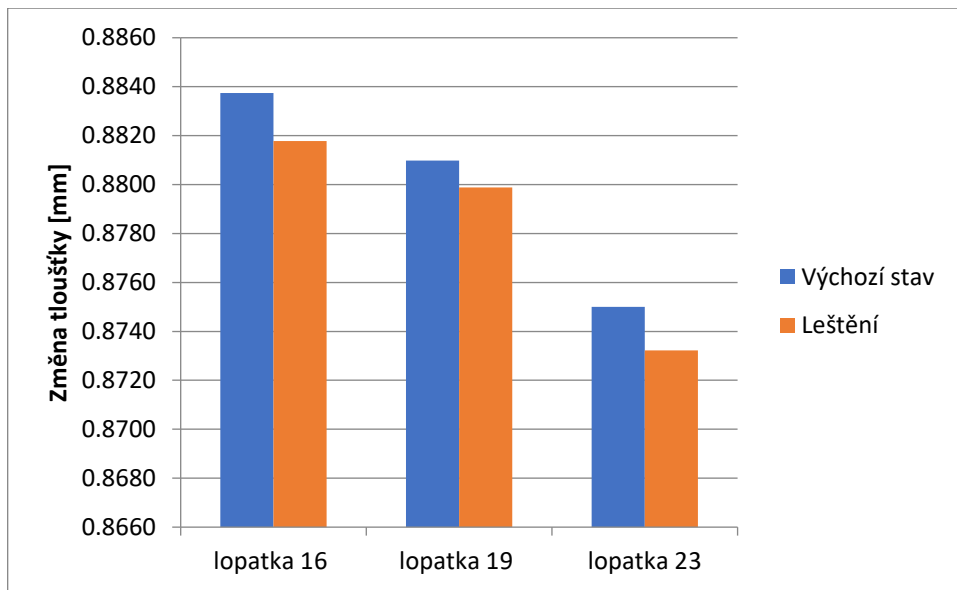
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 - Bod 4	lopatka 16	0,7890	0,7835	0,0055
	lopatka 19	0,7818	0,7793	0,0025
	lopatka 23	0,7687	0,7676	0,0011



Graf 52: Lopatkové kolo 167 - bod 4

Tab. 54: Lopatkové kolo 167 - bod 1

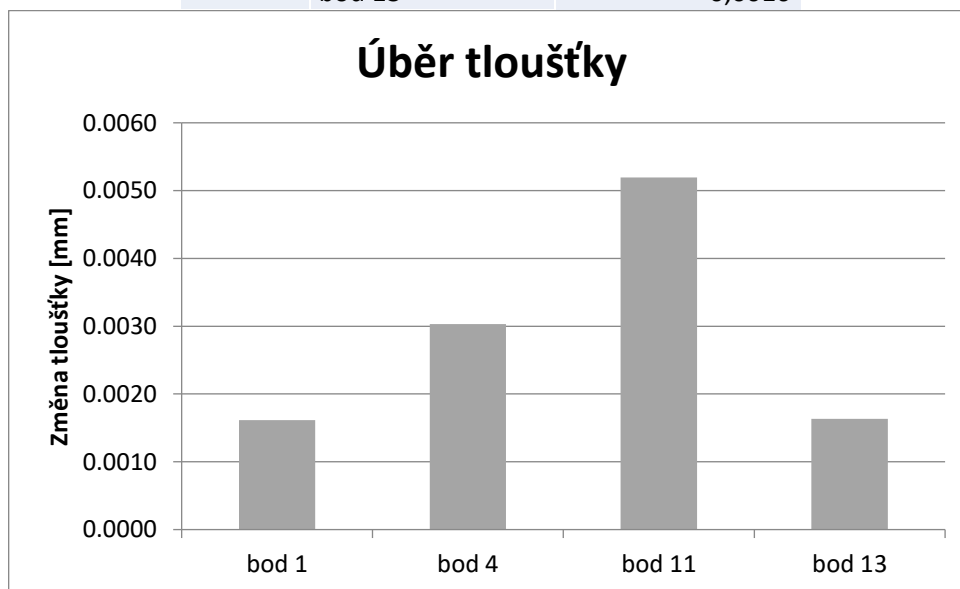
[mm]	Č. lopatky	Výchozí stav	Leštění	Rozdíl
167 - Bod 1	lopatka 16	0,8837	0,8818	0,0020
	lopatka 19	0,8810	0,8799	0,0011
	lopatka 23	0,8750	0,8732	0,0018



Graf 53: Lopatkové kolo 167 - bod 1

Tab. 55: Průměrný úběr po 60 min

[mm]	Č. bodu	Hodnota rozdílu
167 – 60 min	bod 1	0,0016
	bod 4	0,0030
	bod 11	0,0052
	bod 13	0,0016



Graf 54: Průměrný úběr po 60 min

