



Vliv řezných podmínek na kvalitu broušených vysoko-pevnostních ocelových součástí podvozkových noh letounů ve firmě AERO Vodochody AEROSPACE a.s.

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Ladislav Karnolt**
Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.





Influence of cutting conditions to the quality grinded high-strength steel components of aircraft landing gears in AERO VODOCHODY AEROSPACE a.s company

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering

Author: **Ladislav Karnolt**
Supervisor: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ladislav Karnolt**
Osobní číslo: **S13000735**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Vliv řezných podmínek na kvalitu broušených vysoko-
pevnostních ocelových součástí podvozkových noh letounů ve
firmě AERO Vodochody AEROSPACE a.s.**
Zadávající katedra: **Katedra obrábění a montáže**

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

1. Úvod a shrnutí poznatků o technologii výroby součástí podvozku civilních dopravních letounů.
2. Rozbor stávajícího postupu broušení ocelových součástí podvozkových noh letounů.
3. Návrh metodiky experimentů pro výzkum vlivu řezných podmínek na kvalitu broušených ocelových součástí.
4. Realizace experimentů.
5. Návrh optimální varianty broušení vysoko-pevnostních ocelových součástí podvozkových noh civilních dopravních letounů.
6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 40- 50 stran textu**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

[1] MASLOV, J. N. *Teorie broušení kovů*. Doplnil F. Neckář., 1. vyd. Praha: SNTL, 1979. 248 s. ISBN -.

[2] KOPEC, B., aj. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí*. Rec. P. Sullik, P. Mazal. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2008. 572 s. ISBN 978-80-7204-591-4.

[3] MALEC, J., OCHODEK, V. Využití Barkhausenova šumu ke kontrole a optimalizaci broušení. *Strojírenská technologie*. roč. 11, září 2006, č. 3. s. 17. ISSN 1211-4162.

[4] ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999. Praha: Český normalizační institut.

[5] KOCMAN, J. *Technologický postup výroby vřeteníku vyvrtávacího stroje v TOS Varnsdorf, a.s.* [Diplomová práce]. Liberec, TU v Liberci, 1999. 83 s.

[6] Manuály a firemní dokumentace.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jan Jersák, CSc.**

Katedra obrábění a montáže


Konzultant bakalářské práce: **Ing. Vladimír Odstrčil**

Datum zadání bakalářské práce: **5. března 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **5. června 2016**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 5. března 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 9.9.2015

Podpis: 

**Vliv řezných podmínek na kvalitu broušených vysoko-pevnostních ocelových
součástí podvozkových noh letounů ve firmě
AERO Vodochody AEROSPACE a.s.**

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá studiem procesu broušení chromové vrstvy na vysoko-pevnostních ocelových součástech podvozkových noh letounů a vlivu řezných podmínek na jejich kvalitu.

Cílem experimentální části je stanovení optimálních řezných podmínek při broušení chromové vrstvy s hlavním zřetelem na hodnocení parametrů drsnosti povrchu dílů, magnetoelastického parametru, strojní časy a výrobní náklady.

Bakalářská práce na základě výše uvedených kritérií hodnotí proces broušení vysoko-pevnostních ocelových součástí. Dle výsledků provedených hodnocení je vybrána optimální varianta řezných podmínek pro proces broušení chromové vrstvy.

**Influence of cutting conditions to the quality grinded high-strength steel
components of aircraft landing gears in
AERO Vodochody AEROSPACE a.s. company**

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with the study the processes of grinding chromium layer and influence of cutting conditions to the quality on high-strength steel components of aircraft landing gears.

The experimental part is to determine the optimal cutting conditions during grinding of chromium layer with the main focus on evaluation of parameters of surface roughness parts, magneto-elastic parameter, production time and production costs.

This bachelor thesis on the basic of the above criteria evaluates grinding proces on high-strength steel components. The optimal solution of cutting conditions for process grinding chromium layer is selected according to results of these evaluations.

Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1278**

Jméno a příjmení: **Ladislav KARNOLT**

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Jersák, Csc.
Konzultant: Ing. Vladimír Odstrčil

Počet stran: 59
Počet příloh: 2
Počet tabulek: 22
Počet obrázků: 28
Počet diagramů: 0

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Janu Jersákovi, Csc. za jeho podporu, trpělivost, cenné rady, připomínky a diskuze nejen při vypracovávání této bakalářské práce.

Moje poděkování patří rovněž rodině za psychickou a materiální podporu při studiu. Děkuji také mé přítelkyni za její celkovou podporu a trpělivost.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. Jersák', written in a cursive style.

OBSAH

1 ÚVOD	11
1.1 Charakteristika současné výroby v AVA.....	12
2 SHRUTÍ POZNATKŮ O TECHNOLOGII VÝROBY SOUČÁSTÍ PODVOZKŮ CIVILNÍCH DOPRAVNÍCH LETOUNŮ	15
2.1 Historie výroby podvozkových součástí v AVA	15
2.2 Metoda měření pomocí Barkhausenova šumu	16
3 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO POSTUPU BROUŠENÍ OCELOVÝCH SOUČÁSTÍ PODVOZKOVÝCH NOH LETOUNŮ	19
4 METODIKA MĚŘENÍ	22
4.1 Podstata experimentu.....	22
4.2 Podmínky a označení experimentů.....	26
4.3 Stroj pro experimenty.....	34
5 EXPERIMENTY BROUŠENÍ CHROMOVÉ VRSTVY	36
5.1 Broušení chromové vrstvy na díle č. 4 dle experimentu č. 6.....	36
5.2 Broušení chromové vrstvy na díle č. 4 dle experimentu č. 5.....	37
5.3 Broušení chromové vrstvy na díle č. 1 dle experimentu č. 1.....	37
5.4 Broušení chromové vrstvy na díle č. 1 dle experimentu č. 2.....	38
5.5 Broušení chromové vrstvy na díle č. 2 dle experimentu č. 3.....	38
5.6 Broušení chromové vrstvy na díle č. 3 dle experimentu č. 4.....	38
6 NÁVRH OPTIMÁLNÍ VARIANTY BROUŠENÍ	46
6.1 Vyhodnocení kvality broušeného povrchu dle parametrů Ra a t _p	46
6.2 Vyhodnocení kvality broušeného dle Barkhausenova šumu.....	49
6.3 Časové a ekonomické vyhodnocení provedených experimentů	50
7 ZÁVĚR	53
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	57
SEZNAM PŘÍLOH	59

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	tažnost	[%]
a_e	pracovní (radiální) záběr	[mm]
CRP	celková roční produkce	[ks/rok]
c_{tp50}	hodnota hloubky profilu drsnosti, při podílu materiálu a vzduchu 1:1	[μm]
f	frekvence	[Hz]
EK_u	ekonomická úspora	[Kč]
L₁	délka dílu č. 1	[mm]
L₄	délka dílu č. 4	[mm]
L_c	mezí vlnová délka (Cutt off)	[mm]
L_t	snímaná (vyhodnocovaná) délka	[mm]
MP	magnetoelastický parametr – jednotka Barkhausenova šumu	[MP]
n	počet	[-]
NPS	náklady na pracovní sílu	[Kč/hod]
PL_{4/1}	poměr délek	[-]
R_a	střední aritmetická úchylka profilu	[μm]
RHS	režijní hodinová sazba stroje	[Kč/hod]
R_m	mez pevnosti v tahu	[Pa]
t	čas	[min]
t_i	obecně naměřený čas	[min]
t₁	aritmetický průměr času broušení dílu č. 1	[min]
t₄	aritmetický průměr času broušení dílu č. 4	[min]
t₄'	poměrový čas broušení	[min]
t_p	nosný podíl profilu	[%]
t_u	časová úspora	[hod]
v_{fa}	axiální rychlost posuvu stolu	[m·s ⁻¹]
v_s	obvodová rychlost broušícího kotouče	[m·s ⁻¹]
v_w	obvodová rychlost obrobku	[m·s ⁻¹]
\bar{x}	aritmetický průměr	[-]
x_i	dílčí hodnota aritmetického průměru	[-]
Z	kontrakce	[%]
a.s.	akciová společnost	
AČR	Armáda České Republiky	
ALCA	advanced light combat aircraft (víceúčelový lehký bojový letoun)	

AVA	akciová společnost AERO Vodochody AEROSPACE a.s.
CNC	computer numerical control (číslicové řízení pomocí počítače)
HB	označení tvrdosti podle Brinella
HV	označení tvrdosti podle Vickerse
MBD	francouzská výrobní společnost Messier Bugatti Dowty
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
TMR	akciová společnost Technometra Radotín

1 ÚVOD

V současné silné konkurenční době je snižování výrobních i nevýrobních nákladů a zvyšování produktivity práce jedním z hlavních trendů, jak si veškeré společnosti mohou zachovat svoji konkurenceschopnost na trhu se svými výrobky. V tomto ohledu společnost AERO Vodochody AEROSPACE a.s. (dále jen AVA) nemohla zůstat stranou a veškerou svou, ať již zavedenou výrobu nebo výrobu nově zaváděnou, zahrnula do celofiremního programu zeštíhlování výroby do tzv. programu „Lean“. Z tohoto důvodu byl do tohoto programu v AVA zaveden i proces broušení, zejména pak na nově zaváděných vysoko-pevnostních dílech pro podvozkové nohy letounů. Protože se tyto díly nacházejí na podvozkových nohách dopravních letounů, je jejich požadavek na přesnost a kvalitu výroby, tedy i samotného broušení, ze všech v současnosti zavedených dílech v AVA nejvyšší. Důvodem tohoto požadavku je co nejvyšší bezpečnost provozu těchto letounů. Proces zavádění a zefektivnění nové výroby bude probíhat na v AVA nově zakoupené hrotové brusce UB32/1000CNC.

Cílem této bakalářské práce je:

- zefektivnění procesu broušení, z toho vyplývající zejména zkrácení výrobních časů a z tohoto dále vyplývající snížení výrobních i nevýrobních nákladů na danou součást, větší pracovní propustnost daného pracoviště, zvýšení produktivity práce a v neposlední řadě zamezení zmetkovitosti.

Mezi další cíle této bakalářské práce lze uvést:

- volba optimálního broušícího kotouče,
- volba způsobu orovnávání kotouče,
- optimalizace řezných podmínek,
- zefektivnění broušících programů,
- optimalizace a tvorba nových technologických návodek,
- dodržení předepsaných hodnot parametrů drsnosti povrchu při zefektivňování procesu broušení,
- zamezení vzniku spálenin na dílech s vnější chromovanou vrstvou,
- ekonomické zhodnocení a vyčíslení celkové úspory po zefektivnění broušení.

Při optimalizaci řezných podmínek musíme vzít také v úvahu, že jsme v těchto oblastech omezováni jak parametry stroje, tak také u některých výrobních programů navíc normami zákazníka, které nám udávají určitý rozsah řezných podmínek, ve kterých se musíme pohybovat a např. které procesní kapaliny můžeme používat. Právě pro proces broušení vysoko-pevnostních ocelových dílů je procesní kapalina jednoznačně určena normou zákazníka.

1.1 Charakteristika současné výroby v AVA

Výroba podvozkových částí a podvozkových kompletů pro jak civilní tak pro vojenské letouny ve společnosti AVA nemá dlouhodobou tradici a to z jednoduchého důvodu. Výroba těchto leteckých komponent probíhala během 20. století a na počátku 21. století ve společnosti Technometra Radotín a.s. (dále jen TMR) a to pro všechny typy letounů vyráběných v tehdejší Československu a následně také v České republice. Z letounů, které používají podvozky vyrobené v TMR lze např. uvést: L29 Delfin, L39 Albatros (všech verzí), L159 ALCA (viz obrázek 1), L410, letouny typu „ZLÍN“ atd.



Obr. 1 Letoun L159T1 ALCA, dvounísná cvičně bojová verze letounu L159ALCA [9]

V roce 2009, kdy byla společnost TMR v ekonomické recesi, bylo rozhodnuto jejím majitelem, což tehdy byla právě společnost AVA, že bude veškerá výroba postupně převedena do společnosti AVA společně se strojním vybavením, lidskými zdroji a obchodními závazky, které TMR v té době měla. S tímto převodem samozřejmě souviselo také částečné převedení tzv. „know – how“ společnosti TMR. Během tohoto převodu bohužel nedošlo k převedení veškerých lidských zdrojů, což velice komplikovalo počátek a zavádění výroby podvozků v AVA. Nicméně tyto problémy byly následně překonány a tak se může výroba podvozků v AVA datovat od počátku roku 2010. S touto výrobou stála před AVA nová výzva. Vypořádat se s velmi specifickou a přesnou výrobou podvozkových komponent. Jako hlavní druhy problematiky dané

výroby můžeme uvést:

- již zmiňovaná přesnost těchto výrobků,
- obrábění velkorozměrových jak ocelových tak duralových výkovek,
- provádění hydraulických testů podvozkových dílů, podsestav a finálních sestav,
- výroba hydraulických sestav ve velmi čistých prostorách se specifickými podmínkami prostředí (vlhkost vzduch, teplota atd.),
- speciální chemické procesy,
- speciální procesy mechanického zpevňování,
- speciální procesy měření,
- broušení chromovaných povrchů,
- měření kvality povrchu, zbytkových napětí po procesu broušení chromové vrstvy.

Tato nová výroba samozřejmě nepřivedla do AVA jen samé počáteční problémy se zaváděním nové výroby, ale také možnost proniknutí na světové trhy s těmito výrobky. Během 20. století a na počátku 21. století, se výroba orientovala převážně na trhy tzv. východního bloku, československý a následně český trh nevyjímaje. Poslední velkou zakázkou tohoto typu pro AVA byla zakázka na výrobu 72 letounů L159 ALCA pro Armádu České Republiky. Následně bylo jasné, že se AVA bude muset více orientovat na západní trhy. První z velkých projektů, bylo podepsání smlouvy s americkou firmou Sikorsky na kompletní výrobu vrtulníků S-76 (viz obrázek 2) bez motorových a rotorových částí.



Obr. 2 Vrtulník Sikorsky S76C [11]

Tento projekt je do dnešní doby tzv. nosným projektem AVA. Společnosti AVA se následně podařilo získat nové zakázky na západoevropském trhu zejména kvůli vyhlášené kvalitě a včasnosti dodaných výrobků svým zákazníkům. Jako příklad tohoto mohu uvést výrobu raketových závěsníků pro stíhací letouny švédské výroby Jas 39C/D Gripen (viz obrázek 3), které v současnosti provozuje, mimo jiné, Armáda České republiky. Tato zakázka byla získána v rámci tzv. offsetu, tj. právě na základě toho, že AČR tyto letouny provozuje. Z dalších výrobních programů lze uvést výrobu kanónových dveří pro letoun F/A 18 Hornet a výroba centroplánu pro letoun C27J Spartan. Samozřejmě nelze opomenout generální opravy již v AVA dříve vyrobených a v současnosti stále ještě v mnoha zemích provozovaných letounů velice úspěšného typu L39 Albatros, L59 Super Albatros (viz obrázek 4) a jejich vývojových verzí.



Obr. 3 Letoun Jas 39C Gripen Vzdušných sil AČR se zavěšenými raketovými závěsníky [12]



Obr. 4 Letoun L59 Super Albatros vzdušných sil Tuniska [13]

2 SHRUTÍ POZNATKŮ O TECHNOLOGII VÝROBY SOUČÁSTÍ CIVILNÍCH DOPRAVNÍCH LETOUNŮ

2.1 Historie výroby podvozkových součástí v AVA

Během průmyslové recese v roce 2009 výše zmíněné nosné projekty citelně zeslabily a před AVA stála nová výzva, proniknout na zatím pro AVA neznámé trhy, což výroba podvozkových noh a jejich příslušenství splňovala. Převodem výroby z bývalé TMR se pro AVA otevřel nový trh nejen v České Republice, ale také v zahraničí. Kromě výroby podvozkových noh pro současné civilní a vojenské letouny vyráběné v České Republice, byl do AVA převeden také úplně nový výrobní projekt pro západoevropského zákazníka. Jmenovitě se jedná o francouzskou firmu Messier Bugatti Dowty (dále jen MBD), která dodává kompletní podvozkové nohy pro všechny v současnosti vyráběné typy letounů řady Airbus, tj. dodává tyto komponenty jednomu z největších leteckých výrobců na světě, nebo-li výrobcí, který je schopen zkompletovat a dodat finálnímu zákazníkovi více jak 600 letounů ročně! S tímto novým projektem, který spočívá v kompletní výrobě a sestavování zlomovací vzpěry, tj. zámku polohy hlavních podvozkových noh tzv. Side Stay (viz obrázek 6) se AVA otevřela cesta na nejen západní trhy s těmito výrobky. V současnosti probíhá tato výroba již šestým rokem a současná výroba je dále rozšiřována o další a další letecké podvozkové komponenty. Samozřejmě vývoj vlastních letadel typu Airbus v závislosti na požadavcích trhu neustále probíhá a v současnosti se zavádění nové verze typu „neo“. Lze uvést, že firmě Airbus se v posledních několika letech povedlo získat na letouny této nové typové řady mnoho zakázek a daný počet objednaných letounů se zvyšuje prakticky při každé velké světové letecké výstavě a v tomto ohledu Airbus již několikrát po sobě porazil svého největšího konkurenta, amerického výrobce Boeing. Touto skutečností je zajištěna výroba letadel této typové řady na mnoho let dopředu, tj. i výroba ocelových komponent pro podvozkové nohy těchto letounů. Právě tyto ocelové komponenty jsou nyní nově zaváděny do výroby AVA a budou předmětem zkoumání této bakalářské práce.

Jak již bylo řečeno dříve, s touto novou výrobou bylo třeba vyřešit velké množství úkolů, mezi které mimo jiné také patří broušení ocelových dílů a broušení chromové vrstvy na těchto dílech. Částečné zkušenosti s touto problematikou byly získány převedením výroby z TMR, tj. již zmiňovaném získání tzv. „know – how“ lidských zdrojů. Tyto zdroje bohužel nebyly dostačující na tento nový projekt. Ve společnosti TMR již dříve bylo toto speciální broušení prováděno, ale nebylo nutné, dle tehdejších norem a na našich typech letounů provádět měření tzv. Barkhausenovým šumem. Více k této metodě měření bude uvedeno v následující podkapitole 2.2.

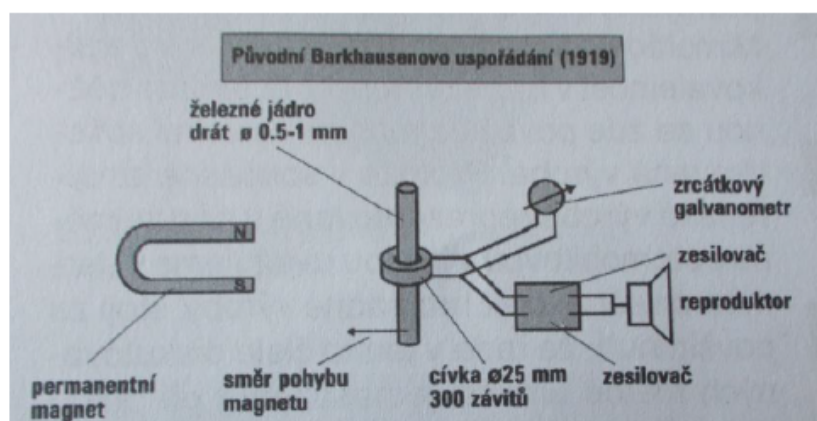
Během posledních šesti let, kdy se ocelové součásti v AVA vyráběly hlavně z ocelí střední pevnosti, bylo již také dosaženo spousty poznatků a získáno velké množství zkušeností, které byly

získány na počátku výroby hlavně ze strany zákazníka během pracovních návštěv tzv. auditů pro zavedení nové výroby. Účelem těchto návštěv bylo jak včasné zavedení nových dílů do výroby a tím splnění naplánovaných dodávek zákazníkovi, tak upozornění na různá úskalí výroby těchto dílů a v neposlední řadě samozřejmě také dosažení požadované kvality povrchu součástí a zamezení zmetkovitosti. Broušení chromové vrstvy na předešlých ocelových dílech z ocelí o hodnotách pevnosti v tahu $R_m = 1250$ až 1350 MPa probíhalo pouze na hrotové brusce BUAJ 29CNC. Se zaváděním nové výroby letounů Airbus typu „neo“, tj. rozšiřováním množství výroby o nové díly, vyrobené z vysokopevnostních materiálů a také s podstatně většími rozměry, bylo rozhodnuto vedením AVA o nákupu nového, moderního a většího stroje. Po proběhnutí nezbytné investiční procedury, bylo rozhodnuto o nákupu hrotové brusky UB32/1000 CNC vyrobené ve firmě TOS HOSTIVAŘ - HOL-MONTA s.r.o. Právě zavedení této nové brusky v AVA současně se zaváděním nových dílů bude předmětem zkoumání této bakalářské práce.

2.2 Metoda měření pomocí Barkhausenova šumu

V dnešní době neustále rostou požadavky na kvalitu, spolehlivost a životnost leteckých součástí. Toto se samozřejmě také týká ocelových součástí podvozkových noh letounů, kde zejména vysoko-pevnostní čepy, vyrobené z feromagnetické oceli, rozhodují o funkčnosti a bezpečnosti celého podvozkového systému. Z tohoto důvodu je na kontrolu finálních operací, mezi které samozřejmě lze uvést broušení, kladen vysoký důraz, často s požadavkem na spolehlivé a nepřetržité kontroly kompletní sériové výroby [3]. Právě pro tuto kontrolu je vhodná magnetoelastická metoda založená na využití Barkhausenova šumu.

Barkhausenův šum je jev poprvé popsán v roce 1919 profesorem Heinrichem Georgem Barkhausenem. Název jeho původní práce zní ve volném překladu „Dvě pozoruhodnosti objevené pomocí nového zesilovače“ [3]. Uspořádání použité profesorem Barkhausenem je zobrazeno na obrázku č. 5.

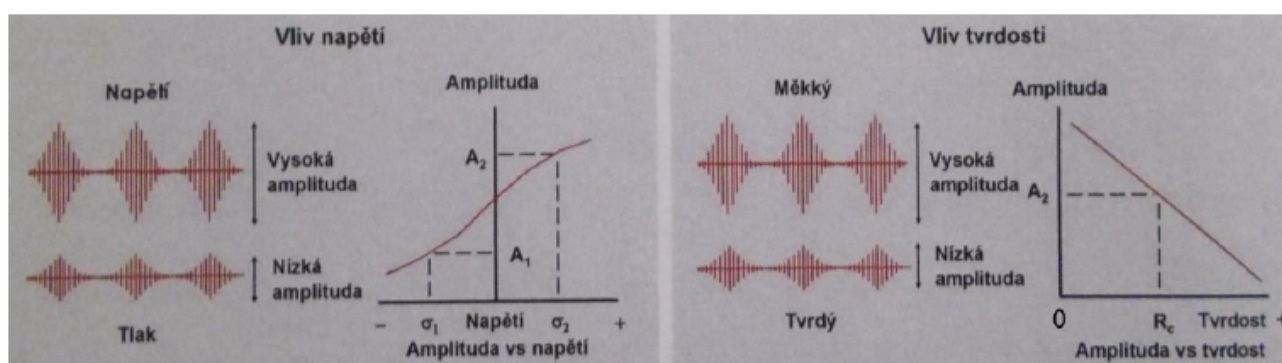


Obr. 5 Původní Barkhausenovo uspořádání [3]

Podstatou Barkhausenova šumu jsou nespojité změny magnetizace feromagnetických materiálů vyvolané vnějším (střídavým) proudem [16]. Feromagnetické materiály si lze představit jako složeniny z malých magnetických oblastí podobných tyčovým magnetům, které se nazývají domény. Každá doména se magnetizuje podél krystalograficky význačných směrů. Domény jsou přitom navzájem odděleny hranicemi, které se nazývají doménové stěny. Aby se doménová stěna mohla pohnout, doména na jedné straně stěny se musí zvětšit a doména na druhé straně se smrští. Výsledkem je pak změna v celkové magnetizaci vzorku [3]. Magnetizace je charakterizována hysterezní smyčkou.

Je-li feromagnetický materiál střídavě magnetován pomocí feromagnetického třmínku s budicí cívkou (typická frekvence $f = 125 \text{ Hz}$), objeví se první vratné pohyby doménových stěn [16]. Pokud je tedy cívka z vodivého drátu umístěna v blízkosti vzorku v době, kdy se doménová stěna pohybuje, související změna magnetizace vzorku indukuje v cínce elektrický puls. Jsou-li pulsy vznikající pohybem domén spojeny, vznikne typický signál pro Barkhausenův šum.

Barkhausenův šum má pro většinu materiálů frekvenční spektrum začínající na magnetizačním kmitočtu 70kHz a končí přibližně na 250kHz. Intenzita Barkhausenova šumu je ovlivňována mikrostrukturou součásti a rozložením zbytkových napětí. Tahové napětí zvyšuje a tlakové napětí snižuje úroveň signálu Barkhausenova šumu [3]. Lze také uvést, že se zvyšující se tvrdostí součásti, klesá naměřený Barkhausenův šum (viz obrázek 6) [10]. S využitím této metody je možné měřit do hloubky součásti od 0,01 do 1,5 mm [3]. Hloubka měření se určuje zvolenou frekvencí na měřicím přístroji, při vyšší frekvenci je hloubka měření nižší, při nízké frekvenci lze měřit do větší hloubky dílu. Hloubku měření také ovlivňuje vodivost a permeabilita zkoušeného materiálu. Vlastní měření probíhá pomocí měřicího přístroje a měřicího snímače, který také určuje přesnost měření. Lze uvést, že čím je měřicí snímač menší, tím je i vlastní měření citlivější a přesnější. Princip a konstrukce měřicího snímače je zobrazen na obrázku č. 7.



Obr. 6 Intenzita Barkhausenova šumu v závislosti na tvrdosti a povrchovém napětí [10]



Obr. 7 Princip a konstrukce měřicího snímače [17]

Praktické využití této metody při výrobě vysoko-pevnostních podvozkových součástí v AVA spočívá, mimo jiné, v její schopnosti odhalit tzv. spáleniny na díle, přímo pod chromovou vrstvou po nevhodných řezných podmínkách při broušení. Tyto spáleniny samozřejmě negativně ovlivní mimo jiné pevnost materiálu daného dílu a může dojít k jeho destrukci. Aby se tomu předešlo, používá se povinně tato metoda při měření broušených dílů dle různých leteckých, v současnosti platných, předpisů. Jako příklad nutnosti používání metody měření Barkhausenovým šumem lze uvést závěr z leteckého vyšetřování letecké nehody civilního letounu Boeing 737. Vyšetřováním bylo zjištěno, že při výrobě předního podvozku nebyla použita metoda měření Barkhausenovým šumem a následně vinou, již zmíněných spálenin, došlo k ulomení pravého předního podvozkového kola (viz obrázek 8). Nehoda se naštěstí obešla bez ztrát na lidských životech a bez ztrát na majetku [8]. Nejen z tohoto důvodu je měření Barkhausenovým šumem nedílnou součástí všech technologických postupů u nově zaváděných vysoko-pevnostních dílů v AVA.



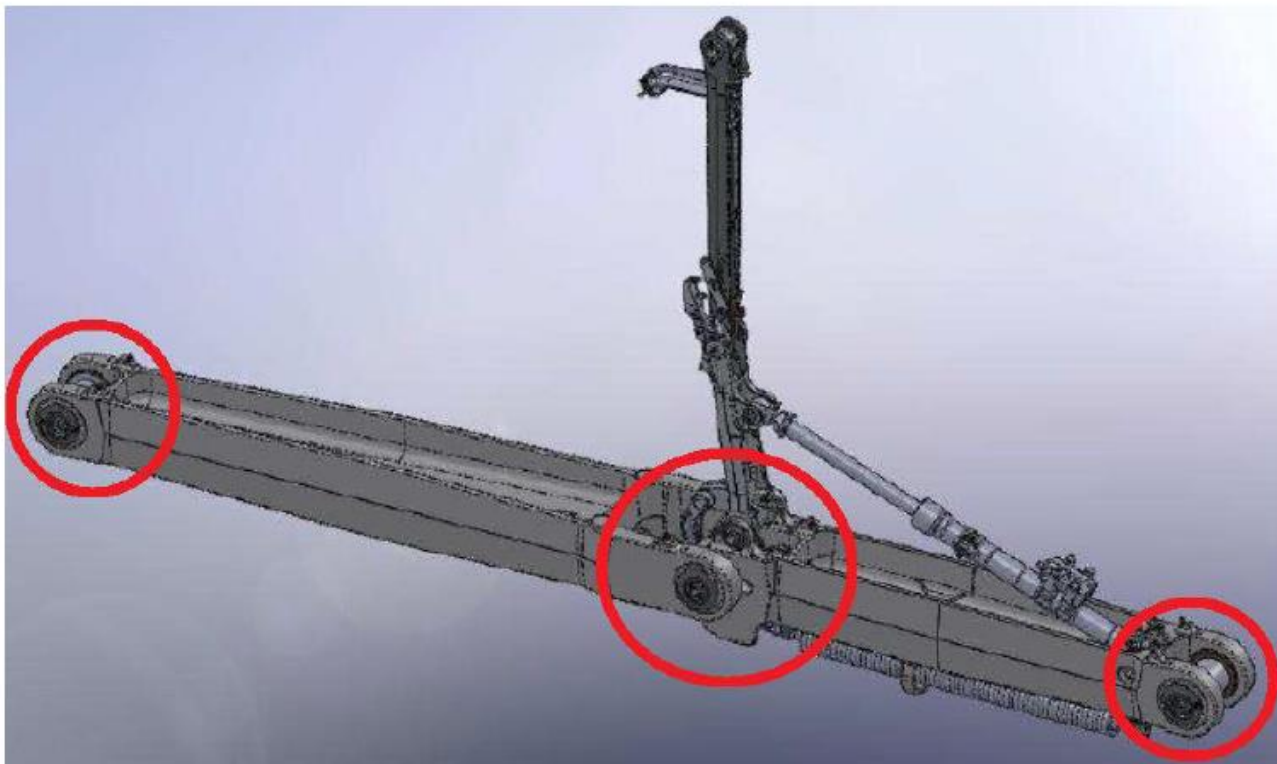
Obr. 8 Ulomené přední podvozkové kolo na letounu Boeing 737 [8]

3 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO POSTUPU BROUŠENÍ OCELOVÝCH SOUČÁSTÍ PODVOZKOVÝCH NOH LETOUNŮ

Ocelové díly, ať již s chromovou vrstvou nebo bez ní, tvoří základní pevnostní prvky kloubových spojů podvozkových noh všech typů v současné době vyráběných letounů. Pro zobrazení, v jakých místech se dané čepy nacházejí, přikládám obrázek zámkového systému Side Stay s podvozkovou nohou letounu (viz obrázek 9) a obrázek samotného zámkového systému Side Stay (viz obrázek 10). Na obou obrázcích jsou zvýrazněná místa, kde se nachází vysoko-
pevnostní čepy, které budou předmětem zkoumání této bakalářské práce. Ve všech případech se jedná o ocelové čepy, patřící dle leteckých předpisů do skupiny dílů třídy 1, tj. do skupiny dílů s nejvyšší sledovatelností tj. do skupiny, které svoji poruchou, poškozením nebo destrukcí mohou způsobit tak závažné problémy, při kterých může dojít až k letecké katastrofě se ztrátami na lidských životech. Z tohoto důvodu je nutné věnovat kompletní výrobě těchto dílů tu největší možnou pozornost, dodržovat veškeré dané letecké předpisy a v neposlední řadě dodržovat technologickou kázeň.



Obr. 9 Levá podvozková noha s kompletním zajišťovacím systémem tzv. Side Stay [14]



Obr. 10 Kompletní zajišťovací systém tzv. Side Stay (bez koncových kardan - čepů) [14]

V této kapitole je stručně popsán technologický postup ocelových dílů, který je v současné době zaveden do výroby v AVA.

Původně zavedené ocelové díly byly vyráběny ze středně pevnostní oceli s označením 35NCD16 s hodnotou pevnosti v tahu $R_m = 1250$ až 1350 MPa, tvrdostí dle Brinella $363 \leq HB \leq 412$, tažností $A = 8\%$ a s kontrakcí $Z = 40\%$ (hodnoty jsou uvedeny dle normy AIR 9160). Nově zaváděné díly, které jsou tématem této bakalářské práce, jsou navrženy z vysoko-pevnostní oceli s označením 300M. Po zakalení má tato ocel zaručenou pevnost v tahu $R_m = 1930$ až 2100 MPa, tvrdost dle Vickerse $HV = 575$ až 635 , tažnost $A = 7\%$ a kontrakci $Z = 25\%$ (hodnoty jsou uvedeny dle AMS 6419). Ocel 300M je dodávána většinou ve formě kruhových tyčí různého průměru od dodavatele, který musí být předem schválen zákazníkem. Do AVA je tento materiál dodáván společně s certifikáty o jakosti materiálu, tj. zaručující potřebnou kvalitu a pevnost materiálu, bez těchto certifikátů nelze daný materiál použít pro výrobu. Tento materiál a již zmiňované certifikáty jsou nejprve prokontrolovány vstupní kontrolou AVA, následně jsou uskladněny v hlavním skladu a poté dle potřeby a velikosti zakázek je předán na výrobní halu. Ve většině případů se materiál dodává v délce 1m, nebo u složitějších a rozměrnějších dílů se dodává v délce polotovaru pro danou součást. Délku polotovaru samozřejmě vymezují také možnosti upínání CNC obráběcího stroje, na kterém se daný výrobek vyrábí.

První výrobní operací u tyčí o délce 1m je hrubování a částečné obrábění na CNC soustruzích. Při těchto operacích dojde také k nařezání dílů z metrové tyče na požadovanou délku. Poté jsou předány díly na kontrolu tvrdosti, kde současně s kontrolou dodáno dílu specifické nebo-li sériové číslo ve formě odpovídající požadavku zákazníka, tj. forma označení odpovídá technické normě o značení dílu. Sériové číslo dílu je generováno systémem AVA již během zadávání výrobní zakázky do systému AVA, tj. před vytisknutím výrobní průvodky a předáním do výrobního procesu. U dílů, které jsou na výrobní halu předány jako nařezané, se prvotně provádí kontrola tvrdosti a přidělení sériového čísla. Výše uvedeným procesem značení je zaručena požadovaná zpětná dohledatelnost, což je jeden z hlavních požadavků zákazníka na díly s nejvyšší sledovatelností. Lze uvést, že díly s nejvyšší sledovatelností patří do skupiny nejvyšší letecké bezpečnosti, tj. jedná se o díly, jejichž porucha (poškození) může vést až k letecké katastrofě se ztrátami na lidských životech.

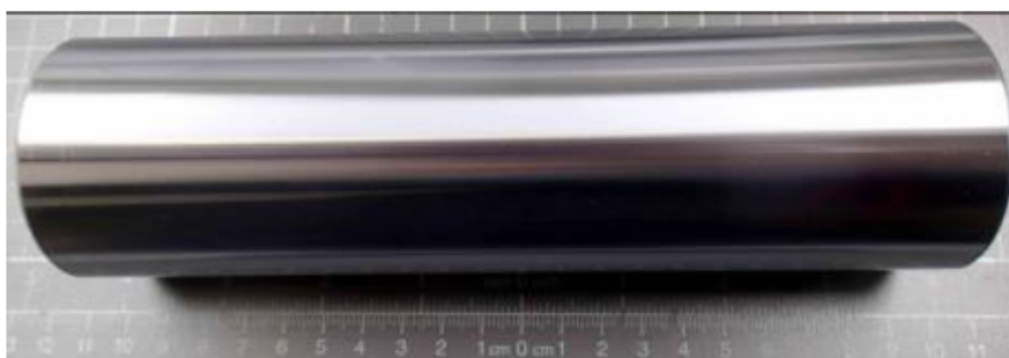
Po zajištění dohledatelnosti následuje, pokud je požadované, např. kalení a poté různé hrubovací operace kontrolní. Protože hrubovací operace nejsou předmětem řešení této bakalářské práce, lze tedy uvést, že se nejčastěji jedná samozřejmě o soustružení, částečně frézování a také o gravírování dílu. Po kompletním obrábění musí vždy následovat operace mechanické zpevnění. Pokud jsou na díle již zhotoveny uvedené operace, je možné tento díl poslat na pracoviště povrchových ochranných, kde se v chemické lázni nanáší na výkresově požadovaný průměr dílu chromová vrstva. Následně je tloušťka chromové vrstvy proměřena na kontrolním pracovišti, a pokud je vše vyrobeno dle výkresových požadavků dílu je možné předat díl na hrotovou brusku UB32/1000 CNC a započít s vlastním broušením chromové vrstvy. Po tomto broušení následuje kontrola Barkhausenovým šumem, rozměrové kontroly a kontrola drsnosti povrchu. Vlastní broušení této chromové vrstvy je předmětem této bakalářské práce. Měření nosného podílu t_p , měření hodnoty drsnosti povrchu R_a a měření Barkhausenovým šumem slouží ke kontrole a optimalizaci procesu broušení.

4 METODIKA MĚŘENÍ

4.1 Podstata experimentu

Na vysoko pevnostních ocelových dílech se nachází vnější chromová vrstva, které je potřeba zejména po jejím broušení věnovat zvýšenou pozornost. Pro vlastní experiment bylo tedy zvoleno broušení této vrstvy a následné vyhodnocení její kvality povrchu. Cílem experimentu je broušení této chromované vrstvy, zefektivnění vlastního procesu broušení, z hlediska jakosti povrchu, zkrácení výrobních časů pro broušení a v neposlední řadě zamezení vzniku nežádoucích jevů např. vysokých tahových napětí v povrchové vrstvě a tzv. spálenin.

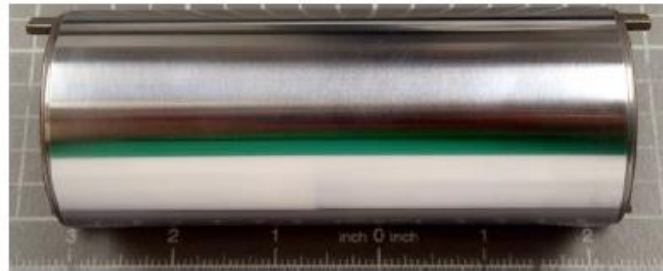
Pro experiment bude zvoleno více druhů vysoko-pevnostních dílů z ocelí technického označení 300M. Budou zvoleny čtyři různé díly z tohoto typu oceli. Jako první díl z oceli 300M bude zvolen „DÍL 1 - Rovný čep“ o délce 201 mm a broušeném průměru $d = 56 \text{ f6 mm}$ (viz obrázek 11), jako druhý díl bude zvolen „DÍL 2 – kardan čep“ o celkové délce 400 mm a se dvěma broušenými průměry $d_1 = 75 \text{ f7 mm}$ a $d_2 = 95 \text{ f7 mm}$ (viz obrázek 12), jako třetí díl bude zvolen „DÍL 3 – Rovný čep“ o délce 128 mm a broušeném průměru $d = 56 \text{ g6 mm}$ (viz obrázek 13). Čtvrtým zvoleným dílem bude „DÍL 4 – Rovný čep“, který je téměř identický jako „Díl 1“ pouze s rozdílnou délkou 211 mm (viz obrázek 11). V rámci provedených experimentů budou také hodnoceny tři brousící kotouče (Tyrolit 500x40x203 - 99BA 60J 9V3 C40, Swaty Comet 500x60x203 - 99BA 60J 9V3 C40 a Best Business 500x63x203 99BA 60I 9V3 C40) a dva diamantové orovnávače (jednokamenný - DCT 1,75 ct MK1 a vícezrný - s držákem roletky typu 177 5,00 ct a s kuželem MK1). Jako procesní kapalina bude zvolena kapalina HOCUT 795B. Kvalitu povrchu broušeným součásti samozřejmě také ovlivňuje vlastní procesní kapalina a je tedy vhodné pro vlastní experimenty zvolit více druhů této kapaliny, avšak možnosti daného experimentu, tj. výběr více druhů procesních kapalin na zvolené hrotové brusce omezilo zejména množství procesní kapaliny v této brusce, které je u daného typu 700 litrů.



Obr. 11 DÍL 1 (DÍL 4) – rovný čep



Obr. 12 DÍL 2 – kardan čep



Obr. 13 DÍL 3 – rovný čep

Praktická část experimentu bude prováděna na výrobní hale č. 59 v podniku AERO Vodochody AEROSPACE a.s. a dále pak v prostorách měřicích laboratoří taktéž nacházejících se na výrobní hale č. 59. Během procesu broušení bude vždy před započatím broušení každého dílu broušící kotouč orovnan jednokamenným či vícezrným orovnávačem (viz obrázky 14 a 15).



Obr. 14 jednokamenný orovnávač
DCT 1,75 ct MK1 [15]

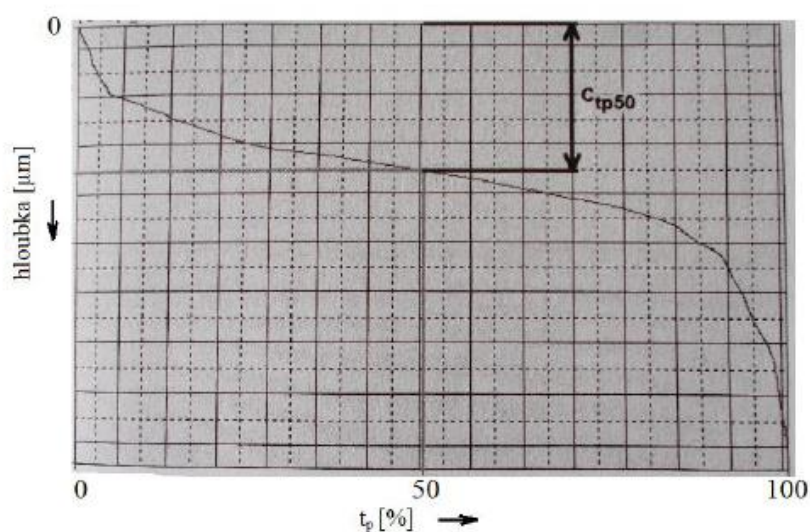


Obr. 15 vícezrný orovnávač s držákem
roletky typu 177 5,00 ct a s kuželem MK1 [15]

Hodnocení procesu broušení bude zaměřeno na vlastní technologický proces, kdy budou v průběhu experimentů monitorovány a kontrolovány předepsané (zvolené) řezné podmínky broušení a dále také na obrobených součástech, u kterých budou monitorovány předepsané drsnosti povrchu formou měření střední aritmetické úchytky profilu R_a a nosného podílu profilu t_p a zbytková napětí v povrchové vrstvě.

K měření střední aritmetické úchylky profilu R_a a nosného podílu profilu t_p bude použit měřicí přístroj na měření drsnosti povrchu Hommel tester LV 15 T1000-E (viz obrázek 17). Na tomto přístroji bude nastavena vyhodnocovaná (snímaná) délka snímání $L_t = 15$ mm a mezní vlnová délka (cutt off) $L_c = 2,5$ mm. Pro měření nosného podílu profilu t_p bude přístroj nastaven na odečítání dle parametru c_{tp50} viz obrázek č. 16.

Ze statistických důvodů a z důvodu vyšší přesnosti měření, budou vždy na každém testovaném kuse měření R_a a t_p provedena 5x. Dle výkresových požadavků testovaných dílů bude maximální dovolená hodnota R_a stanovena na hodnotu $R_a = 0,4$ μm . Díl s vyšší naměřenou hodnotou než $R_a = 0,4$ μm bude vyhodnocen jako nevyhovující.



Obr. 16 Určení parametru c_{tp50} z Abbottovy křivky [19]

Obrázek č. 16 zobrazuje vzorovou Abbottovu křivku s vyznačeným parametrem c_{tp50} . Tato křivka udává materiálový podíl součtu délek přímek v dané výšce profilu drsnosti k vyhodnocované délce profilu. Parametr c_{tp50} vyjadřuje číselnou hodnotu hloubky profilu drsnosti, ve které je podíl materiálu a vzduchu 1:1. Nižší hodnoty parametru c_{tp50} indukují kvalitnější povrch [19].

Pro měření magnetoelastického parametru bude použit měřicí přístroj na měření Barkhausenova šumu ROLLSCAN 350 unit STRESSTECH (viz obrázky 18, 19 a 20). Měření Barkhausenova šumu bude prováděno měřicím snímačem po broušeném průměru v podélném směru nebo-li v ose rotace dílu (důvodem využití tohoto směru je vyšší magnetická odezva materiálu v tomto směru). Podélné měření bude prováděno skenováním 100% broušeného povrchu. Orientace pólů měřicího snímače bude nastavena v tangenciálním směru. Vyhodnocení hodnot magnetoelastického parametru (dále jen MP) bude probíhat dle zákaznické normy, která bude uvedena pod názvem Customer 1 (z důvodu vnitřních bezpečnostních záležitostí a ochraně vnitřních dat v AVA nelze tuto zákaznickou normu uvést pod přesným názvem). Tato norma je výkresově

požadována na vyhodnocování testovaných dílů. Hodnota maximálního dovoleného MP je dle této normy určena jako trojnásobek minimální hodnoty naměřeného MP a to na každém díle. Pokud je tedy maximální změřená hodnota MP na díle vyšší než trojnásobek jeho minimální hodnoty, díl je nevyhovující a nelze použít do následné výroby. Tento způsob vyhodnocování kvality dílů je podložen souborem měření ve vývojových laboratořích zákazníka.



Obr. 17 Měřicí přístroj Hommel tester LV 15 T1000-E na měření aritmetické úchytky profilu R_a a nosného podílu profilu t_p

Lze uvést, že měření Barkhausenova šumu bude věnována nejvyšší prioritě pro hodnocení kvality dílů. Důvodem je schopnost tohoto měření odhalit mimo jiné tzv. spáleniny na díle, přímo pod nabroušenou chromovou vrstvou, jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2. Díl takto poškozený je již neopravitelný, je jednoznačně nepoužitelný do následné výroby a musí být sešrotován. Protože broušení chromové vrstvy je dokončovací operací, vznikne sešrotováním daného dílu nemalá finanční škoda včetně ohrožení včasných dodávek daného typu dílu.



Obr. 18 Měřicí přístroj ROLLSCAN 350 unit STRESSTECH na měření Barkhausenova šumu

4.2 Podmínky a označení experimentů

Jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách, během broušení chromové vrstvy na vysoko-pevnostních dílech může docházet k nežádoucím jevům, např. zbytkovým tahovým napětím v povrchových vrstvách a ke spáleninám. Z tohoto důvodu bude kompletní experiment proveden na více dílech za použití různých rezných podmínek, různých broušicích kotoučů a různých typů orovnávačů viz kapitola 4.1. Kompletní experiment bude také rozdělen do celkově 6 různých experimentů s označením experiment č. 1 až experiment č. 6. Rezné podmínky experimentů společně s příslušnými díly daných experimentů jsou zobrazeny v níže uvedených tabulkách č.1 až č. 6. Hodnota pracovního (radiálního) záběru a_e bude u každého experimentu nastavena na maximální dovolenou hodnotu $a_e = 0,003$ mm. Tato hodnota je dána již dříve zmíněnou zákaznickou normou Customer 1 pro broušení chromové vrstvy.

Níže je také uvedena technologická návodka pro proces broušení chromové vrstvy v AVA, dle které probíhalo vlastní broušení na díle č. 4 (viz obr. 21), tj. na rovném čepu o délce 211 mm. Lze uvést, že dle obdobných technologických návodek probíhalo také vlastní broušení chromové vrstvy dílů č. 1, č. 2 a č. 3 s nastavenými reznými podmínkami dle příslušných experimentů.



Obr. 19 Průběh měření Barkhausenova šumu na přístroji ROLLSCAN 350 unit STRESSTECH



Obr. 20 Kompletní pracoviště na měření Barkhausenova šumu

Experiment č. 1			
Zkušební vzorek	DÍL 1	ROVNÝ ČEP - 201 mm	
Stroj	bruska hrotová UB 32 / 1000 CNC		
Způsob broušení	na kulato		
Operace	broušení chromové vrstvy – dokončování na čisto		
Obvodová rychlost kotouče	v_s	25	m/s
Obvodová rychlost obrobku	v_w	20	m/min
Pracovní (radiální) záběr	a_e	0,003	mm
Rychlost posuvu v ose z: d = 56 f6 mm	v_{fa}	2070	mm/min
Brousicí kotouč	TN 422618 – Tyrolit	500x40x203	99BA 60J 9V3 C40
Procesní kapalina			
	název	HOCUT 795B	
	koncentrace	6 až 8	%
	PH kapaliny	7,2 až 7,6	
	Průtok kapaliny	36	l/m
	Přívod kapaliny	plastická naklápěcí tryska – 2x	
Orovnávač	diamantový orovnávač jednokamenný – DCT 1,75 ct MK1		

Tab. 1 Charakteristika experimentu č. 1

Experiment č. 2			
Zkušební vzorek	DÍL 1	ROVNÝ ČEP - 201 mm	
Stroj	bruska hrotová UB 32 / 1000 CNC		
Způsob broušení	na kulato		
Operace	broušení chromové vrstvy – dokončování na čisto		
Obvodová rychlost kotouče	v_s	33	m/s
Obvodová rychlost obrobku	v_w	30	m/min
Pracovní (radiální) záběr	a_e	0,003	mm
Rychlost posuvu v ose z: d = 56 f6 mm	v_{fa}	4850	mm/min
Brousicí kotouč	Swaty Comet	500x60x203	99BA 60J 9V3 C40
Procesní kapalina			
	název	HOCUT 795B	
	koncentrace	6 až 8	%
	PH kapaliny	7,2 až 7,6	
	Průtok kapaliny	36	l/m
	Přívod kapaliny	plastická naklápěcí tryska – 2x	
Orovnávač	diamantový orovnávač jednokamenný – DCT 1,75 ct MK1		

Tab. 2 Charakteristika experimentu č. 2

Experiment č. 3			
Zkušební vzorek	DÍL 2	KARDAN ČEP	
Stroj	bruska hrotová UB 32 / 1000 CNC		
Způsob broušení	na kulato		
Operace	broušení chromové vrstvy – dokončování na čisto		
Obvodová rychlost kotouče	v_s	25	m/s
Obvodová rychlost obrobku	v_w	30	m/min
Pracovní (radiální) záběr	a_e	0,003	mm
Rychlost posuvu v ose z: $d_1 = 75 \text{ f7 mm}$	v_{fa}	3050	mm/min
Rychlost posuvu v ose z: $d_2 = 95 \text{ f7 mm}$	v_{fa}	2400	mm/min
Brousicí kotouč	Swaty Comet	500x60x203	99BA 60J 9V3 C40
Procesní kapalina			
	název	HOCUT 795B	
	koncentrace	6 až 8	%
	PH kapaliny	7,2 až 7,6	
	Průtok kapaliny	36	l/m
	Přívod kapaliny	plastická naklápěcí tryska – 2x	
Orovnávač	diamantový orovnávač jednokamenný – DCT 1,75 ct MK1		

Tab. 3 Charakteristika experimentu č. 3

Experiment č. 4			
Zkušební vzorek	DÍL 3	ROVNÝ ČEP - 128 mm	
Stroj	bruska hrotová UB 32 / 1000 CNC		
Způsob broušení	na kulato		
Operace	broušení chromové vrstvy – dokončování na čisto		
Obvodová rychlost kotouče	v_s	33	m/s
Obvodová rychlost obrobku	v_w	30	m/min
Pracovní (radiální) záběr	a_e	0,003	mm
Rychlost posuvu v ose z: d = 56 f6 mm	v_{fa}	5120	mm/min
Brousící kotouč	Best Business	500x63x203	99BA 60J 9V3 C40
Procesní kapalina			
	název	HOCUT 795B	
	koncentrace	6 až 8	%
	PH kapaliny	7,2 až 7,6	
	Průtok kapaliny	36	l/m
	Přívod kapaliny	plastická naklápěcí tryska – 2x	
Orovnávač	diamantový orovnávač vícezrný s držákem roletky typu 177 5,00 ct a s kuželem MK1		

Tab. 4 Charakteristika experimentu č. 4

Experiment č. 5			
Zkušební vzorek	DÍL 4	ROVNÝ ČEP - 211 mm	
Stroj	bruska hrotová UB 32 / 1000 CNC		
Způsob broušení	na kulato		
Operace	broušení chromové vrstvy – dokončování na čisto		
Obvodová rychlost kotouče	v_s	33	m/s
Obvodová rychlost obrobku	v_w	30	m/min
Pracovní (radiální) záběr	a_e	0,003	mm
Rychlost posuvu v ose z: d = 56 f6 mm	v_{fa}	5120	mm/min
Brousící kotouč	Best Business	500x63x203	99BA 60J 9V3 C40
Procesní kapalina			
	název	HOCUT 795B	
	koncentrace	6 až 8	%
	PH kapaliny	7,2 až 7,6	
	Průtok kapaliny	36	l/m
	Přívod kapaliny	plastická naklápěcí tryska – 2x	
Orovnávač	diamantový orovnávač jednokamenný – DCT 1,75 ct MK1		

Tab. 5 Charakteristika experimentu č. 5

Experiment č. 6			
Zkušební vzorek	DÍL 4	ROVNÝ ČEP - 211 mm	
Stroj	bruska hrotová UB 32 / 1000 CNC		
Způsob broušení	na kulato		
Operace	broušení chromové vrstvy – dokončování na čisto		
Obvodová rychlost kotouče	v_s	33	m/s
Obvodová rychlost obrobku	v_w	30	m/min
Pracovní (radiální) záběr	a_e	0,003	mm
Rychlost posuvu v ose z: d = 56 f6 mm	v_{fa}	5120	mm/min
Brousicí kotouč	Best Business	500x63x203	99BA 60J 9V3 C40
Procesní kapalina			
	název	HOCUT 795B	
	koncentrace	6 až 8	%
	PH kapaliny	7,2 až 7,6	
	Průtok kapaliny	36	l/m
	Přívod kapaliny	plastická naklápěcí tryska – 2x	
Orovnávač	diamantový orovnávač vícezrný s držákem roletky typu 177 5,00 ct a s kuželem MK1		

Tab. 6 Charakteristika experimentu č. 6

TECHNOLOGICKÁ NÁVODKA NA BROUŠENÍ CHROMOVÉ VRSTVY									
Projekt TEST - broušení chromové vrstvy	Číslo dílu DÍL 4 - 211mm	Verze 1	Název Pin	List 1	Listů 1	Operace 320			
Název operace		Norma			Materiál				
Broušení chromové vrstvy		AVA TPV-T-1			Ocel 300M				
<p>1) Změňte excentricitu chomu</p>	<p>2) Před započítím broušení, naměřit nejvyšší bod chromové vrstvy na dílech z dávky a vlastní cyklus broušení začít minimálně 0,03mm od tohoto bodu.</p>	<p>3) Rychloposuvem najet maximálně do vzdálenosti 0,4 mm.</p>	<p>4) Brousit dle NC programu</p>						
Brousící kotouč	Rozměr 500x63x203	Výrobce a označení Best Business 99BA 60 I 90V	Min. použitelný průměr kotouče 380 mm						
Řezné podmínky	Rychlost kotouče - v, 33 m/s	Otáčky obrobku / 171 ot/min	Nastavený přísun do osy x - a _e		Rychlost posuvu v ose z - v _{fz}				
			Nahrubo	0,003 mm/cyklus		5120 mm/min			
			Načisto	0,002 mm/cyklus					
Náčrtek cyklu broušení			Procesní kapalina	HOCUT 795B; Ph =7,2 -7,6	Koncentrace 6 - 8 %				
Orovnávač	Vícezrný diamantový s držákem roletky typu 177 5,00CT a s kuželem MK1		Rychlost posuvu pro orovnění		500 mm / min				
	Před začátkem broušení každého dílu orovnat kotouč								
Třída dílu 1 - AFA	Vyhotovil KARNOLT	Hrotová bruska UB32/1000 CNC		Změny	Číslo změny	Index	Počet změn	Datum	Podpis
	Schválil	dne	Vytříděno						
TEST			11.6.2015		a)				
				b)					
				c)					

Obr. 21 Technologická návodka na broušení chromové vrstvy pro díl č. 4

4.3 Stroj pro experimenty

Pro experimenty broušení byl zvolen nově nakoupený stroj ve firmě AERO Vodochody AEROSPACE a.s. hrotová bruska UB32/1000 CNC (viz obrázky 22 a 23). Stroj je vybaven řídicím systémem Siemens Sinumerik 840D , dálkovým ovládáním s elektrickým ručním kolečkem s přepínáním os X a Z sloužící pro ruční posuv v těchto osách při nastavování výchozích bodů broušení, pracovním vřetením s plynulou regulací otáček pomocí frekvenčního měniče a v neposlední řadě dotykovou sondou Marposs na sklopném rameni, pro axiální ustavení broušeného kusu [7]. Základní technická data tohoto stroje jsou uvedena níže v tabulce č. 7.



Obr. 22 Hrotová bruska UB32/1000 CNC



Obr. 23 Pracovní prostor v hrotové brusce UB32/1000 CNC

Základní technická data stroje UB32/1000 CNC		
Oběžný průměr	320	mm
Vzdálenost mezi hroty	1000	mm
Brousicí kotouč (max. rozměr)	500/380 x 80 x 203	mm
Obvodová rychlost brousícího kotouče	25 – 45	m/s
Největší šířka kotouče	80	mm
Minimální přísuv brousícího kotouče	0,001	mm
Minimální posuv stolu	0,005	mm
Natočení brousícího vřeteníku	+/- 45	°
Natočení pracovního vřeteníku	90°	°
Natočení stolu	-5/+7	°
Max. hmotnost broušeného kusu	500 kg	kg
Max. hmotnost broušeného kusu letmo, včetně upínače	100 kg	kg
Kužel v pracovním vřeteníku	Morse	5
Kužel v koníku	Morse	5
Otáčky pracovního vřeteníku	18 – 560	1/min
Rychlost posuvu stolu	0,05 – 4	m/s
Výkon elektromotoru pracovního vřeteníku	2,2	kW
Výkon elektromotoru brousícího vřeteníku	11	kW
Celkový jmenovitý příkon	25	kVA
Množství procesní kapaliny	700	l
Hmotnost stroje	5500	kg
Délka	4610	mm
Šířka	2200	mm
Výška	2000	mm

Tab. 7 Základní technická data stroje UB32/1000 CNC [7]

5 EXPERIMENTY BROUŠENÍ CHROMOVÉ VRSTVY

Pro realizaci experimentů byly připraveny vysoko-pevnostní ocelové díly, již zakalené na požadovanou pevnost v tahu $R_m = 1950$ až 2100MPa , soustružené s technologickým rozměrem pod broušení s nanesenou chromovou vrstvou a kompletně zkontrolované, jak rozměrově po obrábění tak po nanesení chromové vrstvy. Následně byly díly pečlivě ustaveny v hrotové brusce UB32/1000CNC a poté následovalo přeměření nejvyššího bodu chromové vrstvy, tak jak je uvedeno v technologické návodce na broušení chromové vrstvy (viz obrázek 20). Poté následovalo nastavení rezných podmínek dle patřičných tabulek experimentů a tyto podmínky byly kontrolovány na řídicím panelu stroje. Hodnota času potřebného pro broušení byla také sledována na řídicím panelu stroje. Hodnoty střední aritmetické úchyly profilu R_a a nosného podílu profilu t_p byly následně odečteny při měření na dříve zmíněném přístroji Hommel tester LV 15 T1000-E. Vlastní proces broušení dílu č. 4 (analogicky díl č. 1) je zobrazen na obrázku č. 24. Proces broušení na díle č. 2 je zobrazen na obrázku č. 25.

Jako první z experimentů bude prezentován experiment č. 6 a to z důvodu nejvyššího počtu použitých dílů č. 4 pro tento experiment. Pro tento experiment bylo k dispozici celkem pět kusů dílů č. 4, a tudíž mohly být následně výsledky experimentu R_a , t_p a času t zpracovány s větší přesností statistických výpočtů. Dalším uvedeným experimentem bude experiment č. 5 a to z důvodu provádění experimentu na 2 kusech totožného dílu č. 4, u kterého byl použit nástroj orovnávaný jiným orovnávačem. Po těchto dvou experimentech jsou následně vybrané experimenty prezentovány vzestupně, tak jak byly prováděny během kompletního experimentu broušení chromové vrstvy.

Měření hodnot R_a a t_p proběhla při všech experimentech na každém kuse celkem 5 krát. Naměřené hodnoty R_a a t_p byly následně ve všech případech zpracovány pomocí statistického výpočtu, čas t byl odečítán ke každému kusu zvlášť, výjimkou byl pouze experiment č. 6, kde jak již bylo zmíněno, byl i čas t zpracován pomocí statistického výpočtu.

5.1 Broušení chromové vrstvy na díle č. 4 dle experimentu č. 6

Nastavení rezných podmínek na hrotové brusce je uvedeno v tabulce č. 6. Měření hodnot R_a , t_p a času t proběhla na dříve zmíněných 5 zkušebních kusech. Kompletní tabulka hodnot je zpracována v příloze č. 2. Výsledky naměřených hodnot R_a , t_p a času t jsou zobrazeny v tabulce č. 8. Protokol z měření Barkhausenovým šumem je uveden v tabulce č. 14.

Naměřené hodnoty Ra, t _p a t		
Ra	μm	0,16 ± 0,01
t _p	50%	0,67 ± 0,04
t	min	40,16 ± 0,37

Tab. 8 Naměřené hodnoty během experimentu č. 6

5.2 Broušení chromové vrstvy na díle č. 4 dle experimentu č. 5

Nastavení rezných podmínek na hrotové brusce je uvedeno v tabulce č. 5. Měření hodnot Ra, t_p a času t proběhla na dvou zkušebních kusech. Kompletní tabulka hodnot je zpracována v příloze č. 1. Výsledky naměřených hodnot Ra, t_p a času t jsou zobrazeny v tabulce č. 9. Protokol z měření Barkhausenovým šumem je uveden v tabulce č. 15.

Naměřené hodnoty Ra, t _p a t			
Ra	μm	0,39 ± 0,04	
t _p	50%	1,26 ± 0,06	
t	min	díl 4a	40,55
		díl 4b	40,25

Tab. 9 Naměřené hodnoty během experimentu č. 5

5.3 Broušení chromové vrstvy na díle č. 1 dle experimentu č. 1

Nastavení rezných podmínek na hrotové brusce je uvedeno v tabulce č. 1. Měření hodnot Ra, t_p a času t proběhla na dvou zkušebních kusech. Kompletní tabulka hodnot je zpracována v příloze č. 1. Výsledky naměřených hodnot Ra, t_p a času t jsou zobrazeny v tabulce č. 10. Protokol z měření Barkhausenovým šumem je uveden v tabulce č. 16.

Naměřené hodnoty Ra, t _p a t			
Ra	μm	0,09 ± 0,01	
t _p	50%	0,37 ± 0,04	
t	min	díl 1a	67,25
		díl 1b	66,83

Tab. 10 Naměřené hodnoty během experimentu č. 1

5.4 Broušení chromové vrstvy na díle č. 1 dle experimentu č. 2

Nastavení rezných podmínek na hrotové brusce je uvedeno v tabulce č. 2. Měření hodnot R_a , t_p a času t proběhla na dvou zkušebních kusech. Kompletní tabulka hodnot je zpracována v příloze č. 1. Výsledky naměřených hodnot R_a , t_p a času t jsou zobrazeny v tabulce č. 11. Protokol z měření Barkhausenovým šumem je uveden v tabulce č. 17.

Naměřené hodnoty R_a , t_p a t			
R_a	μm	0,18 \pm 0,03	
t_p	50%	0,75 \pm 0,11	
t	min	díl 1c	39,95
		díl 1d	40,20

Tab. 11 Naměřené hodnoty během experimentu č. 2

5.5 Broušení chromové vrstvy na díle č. 2 dle experimentu č. 3

Nastavení rezných podmínek na hrotové brusce je uvedeno v tabulce č. 3. Měření hodnot R_a , t_p a času t proběhla na dvou zkušebních kusech. Kompletní tabulka hodnot je zpracována v příloze č. 1. Výsledky naměřených hodnot R_a , t_p a času t jsou zobrazeny v tabulce č. 12. Protokol z měření Barkhausenovým šumem je uveden v tabulce č. 18.

Naměřené hodnoty R_a , t_p a t							
Průměr d_1		mm	75 f7	Průměr d_2		mm	95 f7
R_a	μm	0,1 \pm 0,01		R_a	μm	0,15 \pm 0,01	
t_p	50%	0,37 \pm 0,04		t_p	50%	0,58 \pm 0,06	
t	min	díl 2d	19,50	t	min	díl 2d	24,25
		díl 2e	20,15			díl 2e	23,75

Tab. 12 Naměřené hodnoty během experimentu č. 6

5.6 Broušení chromové vrstvy na díle č. 3 dle experimentu č. 4

Nastavení rezných podmínek na hrotové brusce je uvedeno v tabulce č. 4. Měření hodnot R_a , t_p a času t proběhla na dvou zkušebních kusech. Kompletní tabulka hodnot je zpracována v příloze č. 1. Výsledky naměřených hodnot R_a , t_p a času t jsou zobrazeny v tabulce č. 13. Protokol z měření Barkhausenovým šumem je uveden v tabulce č. 19.

Naměřené hodnoty Ra, t _p a t			
Ra	μm	0,16 ± 0,02	
t _p	50%	0,64 ± 0,08	
t	min	díl 1c	25,70
		díl 1d	25,55

Tab. 13 Naměřené hodnoty během experimentu č. 4

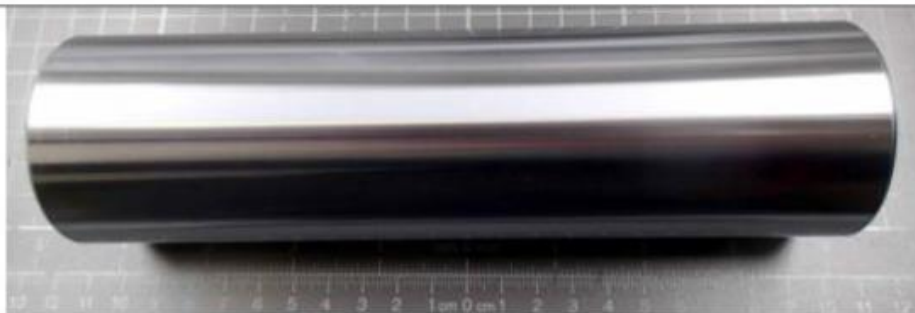


Obr. 24 Broušení dílu č. 4 (analogicky díl č. 1)



Obr. 25 Broušení dílu č. 2

Naměřené hodnoty magnetoelastického parametru - experiment č. 6



Díl č. 4

Podmínky experimentu:

Díl č. 4	Rovný čep	Délka	L=211 mm	Materiál:	300M
Stav:	Díl s nanesenou chromovou vrstvou na vnějším průměru o tloušťce 100 μ m .			Poznámky k měření:	
Měřicí zařízení:	Rollscan 350	Sériové číslo.:	123843	Frekvence (Hz):	125
				Napětí (V):	11,5
Měřicí sonda:	S1-18-12-01	Sériové číslo:	S6764N	Hodnota na prázdko: (MP)	4,9
Kalibrační vzorek:	Kalibrační vzorek 100 μ m Cr	Označení:	BN 001 L/H	Materiál:	300M

Výsledky měření experimentu:

Číslo měření:	Díl č. :	Měřený průměr:	Minimální naměřená hodnota Barkhausenova šumu: (MP)	Maximální naměřená hodnota Barkhausenova šumu: (MP)	Max. dovolená hodnota Barkhausenova šumu (MP)	Vyhodnocení:
1	4c	Ø56 f6 mm	10,2	17,8	30,6	VYHOVUJE
2	4d	Ø56 f6 mm	9,4	16,5	28,2	VYHOVUJE
3	4e	Ø56 f6 mm	8,9	18,2	26,7	VYHOVUJE
4	4f	Ø56 f6 mm	9,5	15,7	28,5	VYHOVUJE
5	4g	Ø56 f6 mm	9,9	14,9	29,7	VYHOVUJE

Datum měření: 19/6/2015

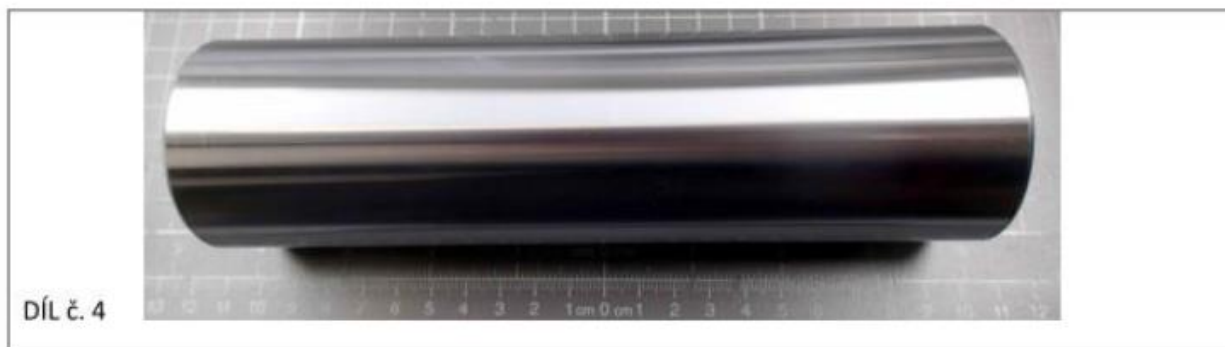
Kontroloval: Vladimír Odstrčil

Podpis :(na originále)

Razítko:(na originále)

Tab. 14 Protokol z měření Barkhausenova šumu pro experiment č. 6

Naměřené hodnoty magnetoelastického parametru - experiment č. 5



Podmínky experimentu:

Díl č. 4	Rovný čep	Délka	L=211 mm	Materiál:	300M
Stav:	Díl s nanosenou chromovou vrstvou na vnějším průměru o tloušťce 100 μ m .			Poznámky k měření:	
Měřicí zařízení:	Rollscan 350	Sériové číslo.:	123843	Frekvence (Hz):	125
				Napětí (V):	11,5
Měřicí sonda:	S1-18-12-01	Sériové číslo:	S6764N	Hodnota na prázdko: (MP)	4,9
Kalibrační vzorek:	Kalibrační vzorek 100 μ m Cr	Označení:	BN 001 L/H	Materiál:	300M

Výsledky měření experimentu:

Číslo měření:	Díl č. :	Měřený průměr:	Minimální naměřená hodnota Barkhausenova šumu: (MP)	Maximální naměřená hodnota Barkhausenova šumu: (MP)	Max. dovolená hodnota Barkhausenova šumu (MP)	Vyhodnocení:
1	4a	Ø56 f6 mm	14,7	21,1	44,1	VYHOVUJE
2	4b	Ø56 f6 mm	14,1	20,8	42,3	VYHOVUJE

Datum měření: 10/6/2015

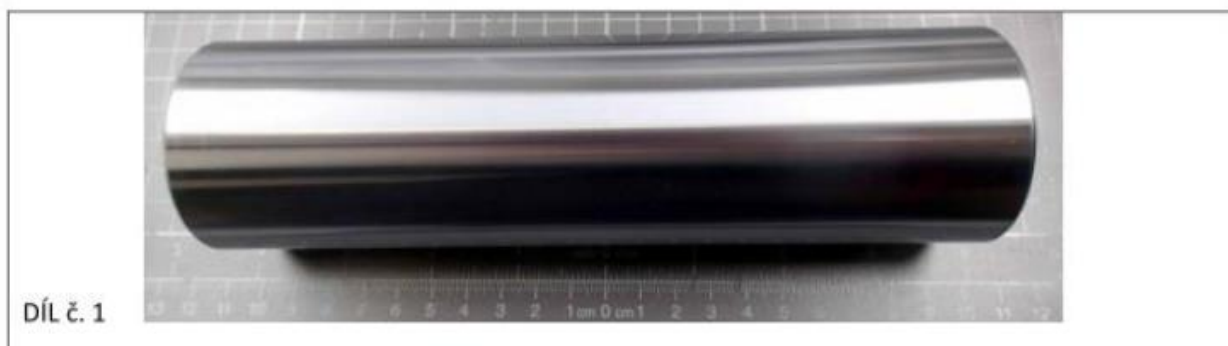
Kontroloval: Vladimír Odstrčil

Podpis :(na originále)

Razítko:(na originále)

Tab. 15 Protokol z měření Barkhausenova šumu pro experiment č. 5

Naměřené hodnoty magnetoelastického parametru - experiment č. 1



Podmínky experimentu:

Díl č. 1	Rovný čep	Délka	L=201 mm	Materiál:	300M
Stav:	Díl s nanosenou chromovou vrstvou na vnějším průměru o tloušťce 100 μ m .			Poznámky k měření:	
Měřicí zařízení:	Rollscan 350	Sériové číslo.:	123843	Frekvence (Hz):	125
				Napětí (V):	11,5
Měřicí sonda:	S1-18-12-01	Sériové číslo:	S6764N	Hodnota na prázdko: (MP)	4,9
Kalibrační vzorek:	Kalibrační vzorek 100 μ m Cr	Označení:	BN 001 L/H	Materiál:	300M

Výsledky měření experimentu:

Číslo měření:	Díl č. :	Měřený průměr:	Minimální naměřená hodnota Barkhausenova šumu: (MP)	Maximální naměřená hodnota Barkhausenova šumu: (MP)	Max. dovolená hodnota Barkhausenova šumu (MP)	Vyhodnocení:
1	1a	Ø56 f6 mm	8,1	14,8	24,3	VYHOVUJE
2	1b	Ø56 f6 mm	8,7	15,5	25,1	VYHOVUJE

Datum měření: 28/5/2015

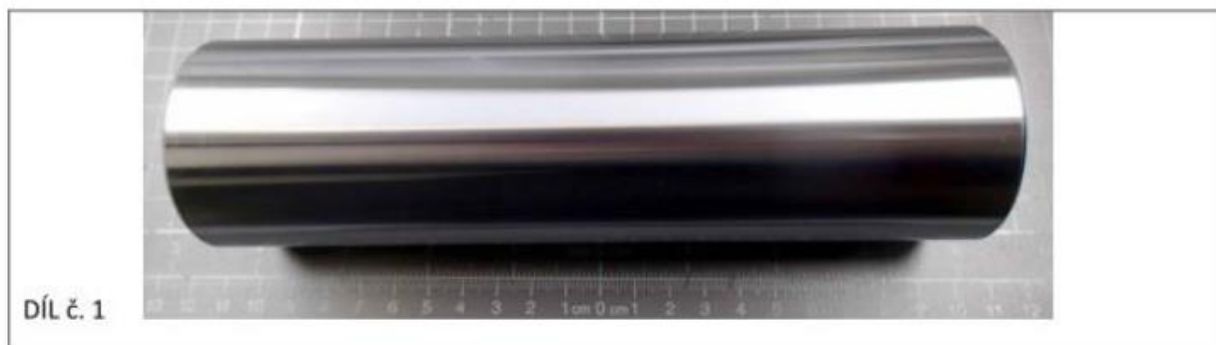
Kontroloval: Vladimír Odstrčil

Podpis :(na originále)

Razítko:(na originále)

Tab. 16 Protokol z měření Barkhausenova šumu pro experiment č. 1

Naměřené hodnoty magnetoelastického parametru - experiment č. 2



Podmínky experimentu:

Díl č. 1	Rovný čep	Délka	L=201 mm	Materiál:	300M
Stav:	Díl s nanosenou chromovou vrstvou na vnějším průměru o tloušťce 100 μ m .			Poznámky k měření:	
Měřicí zařízení:	Rollscan 350	Sériové číslo.:	123843	Frekvence (Hz):	125
				Napětí (V):	11,5
Měřicí sonda:	S1-18-12-01	Sériové číslo:	S6764N	Hodnota na prázdko: (MP)	4,9
Kalibrační vzorek:	Kalibrační vzorek 100 μ m Cr	Označení:	BN 001 L/H	Materiál:	300M

Výsledky měření experimentu:

Číslo měření:	Díl č. :	Měřený průměr:	Minimální naměřená hodnota Barkhausenova šumu: (MP)	Maximální naměřená hodnota Barkhausenova šumu: (MP)	Max. dovolená hodnota Barkhausenova šumu (MP)	Vyhodnocení:
1	1c	Ø56 f6 mm	10,2	16,4	30,6	VYHOVUJE
2	1d	Ø56 f6 mm	9,6	15,9	28,8	VYHOVUJE

Datum měření: 2/6/2015

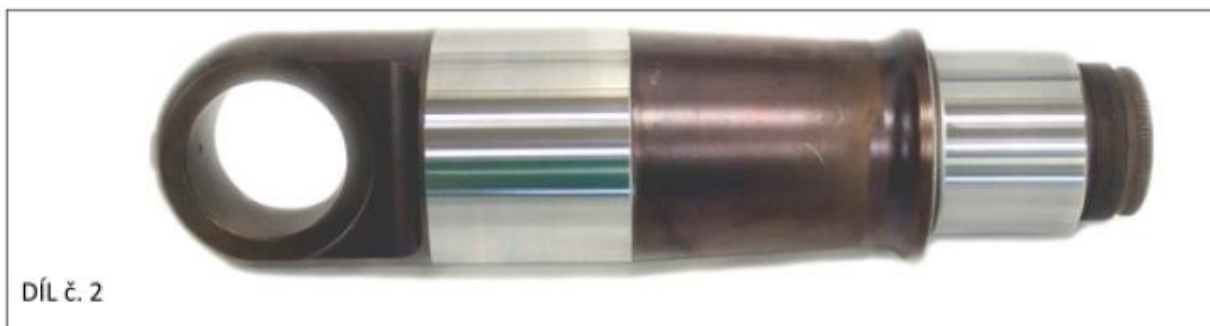
Kontroloval: Vladimír Odstrčil

Podpis :(na originále)

Razítko:(na originále)

Tab. 17 Protokol z měření Barkhausenova šumu pro experiment č. 2

Naměřené hodnoty magnetoelastického parametru - experiment č. 3



Díl č. 2

Podmínky experimentu:

Díl č. 2	Kardan čep	Délky broušených průměrů d_1 a d_2	$L_1=51$ mm $L_2=65$ mm	Materiál:	300M
Stav:	Díl s nanesenou chromovou vrstvou na vnějším průměru o tloušťce $100\mu\text{m}$.			Poznámky k měření:	
Měřicí zařízení:	Rollscan 350	Sériové číslo.:	123843	Frekvence (Hz):	125
				Napětí (V):	11,5
Měřicí sonda:	S1-18-12-01	Sériové číslo:	S6764N	Hodnota na prázdko: (MP)	4,9
Kalibrační vzorek:	Kalibrační vzorek $100\mu\text{m}$ Cr	Označení:	BN 001 L/H	Materiál:	300M

Výsledky měření experimentu:

Číslo měření:	Díl č. :	Měřený průměr:	Minimální naměřená hodnota Barkhausenova šumu: (MP)	Maximální naměřená hodnota Barkhausenova šumu: (MP)	Max. dovolená hodnota Barkhausenova šumu (MP)	Vyhodnocení:
1	2a	$\varnothing 75$ f7 mm	6,7	9,4	19,1	VYHOVUJE
		$\varnothing 95$ f7 mm	6,1	8,7	18,3	VYHOVUJE
2	2b	$\varnothing 75$ f7 mm	6,4	9,0	19,2	VYHOVUJE
		$\varnothing 95$ f7 mm	6,6	9,2	18,8	VYHOVUJE

Datum měření: 4/6/2015

Kontroloval: Vladimír Odstrčil

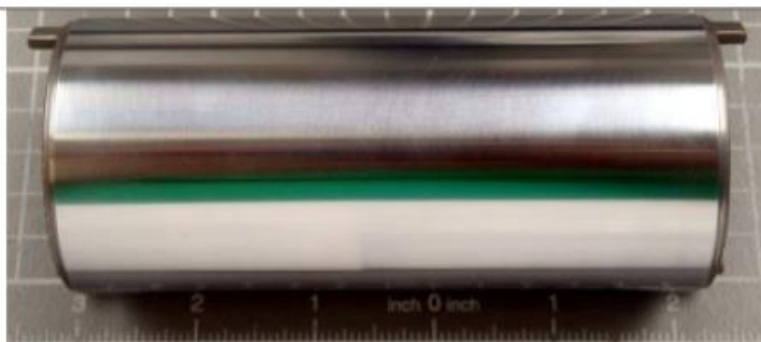
Podpis :(na originále)

Razítko:(na originále)

Tab. 18 Protokol z měření Barkhausenova šumu pro experiment č. 3

Naměřené hodnoty magnetoelastického parametru - experiment č. 4

Díl č. 3



Podmínky experimentu:

Díl č. 1	Rovný čep	Délka	L=128 mm	Materiál:	300M
Stav:	Díl s nanesenou chromovou vrstvou na vnějším průměru o tloušťce 100 μ m .			Poznámky k měření:	
Měřicí zařízení:	Rollscan 350	Sériové číslo.:	123843	Frekvence (Hz):	125
				Napětí (V):	11,5
Měřicí sonda:	S1-18-12-01	Sériové číslo:	S6764N	Hodnota na prázdko: (MP)	4,9
Kalibrační vzorek:	Kalibrační vzorek 100 μ m Cr	Označení:	BN 001 L/H	Materiál:	300M

Výsledky měření experimentu:

Číslo měření:	Díl č. :	Měřený průměr:	Minimální naměřená hodnota Barkhausenova šumu: (MP)	Maximální naměřená hodnota Barkhausenova šumu: (MP)	Max. dovolená hodnota Barkhausenova šumu (MP)	Vyhodnocení:
1	3a	Ø56 g6 mm	10,9	18,6	32,7	VYHOVUJE
2	3b	Ø56 g6 mm	10,3	17,4	30,9	VYHOVUJE

Datum měření: 8/6/2015

Kontroloval: Vladimír Odstrčil

Podpis :(na originále)

Razítko:(na originále)

Tab. 19 Protokol z měření Barkhausenova šumu pro experiment č. 4

6 NÁVRH OPTIMÁLNÍ VARIANTY BROUŠENÍ

V této kapitole budou následně porovnány a vyhodnoceny veškeré dříve uvedené experimenty, tj. budou porovnány a vyhodnoceny jejich měřené hodnoty parametrů R_a , t_p , MP a v neposlední řadě bude vyhodnocena časová a ekonomická náročnost dané výroby. Pro parametry R_a a t_p bude porovnávána jak jejich střední hodnota, tak budou procentuálně porovnány jejich intervaly spolehlivosti.

Pro lepší možnost porovnání níže hodnocených experimentů bylo u experimentu č. 6 použito více dílů než u zbylých experimentů, tj. u experimentu č. 6 bylo použito pět dílů a u zbývajících experimentů bylo vždy použito po dvou dílech.

Je nutné uvést, že z důvodu broušení dvou rozdílných průměrů během experimentu č. 3, je tento experiment rozdělen, jak na obrázcích č. 26 a č. 27 tak v tabulkách č. 20 a č. 21, na dva experimenty pod označením 3a (broušený průměr $d_1 = 75 \text{ f7 mm}$) a 3b (broušený průměr $d_2 = 95 \text{ f7 mm}$).

Dále je nutné uvést, že níže uvedené náklady na pracovní sílu (dále jen NPS), režijní hodinová sazba stroje (dále jen RHS) a celková roční produkce (dále jen CRP) jsou z důvodu vnitřních bezpečnostních, v tomto případě i ekonomických, záležitostí a ochrany vnitřních dat v AVA smyšlené a hodnoty neodpovídají skutečným hodnotám v AVA. Hodnoty byly z důvodu usnadnění výpočtu zvoleny ve výši $RHS = 500 \text{ Kč/hod}$, $NPS = 300 \text{ Kč/hod}$ a $CRP = 500 \text{ ks/rok}$.

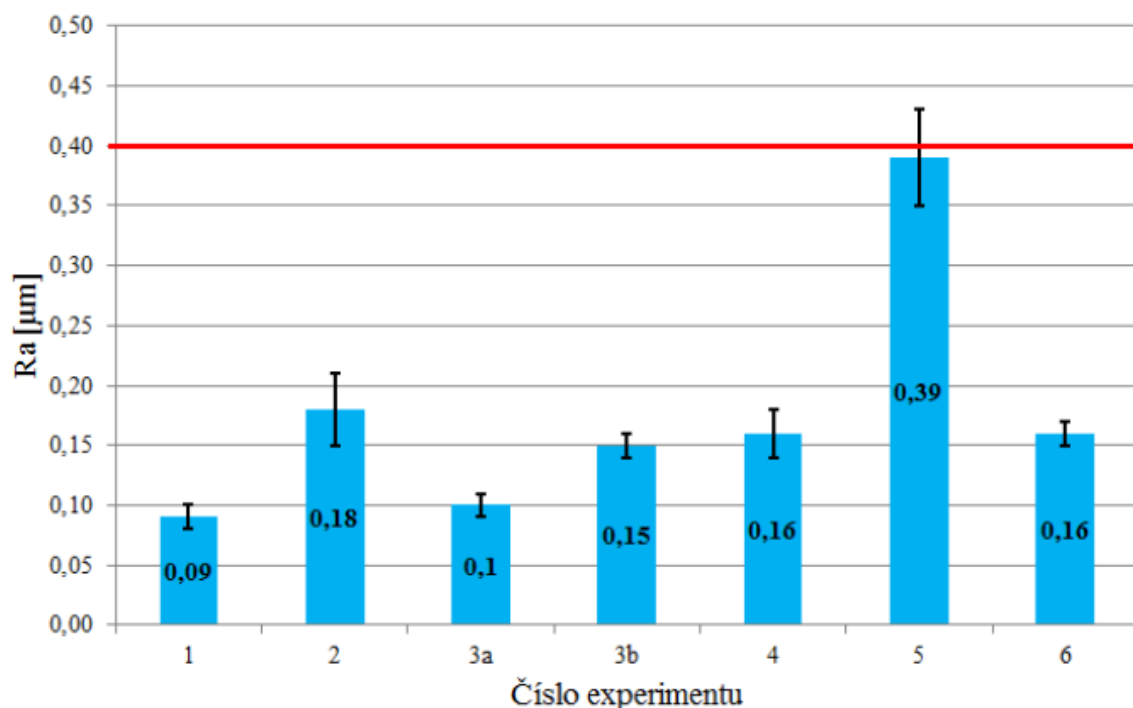
6.1 Vyhodnocení broušeného povrchu dle parametrů R_a a t_p

V této podkapitole jsou graficky znázorněny naměřené hodnoty R_a a t_p všech provedených experimentů. Pro vyhodnocení byly použity střední hodnoty R_a a t_p po statistickém výpočtu patřičných experimentů. Grafické znázornění výsledků R_a a t_p viz obrázky č. 26 a č. 27.

Z obrázku č. 26 vyplývá, že nejlepší řezné podmínky co se týče hodnocení broušeného povrchu dle střední hodnoty parametru R_a , byly zvoleny u experimentu č. 1. Naopak z hodnocení experimentu č. 5 jednoznačně vyplývá, že střední hodnota parametru R_a je již na hranici samotné výkresově dovolené, na obrázku č. 26 červeně zvýrazněné, hodnoty $R_a = 0,4 \text{ } \mu\text{m}$ (jak bylo zmíněno v kapitole 4.1).

Dále je nutné vzít také v úvahu statistické intervaly spolehlivosti a jejich procentuální poměr oproti střední hodnotě parametru R_a u všech provedených experimentů. V tomto případě platí, že čím menší je hodnota výše zmíněného procentuálního poměru, tím stabilnější je proces broušení s využitím řezných podmínek příslušného experimentu. Při porovnání procentuálních hodnot poměrů intervalů spolehlivosti se střední hodnotou parametru R_a je patrné, že dle tohoto parametru vychází nejlépe řezné podmínky použité v experimentu č. 3b a č. 6. Statistický interval v tomto

případě tvoří 13% střední hodnoty naměřeného parametru Ra. Lze tedy uvést, že s využitím řezných podmínek dle experimentů č. 3b a č. 6, je proces broušení dle hodnocení parametru Ra nejstabilnější. Naopak nejhůře vychází řezné podmínky dle experimentu č. 2. V tomto případě statistický interval tvoří 33% střední hodnoty naměřeného parametru Ra. Kompletní výsledky tohoto porovnání jsou uvedeny v tabulce č. 20.

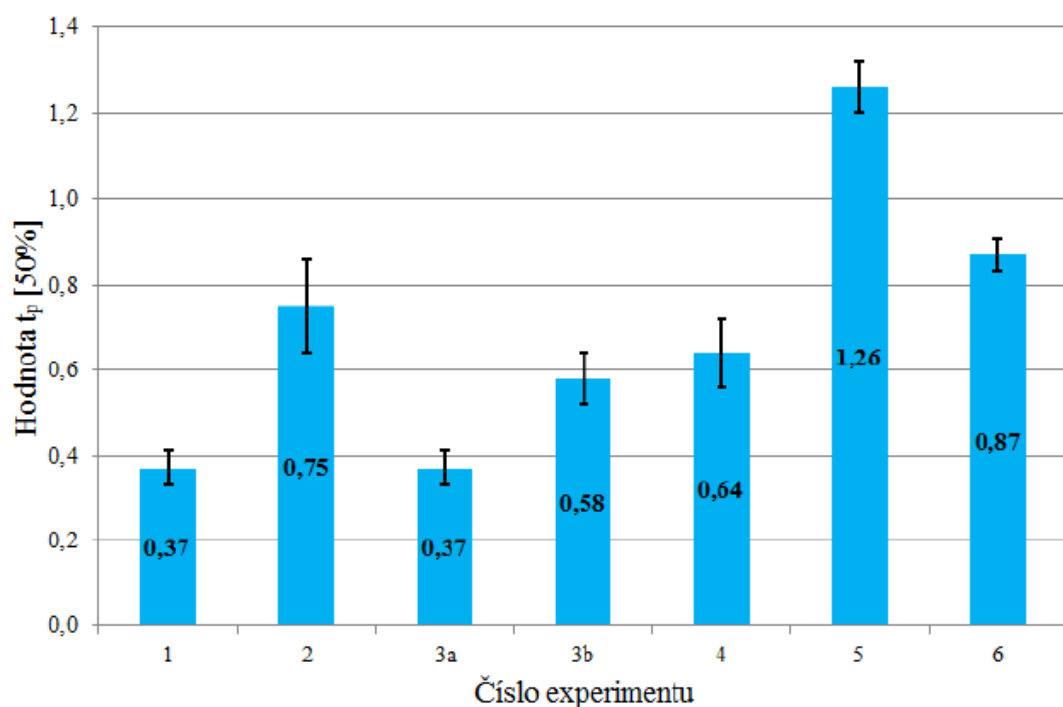


Obr. 26 Výsledné hodnoty Ra pro provedené experimenty č.1 až č. 6

Z obrázku č. 26 a z tabulky č. 20 je dále patrné, že střední hodnota parametru Ra s připočteným statistickým intervalem u experimentu č. 5 (respektive s připočtenou kladnou částí tohoto intervalu) překračuje výkresově dovolenou hodnotu tohoto parametru, tj. hodnotu $Ra = 0,4 \mu\text{m}$. Z tohoto vyplývá, že řezné podmínky použité pro experiment č. 5 nelze použít do sériové výroby v AVA.

Číslo experimentu	1	2	3a	3b	4	5	6
Střední hodnota pro naměřené Ra	0,09	0,18	0,1	0,15	0,16	0,39	0,16
Statistický interval spolehlivosti pro Ra	± 0,01	± 0,03	± 0,01	± 0,01	± 0,02	± 0,04	± 0,01
Celková hodnota statistického intervalu oproti střední hodnotě [%]	22	33	20	13	25	21	13

Tab. 20 Procentuální poměr střední hodnoty a statistickému intervalu pro parametr Ra



Obr. 27 Výsledné hodnoty t_p pro provedené experimenty č. 1 až č. 6

Jak již bylo zmíněno v kapitole č. 4.1 u parametru t_p platí, že čím menší hodnota nosného podílu profilu t_p v oblasti $t_p = 50\%$ (viz obrázek č. 17) je naměřena, tím lepší řezné podmínky jsou v příslušném experimentu použity. Z obrázku č. 27 tedy vyplývá, že nejlepší řezné podmínky co se týče hodnocení broušeného povrchu dle střední hodnoty parametru t_p , byly zvoleny u experimentu č. 1 a u experimentu č. 3a. Dle tohoto parametru, naopak nejhůře vychází řezné podmínky použité v experimentu č. 5. Vysoké střední hodnoty t_p byly také naměřeny u experimentů č. 6 a č. 2.

Dále je opět nutné vzít v úvahu statistické intervaly spolehlivosti a jejich procentuální poměr oproti střední hodnotě parametru t_p u všech provedených experimentů. Jak již bylo zmíněno během hodnocení parametru R_a , v tomto případě platí, že čím menší je hodnota procentuálního poměru, tím stabilnější je proces broušení s využitím řezných podmínek příslušného experimentu. Při porovnání procentuálních hodnot poměrů intervalů spolehlivosti se střední hodnotou parametru t_p je patrné, že dle tohoto parametru vychází nejlépe řezné podmínky použité v experimentu č. 6. Statistický interval v tomto případě tvoří 9% střední hodnoty naměřeného parametru t_p . Je nutné uvést, že u tohoto intervalu bylo použito celkem 5 dílů (měření parametru t_p provedeno celkem 25 x krát) oproti dvěma dílům u zbývajících experimentů. Z tohoto vyplývá, že s využitím řezných podmínek dle experimentu č. 6 je proces broušení nejstabilnější. Dle tohoto hodnocení parametru t_p naopak nejhůře vychází řezné podmínky dle experimentu č. 2, tj. stejně jako v případě hodnocení dle parametru R_a . V tomto případě statistický interval tvoří 29% střední hodnoty naměřeného parametru t_p . Kompletní výsledky porovnání procentuálního poměru statistických intervalů spolehlivosti oproti střední hodnotě parametru t_p jsou uvedeny v tabulce č. 21.

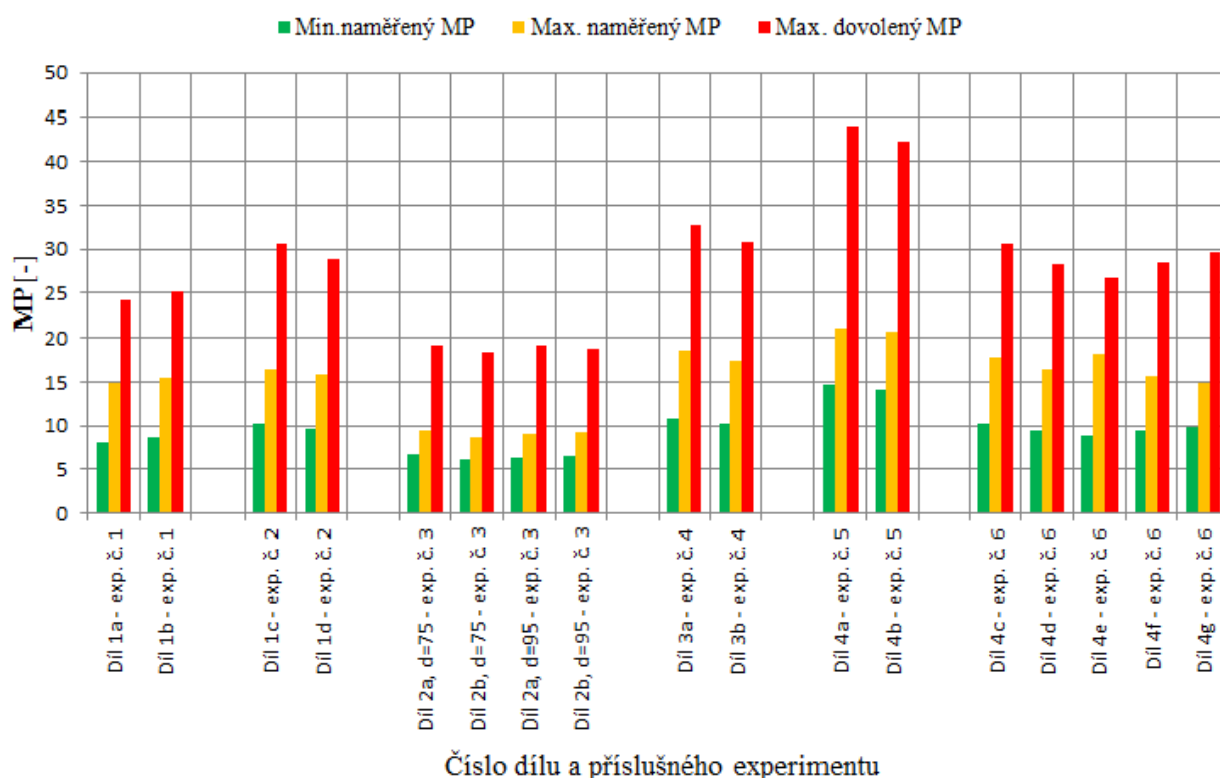
Číslo experimentu	1	2	3a	3b	4	5	6
Střední hodnota pro naměřené $t_p = 50\%$	0,37	0,75	0,37	0,58	0,64	1,26	0,87
Statistický interval spolehlivosti pro $t_p = 50\%$	$\pm 0,04$	$\pm 0,11$	$\pm 0,04$	$\pm 0,06$	$\pm 0,08$	$\pm 0,06$	$\pm 0,04$
Celková hodnota statistického intervalu oproti střední hodnotě [%]	22	29	22	21	25	10	9

Tab. 21 Procentuální poměr střední hodnoty a statistického intervalu pro parametr t_p

Na rozdíl od hodnocení parametru R_a není pro parametr t_p výkresově předepsána žádná dovolená hodnota, tj. lze uvést, že dle parametru t_p jsou u všech experimentů řezné podmínky vyhovující a pouze je možné provést porovnání naměřených hodnot t_p , tak jak bylo provedeno výše.

6.2 Vyhodnocení broušeného povrchu dle Barkhausenova šumu

V této podkapitole je graficky znázorněno vyhodnocení hodnot MP všech provedených experimentů. Pro vyhodnocení byly použity naměřené minimální a maximální hodnoty MP a porovnány s maximální dovolenou hodnotou dle zákaznické normy. Grafické znázornění výsledků MP je níže uvedeno na obrázku č. 28.



Obr. 28 Výsledné hodnoty MP pro provedené experimenty č. 1 až č. 6

Z obrázku č. 28 vyplývá, že použité řezné podmínky u všech experimentů jsou dle měření Barkhausenova šumu vyhovující, tj. u veškerých měření byly maximální naměřené hodnoty MP nižší než maximální dovolená hodnota pro daný díl. Jak již bylo uvedeno v kapitole č. 4.1, maximální dovolená hodnota MP, dle zvyklostí v AVA a dle zákaznické normy Customer 1, je trojnásobek minimální naměřené hodnoty MP. Lze uvést, že opět s nejvyššími naměřenými hodnotami, v tomto případě hodnotami MP, vychází experiment č. 5, tj. nejvyšší hodnoty MP byly naměřeny na dílech broušených dle řezných podmínek experimentu č. 5. Naopak nejnižší hodnoty MP byly naměřeny na dílech experiment č. 3. V tomto případě je nutné vzít v úvahu, rozdílné rozměry broušeného dílu než byly použity u ostatních dílů včetně nižších řezných rychlostí.

6.3 Časové a ekonomické vyhodnocení provedených experimentů

V této podkapitole budou vyčísleny časové a ekonomické úspory na základě porovnání času broušení provedených experimentů. V kapitole 6.1 byl uveden experiment č. 1 jako experiment s nejlepšími hodnotami R_a a t_p . Je však nutné vzít v úvahu také nízké řezné rychlosti, které byly u tohoto experimentu použity a následně je zhodnotit jak časově tak i ekonomicky. Protože u většiny experimentů byly použity jiné řezné rychlosti a navíc u experimentu č. 3 i odlišný tvarový díl, než tomu bylo v případě zbylých experimentů, je nutné vybrat obdobné díly a následně tyto díly vůči sobě porovnat. Jako nejlepší příklad je porovnání experimentu č. 1 s experimenty č. 2, č. 4 a číslo 6. Díly v těchto experimentech jsou průměrově identické a liší se pouze délkou broušené plochy. Tyto délky lze poměrově porovnat a následně vyhodnotit ekonomická kritéria daných experimentů.

Experiment č. 5 je, co se týče rozměrů dílu a navolených řezných podmínek identický jako experiment č. 6. Navíc z předešlých kapitol je jasné, že není použitelný do sériové výroby a tak nebude tento experiment porovnáván.

Pro experimenty č. 1, č. 2 a č. 4 bude vypočítán aritmetický průměr vždy ze dvou naměřených hodnot. Pro experiment č. 6 bude vypočítán aritmetický průměr z kompletních 5 naměřených hodnot. Časy broušení jsou převzaty z kapitoly výsledků měření, respektive z podkapitol č. 5.1, č. 5.3, č. 5.4 a č. 5.6.

Pro výpočet finanční výhodnosti daných experimentů budou použity již dříve zmíněné hodnoty $RHS = 500$ Kč/hod, $NPS = 300$ Kč/hod a $CRP = 500$ ks/rok. Výsledné časové i finanční úspory jsou uvedeny v tabulce č. 22.

Pro přehlednost a objasnění časových a ekonomických hodnot, uvedených v tabulce č. 22, je dále uveden vzorový výpočet s dosazením číselných hodnot. Při vzorovém výpočtu jsou vzájemně porovnány časy broušení naměřené během experimentů č.1 a č. 4. Cílem je použít řezné podmínky z experimentu č. 6 pro experiment č. 1 a tím dosáhnout úspory u dílu č. 1.

1.) Výpočet poměru délky $P_{L4/1}$

$$P_{L4/1} = L_4 / L_1 = 211 / 201 = 1,05$$

2.) Výpočet aritmetického průměru času broušení t

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad [18]$$

Aritmetický průměr času broušení t_1 pro díl č. 1

$$t_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = \frac{67,25 + 66,83}{2} = 67,04 \text{ min}$$

Aritmetický průměr času broušení t_4 pro díl č. 4

$$t_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = \frac{40,55 + 40,25 + 40,15 + 39,85 + 40}{5} = 40,16 \text{ min}$$

3.) Výpočet času broušení t v poměru aritmetického průměru času t_4 dílu č. 4 k délce

dílu č. 1 – t'_4

$$t'_4 = \frac{t_4}{P_{L4/1}} = \frac{40,16}{1,05} = 38,26 \text{ min}$$

4.) Výpočet časové úspory t_u [hod] pro CRP = 500 kusů

$$t_u = ((t_1 - t'_4) / 60) * CRP = ((67,04 - 38,26) / 60) * 500 = 239,86 \text{ hod}$$

5.) Výpočet ekonomické úspory EK_u [hod] pro 500 kusů

$$EK_u = t_u * (RHS + NPS) = 239,86 * (500 + 300) = 191\,889,- \text{ Kč}$$

Číslo experimentu	Číslo dílu	Délka dílu [mm]	Poměr délky P_i dílu vůči dílu č. 1 [-]	Čas broušení t [min]			Časová úspora t_u oproti experimentu č.1 pro 500 ks [hod]	Ekonomická úspora EK_u oproti experimentu č.1 pro 500 ks [Kč]
				Kusový	Aritmetický průměr	Poměr k délce dílu č.1		
1	1a	201	1	67,25	67,04	67,04	0	0
	1b			66,83				
2	1c	201	1	39,95	40,08	40,08	224,71	179 767,-
	1d			40,2				
4	3a	128	0,64	25,7	25,63	40,24	223,34	178 672,-
	3b			25,55				
6	4c	211	1,05	40,55	40,16	38,26	239,86	191 889,-
	4d			40,25				
	4e			40,15				
	4f			39,85				
	4g			40				

Tab. 22 Časové a finanční porovnání provedených experimentů

Z uvedené tabulky č. 22 jednoznačně vyplývá, že z hodnocených experimentů dle časových a ekonomických kritérií nejlépe vychází experiment č. 6. Byla provedena kontrola s reálnými hodnotami v AVA, které nebylo možné zveřejnit, a výsledek vychází analogicky. Jak bylo zmíněno dříve, experiment č. 1 byl nejlepší dle hodnocených kritérií drsnosti povrchu Ra a t_p . Oproti tomuto závěru lze uvést fakt, že experiment č. 1 je časově a ekonomicky nevýhodný a při roční sérii výroby 500 kusů by byla výroba touto metodou dražší o 191 889,- Kč než výroba, která by se uskutečnila za řezných podmínek dle experimentu č. 6.

Z výše uvedených hodnocení experimentů vyplývá, že nejlepší variantou pro novou výrobu ve společnosti AERO Vodochody AEROSPACE a.s. je výroba s využitím řezných podmínek dle experimentu č. 6. Výroba dle těchto řezných podmínek je v porovnání s řeznými podmínkami použitými v experimentech č. 1, č. 2 a č. 4 časově i ekonomicky nejvýhodnější a současně splňuje hodnocené parametry Ra, t_p a MP.

7 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá studiem procesu broušení chromové vrstvy na vysoko-pevnostních ocelových součástech podvozkových noh letounů a vlivu řezných podmínek na jejich kvalitu ve firmě AERO Vodochody AEROSPACE a.s.

V úvodu bakalářská práce je krátce popsána společnost AVA, zejména její minulá a současná výroba leteckých dílů a kompletních letounů vlastní konstrukce. V úvodu jsou také popsány různé, v současnosti zavedené výrobní programy a jejich důležitost pro samotné AVA. Mezi těmito výrobními programy bylo mimo jiné uvedené i samotné broušení chromové vrstvy na ocelových součástech podvozkových noh letounů. Následují současné a budoucí cíle výroby společnosti. Dále jsou uvedeny cíle bakalářské práce, mezi které patří zefektivnění procesu broušení, optimalizace řezných podmínek, zejména volba optimálního broušícího kotouče, volba způsobu orovnávání kotouče, zefektivnění broušících programů, optimalizace a tvorba nových technologických návodek, dodržení stanovených hodnot drsnosti povrchu při zefektivňování procesu broušení, zamezení vzniku spálenin na dílech s vnější chromovanou vrstvou a ekonomické zhodnocení a vyčíslení celkové úspory po zefektivnění broušení.

V další kapitole jsou shrnuty současné poznatky o broušení ocelových podvozkových součástí, historie a různé důvody zavedení této výroby přes různé počáteční komplikace při zavádění uvedené výroby. Tato kapitola také vysvětluje důvody zavádění nového procesu broušení chromové vrstvy na vysoko-pevnostních dílech, které jsou předmětem zkoumání této bakalářské práce, a s tímto také související nákup nového broušícího stroje. Po této části následuje kapitola, ve které je popisována metoda měření Barkhausenovým šumem, její stručná historie i její důvody zavedení pro kontrolu leteckých dílů ve světě i v samotném AVA.

V následující kapitole je proveden rozbor stávajícího, v současnosti zavedeného, technologického postupu při výrobě vysoko-pevnostních dílů. Jsou zde uvedeny dříve používané a v současné době zaváděné druhy materiálů pro výrobu ocelových dílů včetně a mechanických vlastností zmiňovaných materiálů. V kapitole je také popsán stručný výrobní proces podvozkových ocelových dílů od vlastního polotovaru, přes různé výrobní operace až do stavu před vlastním broušením chromované vrstvy. Tato kapitola také popisuje proces dohledatelnosti a stupně letecké bezpečnosti různých leteckých dílů. V kapitole jsou následně vysvětleny důvody používání tohoto procesu a také je zde uvedeno, že díly, které jsou předmětem zkoumání této bakalářské práce, patří do skupiny nejvyšší letecké bezpečnosti.

Následná kapitola obsahuje upřesněný popis dílů pro experimenty broušení, počet zvolených dílů, jejich název a rozměry. Kapitola také popisuje zvolené broušící kotouče, druhy orovnávačů, procesní kapalinu a zvolené řezné podmínky, mezi které lze např. uvést volby řezných rychlostí,

rychlostí posuvů a hodnotu otáček obrobku. Je zde také popsán způsob vyhodnocování parametrů R_a , t_p a MP na testovaných dílech. Následně se kapitola zabývá popisem daného výrobního pracoviště, měřicích přístrojů a prostorů pro daná měření. V této kapitole jsou také upřesněny podmínky a označení experimentů společně s kompletními tabulkami charakteristik experimentů a vzorové technologické návodky, používané v AVA při procesu broušení chromové vrstvy.

Navazující kapitola se již zabývá vlastní realizací experimentů broušení chromové vrstvy. Je zde popsán vlastní průběh provedených experimentů, od procesu ustavení dílů v brusce, přes vlastní broušení dílů, odečítání měřených parametrů jak z měřicích přístrojů, tak ze samotné brusky, až po uvedení vlastních výsledků experimentů. V této kapitole je také vysvětlen důvod pořadí prezentace experimentů. Následně je zde uvedena podrobná prezentace všech experimentů včetně jejich kompletních výsledků po zpracování statistickým výpočtem. Ke všem experimentům zde jsou také uvedeny protokoly z měření Barkhausenovým šumem.

Následující kapitola se již zabývá vlastním vyhodnocováním a volbou optimální varianty broušení. Je zde také uvedena poznámka o nemožnosti zveřejnění skutečných hodnot RHS , NPS a CRP využívaných v AVA. Důvodem jsou vnitřní bezpečnostní předpisy a ochrana ekonomických dat AVA. Poté již následuje vlastní zhodnocení experimentů dle parametrů R_a , t_p , MP a času t . Prvotně je zde uvedeno hodnocení střední hodnoty parametru R_a . Toto hodnocení je podloženo obrázkem č. 26, na kterém je graficky znázorněno následující. Hodnocením je zjištěno, že z hlediska střední hodnoty parametru R_a vychází nejlépe experiment č. 1, respektive řezné podmínky použité v tomto experimentu. Dále je zde vyhodnoceno, že nejhůře, dle parametru R_a , vychází řezné podmínky použité v experimentu č. 5, který při využití intervalů spolehlivosti nesplňuje maximální, výkresově dovolenou hodnotu $R_a = 0,4 \mu\text{m}$, tj. tato maximální dovolená hodnota je s přičtením kladného intervalu spolehlivosti překročena. Řezné podmínky použité v tomto experimentu jsou následně vyhodnoceny jako nevyhovující pro nově zaváděnou výrobu v AVA. Dále je zde uvedeno, že je také nutné vzít v úvahu statistické intervaly spolehlivosti a jejich procentuální poměr oproti střední hodnotě parametru R_a u všech provedených experimentů. Je zde také uvedeno, že v tomto případě platí, že čím menší je hodnota výše zmíněného procentuálního poměru, tím stabilnější je proces broušení. Dle tohoto poměru jsou nejlépe vyhodnocené řezné podmínky použité v experimentech č. 3b a č. 6 (nejstabilnější proces broušení), naopak nejhůře jsou vyhodnoceny řezné podmínky použité u experimentu č. 2. Statistický interval v případě řezných podmínek experimentu č. 3b a č. 6 tvoří 13% střední hodnoty naměřeného parametru R_a , oproti 33% u experimentu č. 2.

Dále jsou uvedeny výsledky experimentů dle střední hodnoty parametru t_p . V tomto případě jako nejlépe hodnocené vychází řezné podmínky použité v experimentech č. 1 a č. 3. Nejhůře jsou opět hodnoceny řezné podmínky použité v experimentu č. 5. Následně jsou řezné podmínky

hodnoceny dle procentuálních poměrů statistických intervalů spolehlivosti oproti střední hodnotě parametru t_p . Dle tohoto poměru jsou nejlépe vyhodnocené řezné podmínky použité v experimentu č. 6 (statistický interval tvoří 9% střední hodnoty naměřeného t_p), tj. proces broušení je v tomto případě nejstabilnější. Naopak nejhůře jsou vyhodnoceny řezné podmínky použité v experimentu č. 2 (statistický interval tvoří 29% střední hodnoty naměřeného t_p), tj. proces broušení je v tomto případě nejméně stabilní.

Dále se kapitola zabývá hodnocením magnetoelastického parametru, neboli parametru měření Barkhausenova šumu. Dle tohoto experimentu jsou vyhodnoceny řezné podmínky použité v experimentu č. 3a jako řezné podmínky s nejnižším MP a řezné podmínky použité v experimentu č. 5 jako řezné podmínky s nejvyšším naměřeným MP. Veškeré naměřené hodnoty MP jsou graficky znázorněny na obrázku č. 28. Je nutné uvést, že veškeré řezné podmínky využité v experimentech č. 1 až č. 6 jsou dle hodnocení parametru MP vyhovující, protože ani u jednoho experimentu nebyla překročena maximální dovolená hodnota MP. Tato hodnota je hodnocena, dle zákaznické normy Customer 1 a dle zvyklostí zavedených v AVA, jako trojnásobek minimální naměřené hodnoty a to na každém díle zvlášť.

Po hodnocení hodnot MP, následuje hodnocení dle časových a ekonomických kritérií. Přestože dle naměřených středních hodnot R_a vychází nejlépe řezné podmínky využitě v experimentu č. 1 a dle parametrů t_p a MP vychází nejlépe řezné podmínky v experimentu č. 1 a č. 3a, je tento závěr zde ještě porovnáván s časem broušení t a s tím souvisejícími výrobními náklady. V této části již nedochází k porovnávání experimentu č. 5 s ostatní experimenty, protože jak bylo uvedeno výše, experiment č. 5 je dle parametru R_a nevyhovující. Následně jsou zde vybrány experimenty s tvarově obdobnými díly, jmenovitě experiment č. 1, č. 2, č. 4 a č. 6, pro časové a ekonomické porovnání řezných podmínek uvedených experimentů. Je zde uvedena tab. č. 22, ve které jsou zobrazeny všechny hodnoty času broušení, vypočtené hodnoty časové a ekonomické úspory. Pro lepší orientaci ve výpočtových hodnotách je zde uveden vzorový výpočet mezi experimenty č. 1 a č. 6 pro již zmiňované časové a ekonomické úspory. Lze uvést, že dle kompletního hodnocení času broušení a s tím souvisejícím ekonomickým hodnocením (vypočtené hodnoty jsou kompletně uvedeny v tab. č. 22) jsou nejlépe vyhodnoceny, řezné podmínky použité v experimentu č. 6. Řeznými podmínkami použitými v tomto experimentu a aplikovanými na díl č. 1, dosáhneme časové úspory, při výrobě 500 kusů za rok, $t_u = 239,86$ hodin oproti řezným podmínkám použitým v experimentu č. 1. K uvedené časové úspoře je následně dopočítána ekonomická úspora a to ve výši $EK_u = 191\,889,-$ Kč. Řezné podmínky použité v experimentu č. 6 jsou tedy časově i ekonomicky nejvýhodnější a navíc tento experiment s přehledem splňuje i ostatní měřené parametry R_a , t_p a MP. V této kapitole je také uvedeno, že hodnoty časových i ekonomických úspor, byly v AVA porovnány se skutečnými hodnotami a výsledky jsou analogické.

Vyhodnocením řezných podmínek provedených experimentů jsou splněny všechny cíle bakalářské práce a to zefektivnění procesu broušení, z toho zejména vyplývající zkrácení výrobních časů, z toho vyplývající snížení výrobních i nevýrobních nákladů na danou součást, větší pracovní propustnost daného pracoviště, zvýšení produktivity práce, dodržení požadovaných hodnot parametrů R_a , t_p , MP a v neposlední řadě zamezení zmetkovitosti. Na základě provedených experimentů jsou také zefektivněny broušící programy a technologické návodky pro broušení chromové vrstvy.

Využití řezných podmínek dle experimentu č. 6 je pro nově zaváděnou výrobu v AVA nejvýhodnější a s jistotou lze uvést, že tyto podmínky budou na základě provedených experimentů této bakalářské práce využívány v budoucí výrobě v AVA. Tento výzkum bude i nadále probíhat při případném budoucím zavádění dalších nových dílů v AVA.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MASLOV, J. N. *Teorie broušení kovů*. Doplnil F. Neckář., 1. vyd. Praha: SNTL, 1979. 248 s. ISBN -.
- [2] KOPEC, B., aj. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí*. Rec. P. Sullik, P. Mazal. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2008. 572 s. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [3] MALEC, J. Využití Barkhausenova šumu ke kontrole a optimalizaci broušení. *Strojírenská technologie*. roč. 11, září 2006, č. 3. s. 4. ISSN 1211-4162.
- [4] ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999. Praha: Český normalizační institut.
- [5] KOČMAN, J. *Technologický postup výroby vřeteníku vyvrtávacího stroje v TOS Varnsdorf, a.s. [Diplomová práce]*. Liberec, Technická univerzita v Liberci, 1999. 83 s.
- [6] MLEJNEK, M. *Návrh hospodárného postupu obrábění tvarových částí tlakových forem pro lití hliníkových slitin ve firmě Škoda Auto Mladá Boleslav, a.s. [Diplomová práce]*. Liberec, Technická univerzita v Liberci, 2005. 76 s.
- [7] TOS HOSTIVAŘ – HOL-MONTA a.s. *Cenová nabídka a základní technická data hrotové brusky UB32/1000 CNC*. Praha, HOL-MONTA, 2014. 8 s.
- [8] ATSB TRANSPORT SAFETY REPORT – AVIATION OCCURENCE INVESTIIGATION AO-2009-047 FINAL. *Nose landing gear axle fracture VH-VBA, Boeing 737-7 Q8*. Victoria, Melbourne Aerodrome, 2009. 25 s.
- [9] KRÁL, M. *L159T1* [online]. Čáslav, Czech air force, duben 2011. [cit.10. června 2015]. Dostupné na: <http://www.planes.cz/cs/photo/1114071/l159t1-6046-czech-air-force-cef-mimo-letiste> .

- [10] PCS s.r.o., Ždár nad Sázavou : Barkhausenův šum. 2012. 1 s.
- [11] WIKIA. *HX1 (helicopter)/Sikorsky S76* [online]. San Francisco, WIKIA, červen 2014. [cit.10. června 2015]. Dostupné na:
http://airwolf.wikia.com/wiki/HX1_%28helicopter%29/Sikorsky_S-76 .
- [12] ILDŽA, A. *Jas 39C Gripen* [online]. Pardubice, Czech air force, červenec 2011. [cit.10. června 2015]. Dostupné na:
<http://www.planes.cz/cs/photo/1113050/saab-39c-gripen-9235-czech-air-force-cef-pardubice-ped-lkpd> .
- [13] PAMCO INT a.s. *L59 Super Albatros* [online]. Praha, PAMCO INT. a.s., únor 2015. [cit.10. června 2015]. Dostupné na:
<http://www.pamco.cz/cs/divize/divize-letadel/l-59-super-albatros/> .
- [14] AERO VODOCHODY AEROSPACE a.s., Odolena Voda : Fotoarchiv AVA a.s. 2012. 120 s.
- [15] DIA-PRAHA s.r.o. *Volba druhu diamantového orovnávače* [online]. Praha, DIA-PRAHA, 2014. [cit.10. června 2015]. Dostupné na:
<http://www.diapraha.cz/orovnavani?gclid=CPya5bXsxsYCFSQXwwodZIMCbg> .
- [16] PCS s.r.o., Ždár nad Sázavou: Metoda analýzy Barkhausenova šumu (BNA). 2012. 18 s.
- [17] VRKOSLAVOVÁ, L. *Metoda analýzy Barkhausenova šumu* [online]. Liberec, Technická univerzita v Liberci, [B. r.]. [cit.20. srpna 2015]. Dostupné na:
<http://slideplayer.cz/slide/2433307/>.
- [18] VYDAVATELSTVÍ NOVÁ MÉDIA s.r.o. *Matematika.cz* [online]. Brno-město, VYDAVATELSTVÍ NOVÁ MÉDIA, srpen 2015. [cit.31. srpen 2015]. Dostupné na:
<http://www.matematika.cz/prumer>.
- [19] KREJČÍ, O. *Zjišťování vlivu procesních kapalin na jakost obrobeneho povrchu a trvanlivost nástroje při vrtání konstrukčních ocelí. [Bakalářská práce]*. Liberec, Technická univerzita v Liberci, 2013. 62 s.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1

Název: Kompletní soubor zaznamenaných hodnot R_a a t_p během experimentů

Počet stran: 17

Příloha 2

Název: Kompletní soubor zaznamenaných hodnot času t během experimentu č. 6

Počet stran: 1

Příloha 1

Kompletní soubor zaznamenaných hodnot R_a a t_p během experimentů

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra		Ra	
		0,07	
	% t _{pi}	Ra	
		μm	
cut	0	0	
t _{pi}	50	0,31	
t _{pi}	10	0,18	
t _{pi}	20	0,25	
t _{pi}	30	0,25	
t _{pi}	40	0,31	
t _{pi}	50	0,31	
t _{pi}	60	0,31	
t _{pi}	70	0,31	
t _{pi}	80	0,37	
t _{pi}	90	0,43	
t _{pi}	100	0,87	

Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra		Ra	
		0,08	
	% t _{pi}	Ra	
		μm	
cut	0	0	
t _{pi}	50	0,44	
t _{pi}	10	0,31	
t _{pi}	20	0,31	
t _{pi}	30	0,37	
t _{pi}	40	0,43	
t _{pi}	50	0,43	
t _{pi}	60	0,43	
t _{pi}	70	0,49	
t _{pi}	80	0,49	
t _{pi}	90	0,56	
t _{pi}	100	1,12	

Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra		Ra	
		0,07	
	% t _{pi}	Ra	
		μm	
cut	0	0	
t _{pi}	50	0,37	
t _{pi}	10	0,25	
t _{pi}	20	0,25	
t _{pi}	30	0,31	
t _{pi}	40	0,37	
t _{pi}	50	0,37	
t _{pi}	60	0,37	
t _{pi}	70	0,43	
t _{pi}	80	0,43	
t _{pi}	90	0,49	
t _{pi}	100	0,94	

Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra		Ra	
		0,07	
	% t _{pi}	Ra	
		μm	
cut	0	0	
t _{pi}	50	0,25	
t _{pi}	10	0,12	
t _{pi}	20	0,18	
t _{pi}	30	0,18	
t _{pi}	40	0,24	
t _{pi}	50	0,24	
t _{pi}	60	0,24	
t _{pi}	70	0,31	
t _{pi}	80	0,31	
t _{pi}	90	0,37	
t _{pi}	100	0,87	

Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra		Ra	
		0,08	
	% t _{pi}	Ra	
		μm	
cut	0	0	
t _{pi}	50	0,37	
t _{pi}	10	0,25	
t _{pi}	20	0,25	
t _{pi}	30	0,31	
t _{pi}	40	0,37	
t _{pi}	50	0,37	
t _{pi}	60	0,37	
t _{pi}	70	0,43	
t _{pi}	80	0,43	
t _{pi}	90	0,49	
t _{pi}	100	1	

Tab. č. 1 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 1 - díl 1a

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,09	
		% t _{pi}	
		Ra	
		μm	
cut	0	0	0
t _{pi}	50	0,37	0,37
t _{pi}	10	0,18	0,18
t _{pi}	20	0,25	0,25
t _{pi}	30	0,31	0,31
t _{pi}	40	0,31	0,31
t _{pi}	50	0,37	0,37
t _{pi}	60	0,37	0,37
t _{pi}	70	0,43	0,43
t _{pi}	80	0,43	0,43
t _{pi}	90	0,56	0,56
t _{pi}	100	1	1

Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,1	
		% t _{pi}	
		Ra	
		μm	
cut	0	0	0
t _{pi}	50	0,44	0,44
t _{pi}	10	0,24	0,24
t _{pi}	20	0,31	0,31
t _{pi}	30	0,37	0,37
t _{pi}	40	0,37	0,37
t _{pi}	50	0,43	0,43
t _{pi}	60	0,43	0,43
t _{pi}	70	0,49	0,49
t _{pi}	80	0,49	0,49
t _{pi}	90	0,62	0,62
t _{pi}	100	1,12	1,12

Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,09	
		% t _{pi}	
		Ra	
		μm	
cut	0	0	0
t _{pi}	50	0,37	0,37
t _{pi}	10	0,18	0,18
t _{pi}	20	0,24	0,24
t _{pi}	30	0,31	0,31
t _{pi}	40	0,37	0,37
t _{pi}	50	0,37	0,37
t _{pi}	60	0,37	0,37
t _{pi}	70	0,43	0,43
t _{pi}	80	0,43	0,43
t _{pi}	90	0,49	0,49
t _{pi}	100	1,12	1,12

Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,09	
		% t _{pi}	
		Ra	
		μm	
cut	0	0	0
t _{pi}	50	0,37	0,37
t _{pi}	10	0,18	0,18
t _{pi}	20	0,24	0,24
t _{pi}	30	0,31	0,31
t _{pi}	40	0,31	0,31
t _{pi}	50	0,37	0,37
t _{pi}	60	0,37	0,37
t _{pi}	70	0,43	0,43
t _{pi}	80	0,43	0,43
t _{pi}	90	0,49	0,49
t _{pi}	100	1,12	1,12

Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,1	
		% t _{pi}	
		Ra	
		μm	
cut	0	0	0
t _{pi}	50	0,44	0,44
t _{pi}	10	0,25	0,25
t _{pi}	20	0,31	0,31
t _{pi}	30	0,37	0,37
t _{pi}	40	0,37	0,37
t _{pi}	50	0,43	0,43
t _{pi}	60	0,43	0,43
t _{pi}	70	0,49	0,49
t _{pi}	80	0,56	0,56
t _{pi}	90	0,62	0,62
t _{pi}	100	1,19	1,19

Tab. č. 2 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 1 - díl 1b

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,16		Ra		0,23		Ra		0,18		Ra		0,22		Ra		0,16	
% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm	
cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	0	0	0	0
t _{pi}	50	0,75	0,75	t _{pi}	50	0,75	0,75	t _{pi}	50	0,81	0,81	t _{pi}	50	0,75	0,75	0,75	50	0,81	0,81
t _{pi}	10	0,5	0,5	t _{pi}	10	0,37	0,37	t _{pi}	10	0,49	0,49	t _{pi}	10	0,37	0,37	t _{pi}	10	0,59	0,59
t _{pi}	20	0,56	0,56	t _{pi}	20	0,49	0,49	t _{pi}	20	0,62	0,62	t _{pi}	20	0,49	0,49	t _{pi}	20	0,62	0,62
t _{pi}	30	0,62	0,62	t _{pi}	30	0,56	0,56	t _{pi}	30	0,68	0,68	t _{pi}	30	0,56	0,56	t _{pi}	30	0,68	0,68
t _{pi}	40	0,68	0,68	t _{pi}	40	0,62	0,62	t _{pi}	40	0,74	0,74	t _{pi}	40	0,68	0,68	t _{pi}	40	0,74	0,74
t _{pi}	50	0,75	0,75	t _{pi}	50	0,75	0,75	t _{pi}	50	0,81	0,81	t _{pi}	50	0,75	0,75	t _{pi}	50	0,81	0,81
t _{pi}	60	0,75	0,75	t _{pi}	60	0,81	0,81	t _{pi}	60	0,87	0,87	t _{pi}	60	0,81	0,81	t _{pi}	60	0,81	0,81
t _{pi}	70	0,81	0,81	t _{pi}	70	0,97	0,97	t _{pi}	70	0,93	0,93	t _{pi}	70	0,87	0,87	t _{pi}	70	0,87	0,87
t _{pi}	80	0,93	0,93	t _{pi}	80	0,99	0,99	t _{pi}	80	0,99	0,99	t _{pi}	80	0,99	0,99	t _{pi}	80	0,99	0,99
t _{pi}	90	0,99	0,99	t _{pi}	90	1,12	1,12	t _{pi}	90	1,12	1,12	t _{pi}	90	1,12	1,12	t _{pi}	90	1,05	1,05
t _{pi}	100	1,87	1,87	t _{pi}	100	2,18	2,18	t _{pi}	100	2,25	2,25	t _{pi}	100	2,18	2,18	t _{pi}	100	2,12	2,12

Tab. č. 3 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 2 - díl 1c

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,21		Ra		0,14		Ra		0,22		Ra		0,17		Ra		0,12	
	% t _{pi}	Ra	μm		% t _{pi}	Ra	μm		% t _{pi}	Ra	μm		% t _{pi}	Ra	μm		% t _{pi}	Ra	μm
cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0
t _{pi}	50	0,81	0,62	t _{pi}	50	0,62	0,62	t _{pi}	50	1,06	1,06	t _{pi}	50	0,62	0,62	t _{pi}	50	0,5	0,5
t _{pi}	10	0,43	0,37	t _{pi}	10	0,37	0,37	t _{pi}	10	0,74	0,74	t _{pi}	10	0,31	0,31	t _{pi}	10	0,31	0,31
t _{pi}	20	0,56	0,43	t _{pi}	20	0,43	0,43	t _{pi}	20	0,81	0,81	t _{pi}	20	0,43	0,43	t _{pi}	20	0,37	0,37
t _{pi}	30	0,62	0,5	t _{pi}	30	0,5	0,5	t _{pi}	30	0,87	0,87	t _{pi}	30	0,5	0,5	t _{pi}	30	0,37	0,37
t _{pi}	40	0,68	0,56	t _{pi}	40	0,56	0,56	t _{pi}	40	0,93	0,93	t _{pi}	40	0,56	0,56	t _{pi}	40	0,43	0,43
t _{pi}	50	0,81	0,62	t _{pi}	50	0,62	0,62	t _{pi}	50	1,06	1,06	t _{pi}	50	0,62	0,62	t _{pi}	50	0,5	0,5
t _{pi}	60	0,87	0,62	t _{pi}	60	0,62	0,62	t _{pi}	60	1,06	1,06	t _{pi}	60	0,62	0,62	t _{pi}	60	0,5	0,5
t _{pi}	70	0,93	0,68	t _{pi}	70	0,68	0,68	t _{pi}	70	1,12	1,12	t _{pi}	70	0,68	0,68	t _{pi}	70	0,56	0,56
t _{pi}	80	0,99	0,74	t _{pi}	80	0,74	0,74	t _{pi}	80	1,24	1,24	t _{pi}	80	0,8	0,8	t _{pi}	80	0,62	0,62
t _{pi}	90	1,12	0,87	t _{pi}	90	0,87	0,87	t _{pi}	90	1,37	1,37	t _{pi}	90	0,93	0,93	t _{pi}	90	0,68	0,68
t _{pi}	100	2,18	1,81	t _{pi}	100	1,81	1,81	t _{pi}	100	3,37	3,37	t _{pi}	100	2,12	2,12	t _{pi}	100	1,44	1,44

Tab. č. 4 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 2 - díl 1d

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,12		Ra		0,09		Ra		0,1		Ra		0,09		Ra		0,12	
% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm	
cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	0	0	0	0
t _{pi}	50	0,43	0,37	t _{pi}	50	0,37	0,36	t _{pi}	50	0,36	0,37	t _{pi}	50	0,37	0,37	0,37	0,37	50	0,5
t _{pi}	10	0,25	0,18	t _{pi}	10	0,18	0,17	t _{pi}	10	0,17	0,18	t _{pi}	10	0,18	0,18	0,18	0,18	10	0,31
t _{pi}	20	0,31	0,31	t _{pi}	20	0,37	0,37	t _{pi}	20	0,18	0,18	t _{pi}	20	0,25	0,25	0,25	0,25	20	0,37
t _{pi}	30	0,31	0,37	t _{pi}	30	0,37	0,36	t _{pi}	30	0,18	0,24	t _{pi}	30	0,31	0,37	0,37	0,37	30	0,37
t _{pi}	40	0,37	0,43	t _{pi}	40	0,37	0,37	t _{pi}	40	0,24	0,36	t _{pi}	40	0,37	0,37	0,37	0,37	40	0,43
t _{pi}	50	0,43	0,43	t _{pi}	50	0,37	0,37	t _{pi}	50	0,36	0,37	t _{pi}	50	0,37	0,37	0,37	0,37	50	0,5
t _{pi}	60	0,43	0,49	t _{pi}	60	0,37	0,37	t _{pi}	60	0,37	0,37	t _{pi}	60	0,37	0,37	0,37	0,37	60	0,5
t _{pi}	70	0,49	0,59	t _{pi}	70	0,43	0,43	t _{pi}	70	0,37	0,37	t _{pi}	70	0,43	0,43	0,43	0,43	70	0,56
t _{pi}	80	0,59	0,62	t _{pi}	80	0,43	0,43	t _{pi}	80	0,37	0,43	t _{pi}	80	0,43	0,43	0,43	0,43	80	0,62
t _{pi}	90	0,62	1,19	t _{pi}	90	0,5	0,81	t _{pi}	90	0,43	0,43	t _{pi}	90	0,49	0,49	0,49	0,49	90	0,68
t _{pi}	100	1,19		t _{pi}	100	0,81		t _{pi}	100	0,94	0,94	t _{pi}	100	0,94	0,94	0,94	0,94	100	1,44

Tab. č. 5 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 3 - díl 2a (broušený průměr d = 75 f7(mm))

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,14		Ra		0,13		Ra		0,15		Ra		0,17		Ra		0,15	
% t _{pi}		Ra		% t _{pi}		Ra		% t _{pi}		Ra		% t _{pi}		Ra		% t _{pi}		Ra	
μm		0		μm		0		μm		0		μm		0		μm		0	
cut		0		cut		0		cut		0		cut		0		cut		0	
t _{pi}		0,68		t _{pi}		0,49		t _{pi}		0,56		t _{pi}		0,56		t _{pi}		0,56	
t _{pi}		10		t _{pi}		10		t _{pi}		10		t _{pi}		10		t _{pi}		10	
t _{pi}		20		t _{pi}		20		t _{pi}		20		t _{pi}		20		t _{pi}		20	
t _{pi}		30		t _{pi}		30		t _{pi}		30		t _{pi}		30		t _{pi}		30	
t _{pi}		40		t _{pi}		40		t _{pi}		40		t _{pi}		40		t _{pi}		40	
t _{pi}		50		t _{pi}		50		t _{pi}		50		t _{pi}		50		t _{pi}		50	
t _{pi}		60		t _{pi}		60		t _{pi}		60		t _{pi}		60		t _{pi}		60	
t _{pi}		70		t _{pi}		70		t _{pi}		70		t _{pi}		70		t _{pi}		70	
t _{pi}		80		t _{pi}		80		t _{pi}		80		t _{pi}		80		t _{pi}		80	
t _{pi}		90		t _{pi}		90		t _{pi}		90		t _{pi}		90		t _{pi}		90	
t _{pi}		100		t _{pi}		100		t _{pi}		100		t _{pi}		100		t _{pi}		100	
		0,43				0,25				0,31				0,31				0,31	
		0,49				0,31				0,37				0,37				0,37	
		0,56				0,37				0,43				0,43				0,43	
		0,62				0,43				0,49				0,49				0,49	
		0,68				0,49				0,56				0,56				0,56	
		0,69				0,49				0,56				0,56				0,56	
		0,74				0,55				0,62				0,62				0,62	
		0,81				0,62				0,68				0,68				0,68	
		0,93				0,74				0,81				0,81				0,81	
		1,5				1,68				1,5				1,5				1,68	

Tab. č. 6 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 3 - díl 2a (broušený průměr d = 95 f7(mm))

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra				
Ra		0,09		Ra		0,09		Ra		0,1		Ra		0,09		Ra		0,1		
% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		
cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	0	0	0	0	0
t _{pi}	50	0,37	0,37	t _{pi}	50	0,37	0,37	t _{pi}	50	0,31	0,31	t _{pi}	50	0,37	0,37	0,37	50	0,31	0,31	0,31
t _{pi}	10	0,24	0,24	t _{pi}	10	0,18	0,18	t _{pi}	10	0,14	0,14	t _{pi}	10	0,18	0,18	10	0,15	0,15	0,15	0,15
t _{pi}	20	0,24	0,24	t _{pi}	20	0,25	0,25	t _{pi}	20	0,18	0,18	t _{pi}	20	0,25	0,25	t _{pi}	20	0,18	0,18	0,18
t _{pi}	30	0,31	0,31	t _{pi}	30	0,31	0,31	t _{pi}	30	0,18	0,18	t _{pi}	30	0,31	0,31	t _{pi}	30	0,18	0,18	0,18
t _{pi}	40	0,37	0,37	t _{pi}	40	0,37	0,37	t _{pi}	40	0,24	0,24	t _{pi}	40	0,37	0,37	t _{pi}	40	0,24	0,24	0,24
t _{pi}	50	0,37	0,37	t _{pi}	50	0,37	0,37	t _{pi}	50	0,31	0,31	t _{pi}	50	0,37	0,37	t _{pi}	50	0,31	0,31	0,31
t _{pi}	60	0,37	0,37	t _{pi}	60	0,37	0,37	t _{pi}	60	0,31	0,31	t _{pi}	60	0,37	0,37	t _{pi}	60	0,31	0,31	0,31
t _{pi}	70	0,43	0,43	t _{pi}	70	0,43	0,43	t _{pi}	70	0,37	0,37	t _{pi}	70	0,43	0,43	t _{pi}	70	0,37	0,37	0,37
t _{pi}	80	0,43	0,43	t _{pi}	80	0,43	0,43	t _{pi}	80	0,37	0,37	t _{pi}	80	0,43	0,43	t _{pi}	80	0,37	0,37	0,37
t _{pi}	90	0,49	0,49	t _{pi}	90	0,5	0,5	t _{pi}	90	0,43	0,43	t _{pi}	90	0,49	0,49	t _{pi}	90	0,43	0,43	0,43
t _{pi}	100	1,25	1,25	t _{pi}	100	0,81	0,81	t _{pi}	100	0,94	0,94	t _{pi}	100	0,94	0,94	t _{pi}	100	0,94	0,94	0,94

Tab. č. 7 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 3 - díl 2a (broušený průměr d = 75 f7(mm))

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,17	
		% t _{pi}	Ra μm
cut	0	0	0
t _{pi}	50	50	0,68
t _{pi}	10	10	0,43
t _{pi}	20	20	0,49
t _{pi}	30	30	0,56
t _{pi}	40	40	0,62
t _{pi}	50	50	0,68
t _{pi}	60	60	0,68
t _{pi}	70	70	0,74
t _{pi}	80	80	0,87
t _{pi}	90	90	0,99
t _{pi}	100	100	1,81

Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,15	
		% t _{pi}	Ra μm
cut	0	0	0
t _{pi}	50	50	0,68
t _{pi}	10	10	0,43
t _{pi}	20	20	0,5
t _{pi}	30	30	0,56
t _{pi}	40	40	0,62
t _{pi}	50	50	0,68
t _{pi}	60	60	0,69
t _{pi}	70	70	0,75
t _{pi}	80	80	0,81
t _{pi}	90	90	0,93
t _{pi}	100	100	1,62

Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,15	
		% t _{pi}	Ra μm
cut	0	0	0
t _{pi}	50	50	0,56
t _{pi}	10	10	0,31
t _{pi}	20	20	0,37
t _{pi}	30	30	0,43
t _{pi}	40	40	0,49
t _{pi}	50	50	0,56
t _{pi}	60	60	0,56
t _{pi}	70	70	0,62
t _{pi}	80	80	0,68
t _{pi}	90	90	0,81
t _{pi}	100	100	1,5

Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,15	
		% t _{pi}	Ra μm
cut	0	0	0
t _{pi}	50	50	0,56
t _{pi}	10	10	0,31
t _{pi}	20	20	0,37
t _{pi}	30	30	0,43
t _{pi}	40	40	0,49
t _{pi}	50	50	0,56
t _{pi}	60	60	0,56
t _{pi}	70	70	0,62
t _{pi}	80	80	0,68
t _{pi}	90	90	0,8
t _{pi}	100	100	1,68

Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,12	
		% t _{pi}	Ra μm
cut	0	0	0
t _{pi}	50	50	0,43
t _{pi}	10	10	0,25
t _{pi}	20	20	0,31
t _{pi}	30	30	0,31
t _{pi}	40	40	0,37
t _{pi}	50	50	0,43
t _{pi}	60	60	0,43
t _{pi}	70	70	0,49
t _{pi}	80	80	0,59
t _{pi}	90	90	0,62
t _{pi}	100	100	1,29

Tab. č. 8 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 3 - díl 2a (broušený průměr d = 95 f7(mm))

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra			Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra			Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra			Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra			Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra		
	Ra	0,14		Ra	0,15		Ra	0,13		Ra	0,16		Ra	0,19
	% t _{pi}			% t _{pi}			% t _{pi}			% t _{pi}			% t _{pi}	
	Ra	μm		Ra	μm		Ra	μm		Ra	μm		Ra	μm
cut	0	0	cut	0	0	cut	0	0	cut	0	0	cut	0	0
t _{pi}	50	0,62	t _{pi}	50	0,62	t _{pi}	50	0,44	t _{pi}	50	0,75	t _{pi}	50	0,81
t _{pi}	10	0,37	t _{pi}	10	0,37	t _{pi}	10	0,18	t _{pi}	10	0,49	t _{pi}	10	0,5
t _{pi}	20	0,43	t _{pi}	20	0,43	t _{pi}	20	0,25	t _{pi}	20	0,56	t _{pi}	20	0,56
t _{pi}	30	0,49	t _{pi}	30	0,49	t _{pi}	30	0,31	t _{pi}	30	0,62	t _{pi}	30	0,68
t _{pi}	40	0,56	t _{pi}	40	0,56	t _{pi}	40	0,37	t _{pi}	40	0,68	t _{pi}	40	0,74
t _{pi}	50	0,62	t _{pi}	50	0,62	t _{pi}	50	0,44	t _{pi}	50	0,75	t _{pi}	50	0,81
t _{pi}	60	0,62	t _{pi}	60	0,68	t _{pi}	60	0,44	t _{pi}	60	0,75	t _{pi}	60	0,87
t _{pi}	70	0,68	t _{pi}	70	0,68	t _{pi}	70	0,49	t _{pi}	70	0,81	t _{pi}	70	0,93
t _{pi}	80	0,74	t _{pi}	80	0,81	t _{pi}	80	0,56	t _{pi}	80	0,87	t _{pi}	80	0,99
t _{pi}	90	0,87	t _{pi}	90	0,87	t _{pi}	90	0,68	t _{pi}	90	0,99	t _{pi}	90	1,12
t _{pi}	100	1,37	t _{pi}	100	1,31	t _{pi}	100	1,19	t _{pi}	100	1,68	t _{pi}	100	1,87

Tab. č. 9 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 4 - díl 3a

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra			Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra			Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra			Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra			Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra		
Ra		0,14	Ra		0,15	Ra		0,15	Ra		0,17	Ra		0,19
% t _{pi}			% t _{pi}			% t _{pi}			% t _{pi}			% t _{pi}		
Ra		μm	Ra		μm	Ra		μm	Ra		μm	Ra		μm
cut	0	0	cut	0	0	cut	0	0	cut	0	0	cut	0	0
t _{pi}	50	0,68	t _{pi}	50	0,68	t _{pi}	50	0,56	t _{pi}	50	0,56	t _{pi}	50	0,68
t _{pi}	10	0,43	t _{pi}	10	0,43	t _{pi}	10	0,31	t _{pi}	10	0,31	t _{pi}	10	0,37
t _{pi}	20	0,49	t _{pi}	20	0,5	t _{pi}	20	0,37	t _{pi}	20	0,37	t _{pi}	20	0,49
t _{pi}	30	0,56	t _{pi}	30	0,56	t _{pi}	30	0,43	t _{pi}	30	0,43	t _{pi}	30	0,56
t _{pi}	40	0,62	t _{pi}	40	0,62	t _{pi}	40	0,49	t _{pi}	40	0,5	t _{pi}	40	0,62
t _{pi}	50	0,68	t _{pi}	50	0,68	t _{pi}	50	0,56	t _{pi}	50	0,56	t _{pi}	50	0,68
t _{pi}	60	0,69	t _{pi}	60	0,69	t _{pi}	60	0,56	t _{pi}	60	0,56	t _{pi}	60	0,69
t _{pi}	70	0,74	t _{pi}	70	0,75	t _{pi}	70	0,62	t _{pi}	70	0,62	t _{pi}	70	0,74
t _{pi}	80	0,81	t _{pi}	80	0,81	t _{pi}	80	0,68	t _{pi}	80	0,75	t _{pi}	80	0,87
t _{pi}	90	0,93	t _{pi}	90	0,93	t _{pi}	90	0,81	t _{pi}	90	0,81	t _{pi}	90	0,99
t _{pi}	100	1,5	t _{pi}	100	1,62	t _{pi}	100	1,5	t _{pi}	100	1,5	t _{pi}	100	2

Tab. č. 10 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 4 - díl 3b

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra			Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra			Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra			Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra			Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra		
Ra		0,41	Ra		0,34	Ra		0,33	Ra		0,38	Ra		0,45
% t _{pi}			% t _{pi}			% t _{pi}			% t _{pi}			% t _{pi}		
Ra		μm	Ra		μm	Ra		μm	Ra		μm	Ra		μm
cut	0	0	cut	0	0	cut	0	0	cut	0	0	cut	0	0
t _{pi}	50	1,31	t _{pi}	50	1,19	t _{pi}	50	1,25	t _{pi}	50	1,19	t _{pi}	50	1,37
t _{pi}	10	0,56	t _{pi}	10	0,62	t _{pi}	10	0,74	t _{pi}	10	0,56	t _{pi}	10	0,68
t _{pi}	20	0,87	t _{pi}	20	0,74	t _{pi}	20	0,93	t _{pi}	20	0,75	t _{pi}	20	0,81
t _{pi}	30	1,06	t _{pi}	30	0,93	t _{pi}	30	1,06	t _{pi}	30	0,87	t _{pi}	30	1,08
t _{pi}	40	1,18	t _{pi}	40	1,06	t _{pi}	40	1,18	t _{pi}	40	1,06	t _{pi}	40	1,18
t _{pi}	50	1,31	t _{pi}	50	1,19	t _{pi}	50	1,25	t _{pi}	50	1,19	t _{pi}	50	1,37
t _{pi}	60	1,43	t _{pi}	60	1,31	t _{pi}	60	1,37	t _{pi}	60	1,3	t _{pi}	60	1,55
t _{pi}	70	1,62	t _{pi}	70	1,43	t _{pi}	70	1,49	t _{pi}	70	1,43	t _{pi}	70	1,68
t _{pi}	80	1,74	t _{pi}	80	1,56	t _{pi}	80	1,62	t _{pi}	80	1,55	t _{pi}	80	1,87
t _{pi}	90	1,93	t _{pi}	90	1,68	t _{pi}	90	1,87	t _{pi}	90	1,8	t _{pi}	90	2,05
t _{pi}	100	3,12	t _{pi}	100	2,43	t _{pi}	100	2,93	t _{pi}	100	3,68	t _{pi}	100	3,06

Tab. č. 11 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 5 - díl 4a

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,42		Ra		0,37		Ra		0,34		Ra		0,39		Ra		0,47	
% t _{pi}		Ra		% t _{pi}		Ra		% t _{pi}		Ra		% t _{pi}		Ra		% t _{pi}		Ra	
μm		0		μm		0		μm		0		μm		0		μm		0	
cut	0	0	1,33	0	0	0	1,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t _{pi}	50	50	1,33	50	1,18	50	1,26	50	1,26	50	1,26	50	1,18	50	1,18	50	1,38	50	1,38
t _{pi}	10	0,57		10	0,61			10	0,75			10	0,57			10	0,7		
t _{pi}	20	0,87		20	0,74			20	0,93			20	0,75			20	0,81		
t _{pi}	30	1,08		30	0,91			30	1,07			30	0,89			30	1,09		
t _{pi}	40	1,18		40	1,06			40	1,18			40	1,06			40	1,18		
t _{pi}	50	1,33		50	1,18			50	1,26			50	1,18			50	1,38		
t _{pi}	60	1,43		60	1,31			60	1,37			60	1,3			60	1,55		
t _{pi}	70	1,62		70	1,43			70	1,49			70	1,43			70	1,68		
t _{pi}	80	1,76		80	1,55			80	1,66			80	1,53			80	1,89		
t _{pi}	90	1,93		90	1,68			90	1,87			90	1,8			90	2,06		
t _{pi}	100	3,13		100	2,42			100	2,91			100	3,66			100	3,1		

Tab. č. 12 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 5 - díl 4b

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,18		Ra		0,17		Ra		0,15		Ra		0,16		Ra		0,18	
% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm	
cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	0	0	0	0
t _{pi}	50	0,81	0,5	t _{pi}	50	0,5	0,62	t _{pi}	50	0,62	0,62	t _{pi}	50	0,62	0,62	0,69	50	0,69	0,69
t _{pi}	10	0,56	0,25	t _{pi}	10	0,37	0,37	t _{pi}	10	0,37	0,37	t _{pi}	10	0,37	0,37	0,37	10	0,37	0,37
t _{pi}	20	0,62	0,31	t _{pi}	20	0,43	0,43	t _{pi}	20	0,43	0,43	t _{pi}	20	0,43	0,43	0,43	20	0,43	0,43
t _{pi}	30	0,68	0,37	t _{pi}	30	0,5	0,5	t _{pi}	30	0,5	0,5	t _{pi}	30	0,49	0,49	0,56	30	0,56	0,56
t _{pi}	40	0,81	0,43	t _{pi}	40	0,43	0,56	t _{pi}	40	0,56	0,56	t _{pi}	40	0,56	0,56	0,62	40	0,62	0,62
t _{pi}	50	0,81	0,5	t _{pi}	50	0,5	0,62	t _{pi}	50	0,62	0,62	t _{pi}	50	0,62	0,62	0,62	50	0,69	0,69
t _{pi}	60	0,87	0,55	t _{pi}	60	0,55	0,62	t _{pi}	60	0,62	0,62	t _{pi}	60	0,68	0,68	0,69	60	0,69	0,69
t _{pi}	70	0,93	0,55	t _{pi}	70	0,55	0,68	t _{pi}	70	0,68	0,68	t _{pi}	70	0,74	0,74	0,81	70	0,81	0,81
t _{pi}	80	0,99	0,68	t _{pi}	80	0,68	0,74	t _{pi}	80	0,74	0,74	t _{pi}	80	0,81	0,81	0,87	80	0,87	0,87
t _{pi}	90	1,12	0,8	t _{pi}	90	0,8	0,87	t _{pi}	90	0,87	0,87	t _{pi}	90	0,97	0,97	1	90	1	1
t _{pi}	100	1,69	1,68	t _{pi}	100	1,68	1,81	t _{pi}	100	1,81	1,81	t _{pi}	100	1,5	1,5	1,62	100	1,62	1,62

Tab. č. 13 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 6 - díl 4c

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,17		Ra		0,17		Ra		0,2		Ra		0,15		Ra		0,17	
% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm	
cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	0	0	0	0
t _{pi}	50	0,75	0,87	t _{pi}	50	0,87	0,69	t _{pi}	50	0,69	0,62	t _{pi}	50	0,87	0,74	0,62	0,56	50	0,62
t _{pi}	10	0,5	0,56	t _{pi}	10	0,37	0,43	t _{pi}	10	0,37	0,43	t _{pi}	10	0,62	0,68	0,62	0,68	10	0,31
t _{pi}	20	0,56	0,68	t _{pi}	20	0,43	0,56	t _{pi}	20	0,43	0,56	t _{pi}	20	0,68	0,74	0,62	0,68	20	0,43
t _{pi}	30	0,62	0,74	t _{pi}	30	0,56	0,62	t _{pi}	30	0,56	0,62	t _{pi}	30	0,74	0,81	0,62	0,68	30	0,49
t _{pi}	40	0,68	0,81	t _{pi}	40	0,62	0,69	t _{pi}	40	0,62	0,69	t _{pi}	40	0,81	0,87	0,62	0,68	40	0,56
t _{pi}	50	0,75	0,87	t _{pi}	50	0,69	0,74	t _{pi}	50	0,69	0,74	t _{pi}	50	0,87	0,87	0,62	0,68	50	0,62
t _{pi}	60	0,75	0,87	t _{pi}	60	0,74	0,81	t _{pi}	60	0,74	0,81	t _{pi}	60	0,87	0,93	0,62	0,68	60	0,68
t _{pi}	70	0,87	0,93	t _{pi}	70	0,81	0,87	t _{pi}	70	0,81	0,87	t _{pi}	70	0,93	0,99	0,62	0,68	70	0,74
t _{pi}	80	0,93	1,05	t _{pi}	80	0,87	0,99	t _{pi}	80	0,87	0,99	t _{pi}	80	0,99	1,12	0,62	0,68	80	0,81
t _{pi}	90	1,06	1,12	t _{pi}	90	0,99	1,12	t _{pi}	90	0,99	1,12	t _{pi}	90	1,12	1,22	0,62	0,68	90	0,93
t _{pi}	100	1,81	1,75	t _{pi}	100	1,93	1,93	t _{pi}	100	1,93	1,93	t _{pi}	100	1,62	1,62	0,62	0,68	100	1,5

Tab. č. 14 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 6 - díl 4d

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra							
Ra		0,15		Ra		0,16		Ra		0,17		Ra		0,19		Ra		0,18					
		% t _{pi}		Ra		μm				% t _{pi}		Ra		μm				% t _{pi}		Ra		μm	
cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	0	0	0	0
t _{pi}	50	50	0,62	t _{pi}	50	50	0,69	t _{pi}	50	50	0,69	t _{pi}	50	50	0,69	t _{pi}	50	50	0,75	t _{pi}	50	50	0,75
t _{pi}	10	10	0,37	t _{pi}	10	10	0,43	t _{pi}	10	10	0,43	t _{pi}	10	10	0,37	t _{pi}	10	10	0,43	t _{pi}	10	10	0,43
t _{pi}	20	20	0,43	t _{pi}	20	20	0,49	t _{pi}	20	20	0,5	t _{pi}	20	20	0,5	t _{pi}	20	20	0,56	t _{pi}	20	20	0,56
t _{pi}	30	30	0,49	t _{pi}	30	30	0,56	t _{pi}	30	30	0,56	t _{pi}	30	30	0,56	t _{pi}	30	30	0,62	t _{pi}	30	30	0,62
t _{pi}	40	40	0,56	t _{pi}	40	40	0,62	t _{pi}	40	40	0,62	t _{pi}	40	40	0,62	t _{pi}	40	40	0,68	t _{pi}	40	40	0,68
t _{pi}	50	50	0,62	t _{pi}	50	50	0,69	t _{pi}	50	50	0,69	t _{pi}	50	50	0,69	t _{pi}	50	50	0,75	t _{pi}	50	50	0,75
t _{pi}	60	60	0,62	t _{pi}	60	60	0,69	t _{pi}	60	60	0,69	t _{pi}	60	60	0,75	t _{pi}	60	60	0,75	t _{pi}	60	60	0,75
t _{pi}	70	70	0,68	t _{pi}	70	70	0,81	t _{pi}	70	70	0,75	t _{pi}	70	70	0,81	t _{pi}	70	70	0,87	t _{pi}	70	70	0,87
t _{pi}	80	80	0,74	t _{pi}	80	80	0,87	t _{pi}	80	80	0,87	t _{pi}	80	80	0,87	t _{pi}	80	80	0,93	t _{pi}	80	80	0,93
t _{pi}	90	90	0,87	t _{pi}	90	90	0,93	t _{pi}	90	90	0,93	t _{pi}	90	90	1,08	t _{pi}	90	90	1,06	t _{pi}	90	90	1,06
t _{pi}	100	100	1,31	t _{pi}	100	100	1,37	t _{pi}	100	100	1,5	t _{pi}	100	100	1,62	t _{pi}	100	100	1,62	t _{pi}	100	100	1,62

Tab. č. 15 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 6 - díl 4e

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra				
Ra		0,13		Ra		0,16		Ra		0,17		Ra		0,17		Ra		0,18		
% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		
cut	0	0	0,62	cut	0	0	0,62	cut	0	0	0,62	cut	0	0	0,75	cut	0	0	0	
t _{pi}	50	50	0,62	t _{pi}	50	0,62	0,62	t _{pi}	50	0,62	0,62	t _{pi}	50	0,75	0,75	t _{pi}	50	0,69	0,69	0,69
t _{pi}	10	0,37		t _{pi}	10	0,37		t _{pi}	10	0,31		t _{pi}	10	0,43		t _{pi}	10	0,37	0,37	0,37
t _{pi}	20	0,43		t _{pi}	20	0,43		t _{pi}	20	0,43		t _{pi}	20	0,56		t _{pi}	20	0,5	0,5	0,5
t _{pi}	30	0,49		t _{pi}	30	0,49		t _{pi}	30	0,49		t _{pi}	30	0,62		t _{pi}	30	0,56	0,56	0,56
t _{pi}	40	0,56		t _{pi}	40	0,56		t _{pi}	40	0,49		t _{pi}	40	0,68		t _{pi}	40	0,62	0,62	0,62
t _{pi}	50	0,62		t _{pi}	50	0,62		t _{pi}	50	0,62		t _{pi}	50	0,75		t _{pi}	50	0,69	0,69	0,69
t _{pi}	60	0,62		t _{pi}	60	0,62		t _{pi}	60	0,62		t _{pi}	60	0,75		t _{pi}	60	0,74	0,74	0,74
t _{pi}	70	0,68		t _{pi}	70	0,68		t _{pi}	70	0,68		t _{pi}	70	0,81		t _{pi}	70	0,81	0,81	0,81
t _{pi}	80	0,74		t _{pi}	80	0,74		t _{pi}	80	0,8		t _{pi}	80	0,87		t _{pi}	80	0,87	0,87	0,87
t _{pi}	90	0,87		t _{pi}	90	0,87		t _{pi}	90	0,87		t _{pi}	90	0,99		t _{pi}	90	0,99	0,99	0,99
t _{pi}	100	1,31		t _{pi}	100	1,56		t _{pi}	100	1,56		t _{pi}	100	1,87		t _{pi}	100	1,75	1,75	1,75

Tab. č. 16 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 6 - díl 4f

Měření č.1 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.2 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.3 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.4 - naměřené hodnoty Ra				Měření č.5 - naměřené hodnoty Ra			
Ra		0,13		Ra		0,15		Ra		0,14		Ra		0,14		Ra		0,16	
% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm		% t _{pi}		Ra μm	
cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0	cut	0	0	0
t _{pi}	50	0,62	0,62	t _{pi}	50	0,62	0,62	t _{pi}	50	0,56	0,56	t _{pi}	50	0,56	0,56	t _{pi}	50	0,62	0,62
t _{pi}	10	0,37	0,37	t _{pi}	10	0,37	0,37	t _{pi}	10	0,31	0,31	t _{pi}	10	0,31	0,31	t _{pi}	10	0,37	0,37
t _{pi}	20	0,43	0,43	t _{pi}	20	0,43	0,43	t _{pi}	20	0,37	0,37	t _{pi}	20	0,37	0,37	t _{pi}	20	0,43	0,43
t _{pi}	30	0,49	0,5	t _{pi}	30	0,5	0,5	t _{pi}	30	0,43	0,43	t _{pi}	30	0,43	0,43	t _{pi}	30	0,49	0,49
t _{pi}	40	0,56	0,56	t _{pi}	40	0,56	0,56	t _{pi}	40	0,49	0,49	t _{pi}	40	0,49	0,49	t _{pi}	40	0,56	0,56
t _{pi}	50	0,62	0,62	t _{pi}	50	0,62	0,62	t _{pi}	50	0,56	0,56	t _{pi}	50	0,56	0,56	t _{pi}	50	0,62	0,62
t _{pi}	60	0,62	0,62	t _{pi}	60	0,62	0,62	t _{pi}	60	0,56	0,56	t _{pi}	60	0,56	0,56	t _{pi}	60	0,68	0,68
t _{pi}	70	0,68	0,68	t _{pi}	70	0,68	0,68	t _{pi}	70	0,62	0,62	t _{pi}	70	0,62	0,62	t _{pi}	70	0,74	0,74
t _{pi}	80	0,74	0,74	t _{pi}	80	0,74	0,74	t _{pi}	80	0,68	0,68	t _{pi}	80	0,68	0,68	t _{pi}	80	0,81	0,81
t _{pi}	90	0,81	0,81	t _{pi}	90	0,87	0,87	t _{pi}	90	0,74	0,74	t _{pi}	90	0,74	0,74	t _{pi}	90	0,97	0,97
t _{pi}	100	1,31	1,31	t _{pi}	100	1,81	1,81	t _{pi}	100	1,19	1,19	t _{pi}	100	1,19	1,19	t _{pi}	100	1,5	1,5

Tab. č. 17 - Naměřené hodnoty Ra během experimentu č. 6 - díl 4g

Příloha 2

Kompletní soubor zaznamenaných hodnot času t během experimentu č. 6

Naměřené hodnoty času t	
Číslo dílu	t [min]
díl 4c	40,55
díl 4d	40,25
díl 4e	40,15
díl 4f	39,85
díl 4g	40

Tab. č. 1 - Naměřené hodnoty času t během experimentu č. 6