

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie
obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Optimalizace technologie výroby hliníkových optických stolů

Autor: Jakub ČERVENÝ
Vedoucí práce: Ing. Michal POVOLNÝ

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub ČERVENÝ**
Osobní číslo: **S19B0598P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**
Téma práce: **Optimalizace technologie výroby hliníkových optických stolů**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování

1. Úvod do problematiky, stanovení cíle
2. Představení společnosti
3. Návrh řešení technologického postupu
4. Experiment ověření
5. Rozbor a závěrečné zhodnocení

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Mádl, J. : Teorie obrábění. Praha, ČVUT 2002
- Sandvik Coromant : Technická příručka obrábění; 2005
- Sandvik Coromant : Příručka obrábění; 2011
- CIRP ANNALS – Manufacturing Technology: (<http://www.cirp.net/>)

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Povolný**
Katedra technologie obrábění

Konzultanti bakalářské práce: **Ing. Václava Pokorná**
Katedra technologie obrábění
Ing. Emil Černý
Streicher spol. s r.o.

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2021**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství:

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a podle pokynů vedoucího práce.

V Plzni dne:.....

Podpis autora:.....

Poděkování:

Děkuji tímto Ing. Michalu Povolnému za cenné rady, připomínky, aktivní zájem a veškerou pomoc při vypracovávání bakalářské práce. Dále pak Ing. Václavě Pokorné za pomoc s vizuální částí práce a strukturou. V neposlední řadě děkuji za spolupráci kolektivu pracovníků z firmy STREICHER, spol. s.r.o. Plzeň, jmenovitě Ing. Václavu Krchovi, Václavu Zvěřinovi a spol.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Červený	Jméno Jakub	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Povolný	Jméno Michal	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST – KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Optimalizace technologie výroby hliníkových optických stolů		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	60	TEXTOVÁ ČÁST	36	GRAFICKÁ ČÁST	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce se zabývá návrhem optimalizace výroby hliníkových optických stolů. Navržené varianty optimalizace jsou ověřeny experimentem, který je následně zhodnocen z kvalitativního a ekonomického hlediska. Výstupem práce je doporučení nové moderní technologie výroby.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Optický stůl, slitina hliníku, vrtání, závitování

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Červený	Name Jakub
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 Mechanical Engineering	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Povolný	Name Michal
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR
TITLE OF THE WORK	Delete when not applicable	
	Optimization of aluminum optical table production technology	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	60	TEXT PART	36	GRAPHICAL PART	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor's thesis deals with the optimization of the production of aluminium optical tables. Proposed optimization variants are verified by an experiment, which is then evaluated from a qualitative and economic point of view. The output of the work is a recommendation of a new modern production technology.
KEY WORDS	Optical table, aluminum alloy, drilling, threading

Obsah

1	Úvod do problematiky.....	5
1.2	Cíle práce.....	5
2	Představení společnosti	5
2.1	Profil firmy	5
2.2	Produkty.....	6
2.3	Projekt S-Cube.....	7
3	Rozbor současného stavu výroby optického stolu	9
3.1	Popis optického stolu a jeho uložení v komoře	9
3.2	Polotovary.....	10
4.	Problematika obrábění hliníku a jeho slitin.....	11
4.1	Vrtání.....	11
4.2	Tvorba závitů	12
4.3	Moderní nástroje.....	12
5	Rozbor současného stavu	14
5.1	Strojní vybavení výrobní haly	15
5.2	Aktuální řešení výroby	16
5.2.1	Použité nástroje:	17
5.3	Důvod návrhu řešení nového technologického postupu.....	18
6	Návrh řešení technologického postupu	19
6.1	Varianta 1	19
6.2	Varianta 2	19
7	Experiment ověření	22
7.1	Popis experimentu	22
7.1.1	Obrobení desek.....	22
7.1.2	Rozřezání na menší kusy vodním paprskem	29
7.1.3	Frézování středem díry	29
7.1.4	Měření na mikroskopu	29
7.1.5	Měření na drsnoměru/ profiloměru	29
8.	Technicko – ekonomické zhodnocení	30
8.1	Technické vyhodnocení.....	30
8.1.1	Opotřebení nástrojů	30
8.1.2	Kvalita závitů hodnocena mikroskopem	31
8.1.3	Kvalita závitů měřena na drsnoměru/ profiloměru.....	33
8.2	Ekonomické vyhodnocení	34
8.2.1	Analytický výpočet bodů zvratu	36
8.2.1	Grafické porovnání variant.....	37
9.	Závěr.....	40

Seznam značek, veličin, symbolů a zkratek

3D	trojdimenzionální
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
J	joule
kJ	kilojoule
Pa	pascal
MPa	megapascal
W	watt
kW	kilowatt
nm	nanometr
mm	milimetr
m	metr
cm ³	centimetr krychlový
kg	kilogram
g	gram
K	kelvin
s	sekunda
fs	fantosekunda
min	minuta
h/hod	hodina
ot	otáčky
°C	stupeň celsia
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
spol.	společnost
např.	například
ks	kusy
Kč	Koruny české
Max	maximální
č.	číslo
obr.	obrázek
HB	tvrdost podle Brinella
HSS	rychlořezné oceli
C	uhlík
Ti	titan
Sn	cín
Fe	železo
Cu	měď
Mn	mangan
Mg	hořčík
Cr	chrom
Zn	zinek
N	dusík
Al	hliník
RTI	regionální technologický institut
ZČU	Západočeská univerzita
°C	stupně Celsia
°	stupně

Seznam obrázků

Obr. 1 Sídlo strojní divize STREICHER [1].....	5
Obr. 2 Teleskop na hoře Cerro-Panche [2]	6
Obr. 3 Fúzní reaktor ITER F4E [2]	6
Obr. 4 Vakuový komponent urychlovače [2]	6
Obr. 5 Distribuční laserový systém v centru hilase [2]	6
Obr. 6 Komora S-Cube [2]	7
Obr. 7 Spojené jednotlivé varianty vakuových komor S-Cube do jednoho evakuovatelného systému [2]	7
Obr. 8 Ukázka Kompresoru Aton L4 [10]	8
Obr. 9 Příprava testování nejvýkonnějšího laseru na světě L4 Aton [2]	8
Obr. 10 Optický stůl pro čtvercovou komoru uložený na jemných závitech [3].....	9
Obr. 11 Příklad usazení optického stolu na rámu [3].....	9
Obr. 12 Konstrukční prvky vrtáku [4].....	11
Obr. 13 Rozdíl materiálu tvářeného a řezaného [5].....	12
Obr. 14 Detail na tvářený závit [5].....	12
Obr. 15 Řezací závitník[29].....	12
Obr. 16 Fréza na tvorbu závitů [6]	13
Obr. 17 Sdružený vrták [7]	14
Obr. 18 Taptor [8]	14
Obr. 19 Thriller závitorezná fréza [9]	14
Obr. 20 Stroj Soraluze FLP 12000 [25].....	15
Obr. 21 Stroj Soraluze SLP 8000 [27].....	15
Obr. 22 Stroj DMG MORI DMU 65 monoBlock [2].....	22
Obr.23 Upnutí testovací desky.....	23
Obr. 24 Výkres testovací deska.....	23
Obr. 25 Fotka vrtáku před obráběním.....	30
Obr. 26 Fotka vrtáku po obrábění.....	30
Obr. 27 Fotka závitníku před obráběním.....	30
Obr. 28 Fotka závitníku po obrábění.....	30
Obr. 29 Fotka zlomené závitorezné frézy.....	31
Obr. 30 Fotka zničené závitorezné frézy.....	31
Obr. 31 Snímek tří závitů z mikroskopu	32
Obr. 32 Snímek závitu z mikroskopu.....	32
Obr. 33 Zařízení HOMMELETAMIC-T8000 (1)	33
Obr. 34 Zařízení HOMMELETAMIC-T8000 (2)	33
Obr. 35 Protokol ze zařízení HOMMELETAMIC-T8000.....	33
Obr. 36 Graf Výrobních nákladů pro hodinovou sazbu stroje 1500,- Kč/hod.....	37
Obr. 37 Body zvratu pro sazbu stroje 1500,- Kč/hod.....	37
Obr. 38 Bod zvratu pro sazbu stroje 1500,- Kč/hod.....	37
Obr. 39 Graf Výrobních nákladů pro hodinovou sazbu stroje 2000,- Kč/hod.....	38
Obr. 40 Body zvratu pro sazbu stroje 2000,- Kč/hod.....	38
Obr. 41. Bod zvratu pro sazbu stroje 2000,- Kč/hod.....	38
Obr. 42 Bod zvratu pro sazbu stroje 1500,- Kč/hod.....	38
Obr. 43 Bod zvratu pro sazbu stroje 2000,- Kč/hod.....	38

Seznam tabulek

Tabulka 1 Vlastnosti hliníku [19].....	10
Tabulka 2 Chemické složení materiálu hliníku EN AW 5083 [20]	10
Tabulka 3 Technické parametry [2]	15
Tabulka 4 Technické parametry [13]	15
Tabulka 5 Aktuální řešení výroby [28–30]	16
Tabulka 6 Parametry původního vrtáku Walter [30]	17
Tabulka 7 Parametry záhlubníku [28].....	17
Tabulka 8 Parametry závitníku Emuge [29].....	18
Tabulka 9 Parametry sdruženého vrtáku Walter [7]	20
Tabulka 10 Parametry závitníku Walter [31]	20
Tabulka 11 Parametry závitořezné frézy [9]	21
Tabulka 12 Popis navrhovaných variant	21
Tabulka 13 Technické parametry stroje [32]	22
Tabulka 14 Varianta 1A [31, 33]	24
Tabulka 15 Varianta 1B [7, 29].....	25
Tabulka 16 Varianta 1C [9].....	26
Tabulka 17 Varianta 2A [31, 33]	27
Tabulka 18 Varianta 2B [29, 33].....	28
Tabulka 19 Přehled časů výroby	29
Tabulka 20 Přehled nákladů výroby.....	35
Tabulka 21 Přehled nákladů výroby na jednu díru.....	35
Tabulka 22 Přehled bodů zvrátů jednotlivých variant.....	36

Seznam rovnic

Rovnice 1 Výpočet ceny výroby [34]	36
Rovnice 2 Vzorový výpočet bodu zvrátu variant 1Ax2A [34]	36

Seznam příloh

- Příloha č.1 - Výsledky pozorování mikroskopem KEYENCE VHX-6000
- Příloha č.2 - Výsledky měření drsnoměrem/ profiloměrem Hommel Etamic T8000
- Příloha č.3 - Výkres testovacího kusu

1 Úvod do problematiky

V dnešní době se požadavky na výrobu zvyšují velice rychlým tempem. Jedná se především o kvalitu, kvantitu a přesnost za neustálého korigování ekonomickým faktorem. K tomuto nárůstu požadavků dochází z důvodu technologického rozvoje, který přináší nové inovativní způsoby výroby. Současný trend digitalizace s označením průmysl 4.0 přináší nové výzvy pro výrobní praxi. Jde zejména o automatizaci výroby a s tím související konstrukci strojů, nástrojů a návrh moderních výrobních metod.

Některá odvětví strojího průmyslu jsou tímto trendem zasažena více a některá méně. Vše závisí na sortimentu výroby a možných finálních výsledcích. Odvětví výroby vakuových zařízení, do kterého spadá téma této bakalářské práce, patří mezi tu oblast, která musí pružně reagovat na požadavky zákazníka. Jedná se především o navýšení požadavků na přesnost, kvalitu a ekonomičnost výroby.

Zvolené téma této bakalářské práce je výroba hliníkových optických stolů, které budou využívány ve vakuových komorách. Toto použití s sebou nese řadu technologických úkolů, a tudíž i požadavků na výrobu. Tato práce se zaměří na vhodnou volbu nástrojů pro technologii tvorby děr a závitů s ohledem na prostředky a vybavení firmy STREICHER, spol. s.r.o. Plzeň, pro kterou bude práce sloužit jako řešerše k nově zavedené výrobě.

1.2 Cíle práce

Cílem bakalářské práce je: Na základě zvolených kritérií kvality optimalizovat vybrané technologické operace volbou vhodného nástroje a nastavením doporučených rezných podmínek.

2 Představení společnosti

2.1 Profil firmy

Roku 1909 stavitel Max Streicher založil podnik STREICHER, který se soustředil především na stavbu cest. Dnes je STREICHER nadnárodní společností, která se zaměřuje na potrubí a jeho poklad, strojní inženýrství, civilní a stavební inženýrství, nebo sektor surovin a stavebních materiálů a zaměstnává více než 3 500 lidí na přibližně 30 místech po světě. [10]

Po 82 letech od založení podniku STREICHER roku 1991 byla založena dceřiná společnost STREICHER, spol. s.r.o. Plzeň, se stavebním zaměřením, která následovně v roce 1994 postavila novou halu ve Štěnovicích, která se soustředila čistě na odvětví strojírenství. K dnešnímu datu stojí již 4 haly zaměřené na strojírenství, které se nadále rozvíjejí a expandují. Nejnovější přístavbou jsou čisté prostory. Za více než 25 let firma STREICHER, spol. s.r.o. Plzeň vzrostla z malé firmy o 15 zaměstnancích na firmu s více než 260 zaměstnanci. [1]



Obr. 2 Sídlo strojní divize STREICHER [2]

2.2 Produkty

Hlavním oborem podnikání strojírenské divize je výroba vakuových zařízení a jejich komponent pro chemický, farmaceutický, potravinářský a polovodičový průmysl, povlakování ve vakuu, vakuovou metalurgii, tepelné zpracování ve vakuu, vědu a výzkum. Pro upřesnění jsou zde uvedeny významné projekty, na kterých se firma podílela. [11]

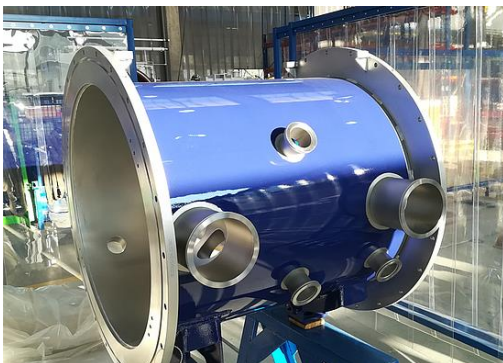
- Firma Streicher dodala speciální vakuové skříně pro povlakovací zařízení, které povlakovalo zrcadla teleskopu na hoře Cerro-Panche v severní Čile. Tento teleskop byl sestaven pro objasnění otázek ohledně struktury a vývoje vesmíru .[2]
- Dalším referenčním projektem je výroba testovacího zařízení pro vnitřní komponenty termojaderného fúzního reaktoru ITER F4E .[12]
- Firma STREICHER dodává vakuové komory a komponenty urychlovače pro Spojený ústav jaderného výzkumu, který je mezinárodní organizací sídlící v Dubně u Moskvy. [13]
- Výroba distribučního systému pro rozvod laseru po Laserovém centru Hilase v Dolních Březanech. [14]



Obr. 2 Teleskop na hoře Cerro-Panche [4]



Obr. 3 Fúzní reaktor ITER F4E [5]



Obr. 4 Vakuový komponent urychlovače [6]



Obr. 5 Distribuční laserový systém v centru hilase [7]

Další významnou zakázkou je projekt S-Cube, který bude představen v následující kapitole.

2.3 Projekt S-Cube

S-cube je projekt, který je zaměřený na konstrukci vakuových komor. Slouží k vylepšení a usnadnění dosavadního užívání vakuových komor. Hlavní premisou tohoto projektu je tvorba komor na míru s obrovskou možností modularizace. Jednotlivé komory, které mohou být různých tvarů a velikostí jsou vzájemně kompatibilní a dají se spojovat se zaručením evakuovatelnosti a udržení vakua. (viz obr. 8) Díky tomuto aspektu bude možnost finální evakuovatelný komplex komor z několika částí přestavovat dle potřeby zákazníka. Zamezí se tím nutnosti výroby nové jednotlivé komory s jinými tvarovými parametry, než měla původní.



Obr. 6 Komora S-Cube [8]

Modularizace těchto komor neumožňuje pouze jejich skládání do větších komplexů, ale také velkou variabilitu úprav každé stěny. Všechny stěny je možno měnit dle vlastní potřeby na dveře, stěny s výřezy, úchyty, přírubami, zvedacími okny či jinými prvky. Případně mohou být stěny od rámu odmontovány a komora připojena k další komoře s ní rozměrově kompatibilní. [3]

Základní funkcí optických stolů v komoře je ukotvení jednotlivých přístrojů. Z této skutečnosti vyplývají kvalitativní požadavky na výrobu. Některé z těchto požadavků budou předmětem měření a vyhodnocení v rámci vypracování této bakalářské práce. Následně bude proveden výběr vhodných nástrojů. Jedná se o vakuové komory, proto je potřeba počítat i s aspekty, které jsou s vakuem spojeny.



Obr. 7 Spojené jednotlivé varianty vakuových komor S-Cube do jednoho evakuovatelného systému [8]

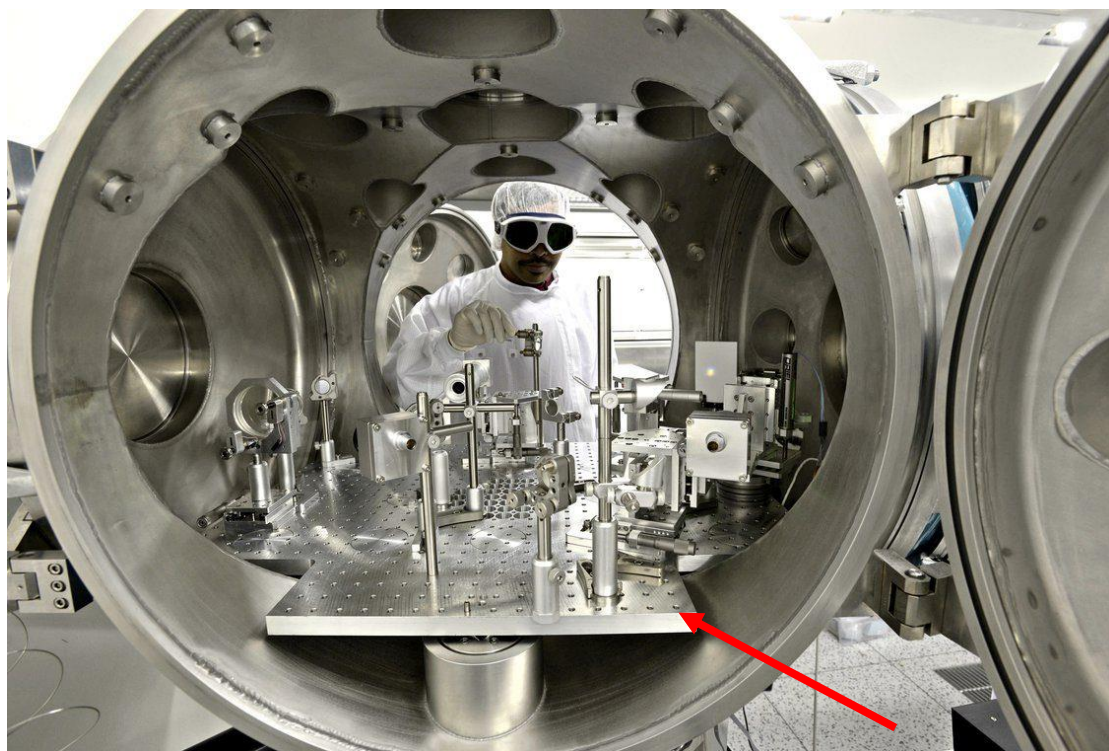
Jedním z předpokládaných využití celé komory S-cube a tedy i optického stolu, který je v ní uložený, jsou výzkumné práce. Z toho důvodu musí celá komora splňovat patřičné nároky. Důležitým aspektem je přesnost výroby zaměřená především na drsnost ploch a kvalitu závitů. Jednou z možností využití komory je řešení experimentů zaměřených na laserovou technologii.

Takovým příkladem je výzkumné centrum Eli beamlines, pro které firma STREICHER vakuové komory již vyráběla. Konkrétně Laser 4 Aton kompresor L4. (obr 10)

Laserový systém L4 Aton generuje extrémně vysoký výkon 10 petawatů s délkou trvání pulzů 130 fs. Nekomprimovaná energie dosahuje hodnot téměř 2 kJ s minutovou frekvencí výstřelů. Právě velikost frekvence opakování laserových pulzů je velkým průlomem. V dnešní době je obecně laserová technologie na vzestupu. [15–17]



Obr. 8 Ukázka Kompresoru Aton L4 [10]



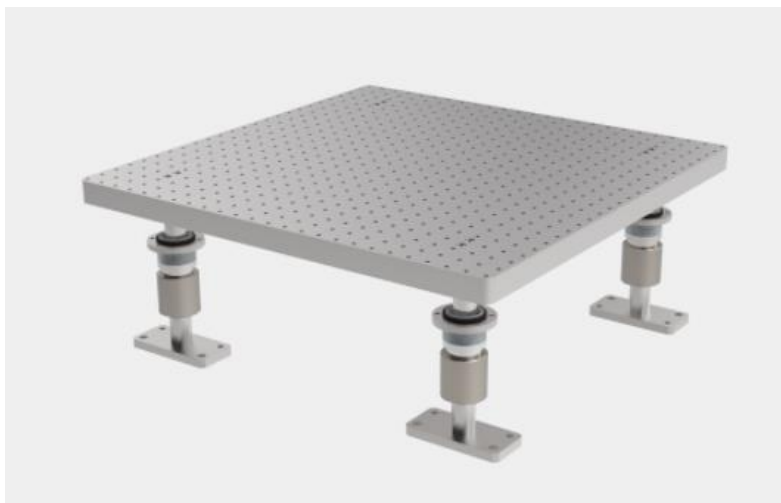
Obr. 9 Příprava testování nejvýkonnějšího laseru na světě L4 Aton [11]

Červenou šipkou je ukázáno na breadboard, který byl v Kompresoru Aton L4 použit pro uchycení optických zařízení pro přenos laseru.

3 Rozbor současného stavu výroby optického stolu

Tato kapitola se bude zabývat technickými a výrobními specifikacemi optického stolu. Bude vycházet z výchozích informací výroby firmy, kterými jsou zejména konstrukční prvky, polotovary a materiál.

3.1 Popis optického stolu a jeho uložení v komoře



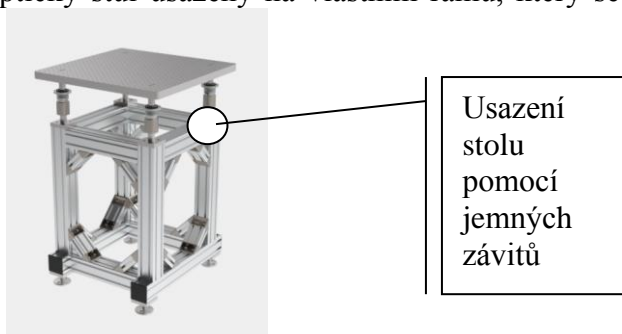
Obr. 10 Optický stůl pro čtvercovou komoru uložený na jemných závitech [3]

Optické stoly jsou různých tvarů a velikostí. Slouží jako nosná deska pro nejrůznější přístroje a zařízení. Ukotvení těchto přístrojů je pomocí šroubového spojení. Závětů je velké množství a jsou rovnoměrně rozloženy v celé ploše stolu. Díky tomuto rozložení je možnost různých variant ukotvení.

Požadovanými vlastnostmi optických stolů je jejich nosnost, rovinnost, drsnost, kvalita závětů a tlumení vibrací. Hodnoty těchto parametrů závisí na individuálním využití jednotlivých stolů. Pro dosažení požadovaných výsledků jsou vyráběny specifickými technologiemi z různých materiálů s rozdílnými úložnými konstrukcemi.

Na optické stoly pro vakuové komory jsou kladeny další specifické nároky, vzhledem k jejich využití. Týká se to především požadavku odplynění materiálu. Tím je myšleno uvolňování částic do prostoru vakua. Při tvorbě vakua je snaha o co nejmenší počet částic určité velikosti, obsaženém v určitém objemu. Odplynováním dochází k degradaci hodnoty vakua, vzhledem k přibývání částic v prostoru komory.

Pro správný průběh experimentů a pokusů je nutná kalibrace nejen přístrojů, ale i optického stolu, který se v komoře nachází. Z tohoto důvodu je optický stůl usazený na jemných závitech, které umožňují dorovnaní nerovností a zajištění polohy. Dalším aspektem nastavení co možná nejlepších podmínek pro správnou funkci je odizolování podpěrné soustavy stolu, tak aby se nedotýkala zbytku komory, a tudíž na ní nepůsobily vibrace zvenčí. Z toho důvodu je optický stůl usazený na vlastním rámu, který se s rámem komory nedotýká. (obr. 7) [3]



Obr. 11 Příklad usazení optického stolu na rámu [8]

3.2 Polotovary

Polotovary pro výrobu optického stolu jsou lité frézované desky slitiny hliníku EN AW 5083 libovolných tloušťek a velikostí. Polotovar je primárně využíván v takovém stavu, v jakém se nakoupí, bez potřeby úpravy povrchu. Dodavatel zaručuje rovinnost do dvou desetin milimetru.

Hliník je třetí nejrozšířenější prvek na Zemi a nejpoužívanější neželezný kov. Ve strojírenství se nepoužívá v čisté formě, nýbrž ve formě slitin. Slitiny se využívají pro své technologické, fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti. Široké spektrum vlastností se uplatňuje s ohledem na použití. V přírodě se hliník nachází v podobě minerálů, například korund, diaspor, boehmit, spinel a další. Nejčastější horninou pro získávání hliníku je bauxit. Z té se hliník vyrábí elektrolýzou případně karbotermickou redukcí, nebo jinými trendy. Největší předností hliníku je jeho nízká měrná hmotnost při zachování poměrně dobré pevnosti a tvrdosti. Díky tomu je hliník hojně využíván v leteckém a automobilovém průmyslu. Pro konstrukční účely je důležitá teplotní roztažnost. [18, 19]

Tabulka 1 Vlastnosti hliníku[19]

Vlastnosti	Hodnoty
Atomová hmotnost	26,98154
Mřížka	K12 (kubická plošně centrovaná)
Parametry mřížky	A = 0,404958 nm
Hustota	$\rho = 2,6989 \text{ g/cm}^3$ (při 20 °C)
Teplota tavení	660,4 °C
Měrná tepelná kapacita	C = 880 J/kd*K (při 20 °C)
Tepelná vodivost	247 W/m (při 25 °C)
Latentní teplo tavení	397 kJ/kg

Hliník a jeho slitiny se používají především v oblasti nízkého a vysokého vakua, obvykle jako slitina, ve zvláštních případech jako čistý hliník. Při výrobě materiálu je třeba uvažovat smrštění a pórovitost. Tlak par hliníku je nízký a při teplotách tání 660 °C je pouze 6-10 hPa. Hliník není magnetizovatelný. [19]

Běžné použití hliníku:

- Stavba lodí
- Karoserie vozidel
- Tlakové nádoby

Materiál EN AW-5083

Materiál slitiny hliníku EN AW-5083 AlMg4.5Mn0.7 je přirozeně tvrdý, nevytvrditelný, chemicky stálý, tvářitelný, eloxovatelný a lešitelný. Zachovává si pevnost po svařování.

Tabulka 2 Chemické složení materiálu hliníku EN AW 5083 [20]

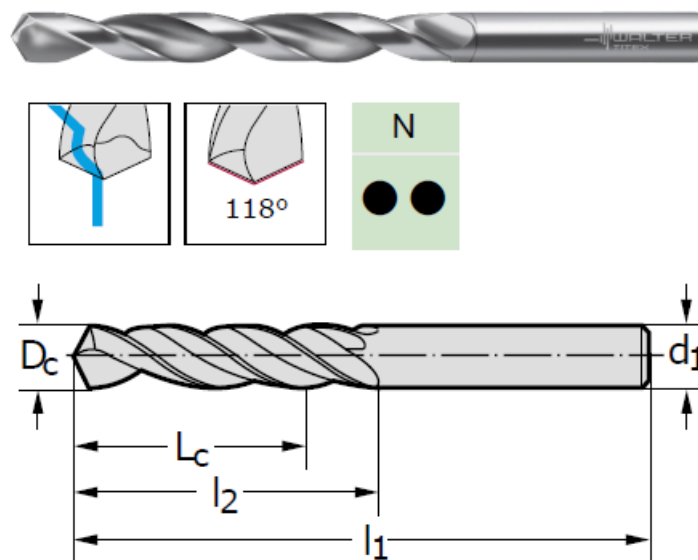
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Jiné
0,40	0,40	0,10	0,4-0,1	4,0-4,9	0,05-0,25	0,25	0,35

Jakožto slitina hořčíku má zvýšenou odolnost vůči korozi, z toho důvodu je dobře odolný slané vodě. Vyznačuje se nejvyšší pevností tepelně zpracovaných slitin, ale není doporučován pro použití při teplotách nad 65 °C. Je velmi dobře svařitelný. Dobře obrobitelný. Se střední pevností v tahu 280 MPa a tvrdostí 75HB. [20]

4. Problematika obrábění hliníku a jeho slitin

4.1 Vrtání

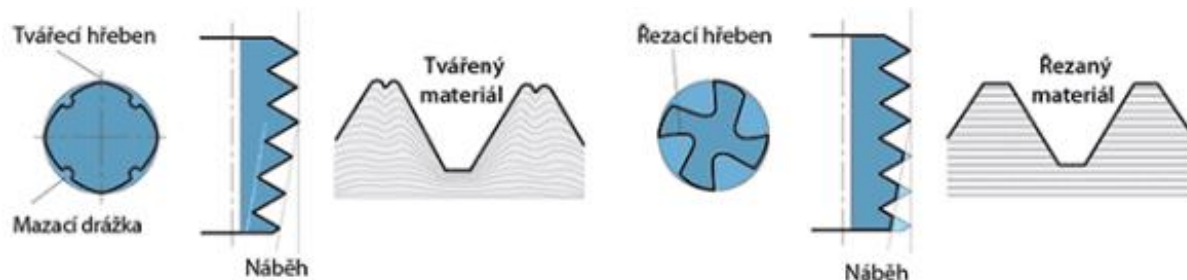
Při vrtání hliníku nastávají problémy s třískou a jejím odvodem. Vznikají také otřepy a stejně jako u frézování dochází z důvodu adheze ke špatné životnosti nástroje. Prevencí těchto vad je správná volba rychlostí. Pro odstranění problémů s třískou je využíváno vysokých rezných rychlostí a nízkých rychlostí posuvu. Pokud jsou vrtány hluboké otvory, je nutné využít speciálních nástrojů, povlaků a maziv, neboť samotná úprava rezných rychlostí neřeší problém s dlouhou tlustou třískou, která uchovává velké množství tepla a taví se, případně se namotává na nástroj a tvoří sekundární problémy, jako je poškrábání materiálu okolo či uvnitř otvoru. Životnost nástroje díky dnešním možnostem povlakovaných nástrojů nebývá problém. Využívá se různých tipů povlaků, podle požadovaných finálních vlastností nástroje. Jedním z velmi vhodných povlaků pro obrábění hliníku je např. polykrystalický diamant. Dalšími klíčovými aspekty pro vrtání hliníku vyjma geometrie nástroje a přísad do chladicích kapalin je ostrost, správné využití chladicí kapaliny a správná konstrukce nástroje. Vzhledem k měkkosti hliníku není nutná vysoká pevnost hran nástroje. Využitím ostřejších břitů dochází k lepšímu řezání, což vede ke kvalitnějšímu obrábění. U chladicích kapalin není rozhodující jen správná volba, ale i správné nastavení a přivedení do řezu. Kapalina má nejen chladicí a mazací účinek, ale především správně odvádí, případně láme třísku. Co se konstrukce nástroje týče. Nástroje na vrtání do hliníkových materiálů disponují širší drážkou a vyšší spirálou. Důvodem je opět měkká tříska. Tyto konstrukční prvky slouží k jejímu lepšímu odvedení z řezu. [4, 21, 22]



Obr. 12 Konstrukční prvky vrtáku [21]

4.2 Tvorba závitů

Pro běžnou tvorbu závitů do hliníku jsou doporučovány tvářecí závitníky. Díky tváření dochází ke zpevnění závitu a zvýšení mezi únavy. Zvyšuje se odolnost proti otěru a nepřerušují se vlákna materiálu. **Ovšem pro vakuovou techniku, je tento způsob výroby závitů nevhodný.** Hlavním problémem je kavitace, jak je vidět na obrázku č. 15. Při tváření závitu dochází ke kavitaci na vnitřním průměru závitu. Pro běžnou funkci závitu tyto vady povrchu nemají význam. Ve vakuové technice ovšem opět přináší problém s odplyněním obrobku. V kavitách je zachyceno spousta mikročástic, které se uvolňují a degradují hodnotu vakua. [5]

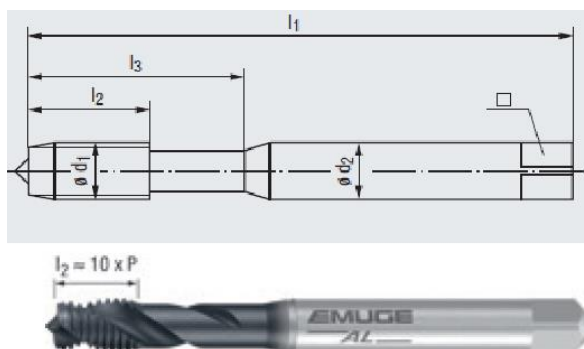


Obr. 13 Rozdíl materiálu tvářeného a řezaného [22]



Obr. 14 Detail na tvářený závit [22]

Z tohoto důvodu budou využívány řezací strojové závitníky. Pro obrábění hliníku bývají tyto vícebřité nástroje, stejně jako u technologie vrtání povlakovány tenkými vrstvami. Vzhledem k houževnatosti materiálu je využíváno pozitivní geometrie. Podobně jako u vrtání i u závitování nastává problém s třískou. Pro neprůchozí závity se závitníky vyznačují drážkou stáčeující se ve směru otáčení, pro dobrý odvod třísky a zamezení jejímu zaklínění při zpětném otáčení u vyjíždění závitníku. Pro obrábění hliníku je kladen velký důraz na správný odvod gumovité třísky a její lámání, aby nedošlo k namotání a poškození povrchu. Dalším negativním efektem, který může nastat, je ucpání závitníku třískou, poškození závitu a selhání nástroje. Volba vhodného závitníku je klíčovým aspektem pro tvorbu závitů. Dalším velmi podstatným aspektem je stroj, který bude operaci vykonávat. Všechny tyto aspekty je podstatné před volbou závitování do hliníku a jeho slitin vzít v potaz a vybrat vhodný nástroj. [21, 23, 24]



Obr. 15 Řezací závitník [29]

4.3 Moderní nástroje

Moderní nástroje slouží pro zlepšení, nebo umožnění výroby speciálními metodami. Také mohou sdružovat operace, čímž sníží čas a zvýší efektivitu výroby. Následují nástroje a metody, které se řadí k moderním technologiím obrábění hliníku a byly by potencionálními možnostmi pro výrobu optických stolů. [25]

Frézování závitů

Jednou z možných variant výroby je závit frézovat místo řezání závitníkem. Fréza při této metodě má menší průměr, než je průměr díry a vykonává okružný pohyb. Po ukončení kruhu se posune hlouběji do obrobku a pohyb opakuje. [6]

Sdružený/stupňovitý vrták

Sdružené/ stupňovité nástroje sdružují více operací do jednoho procesu. U sdruženého vrtáku dochází k vyvrtání díry a zároveň i sražení hrany, případně započítí vrtání většího průměru. Vrták se skládá ze dvou průměrů, mezi kterými je zkosení, které umožňuje zahloubení díry, anebo plynulý přechod vrtání, mezi dvěma průměry. Obr. 17. [7]

Taptor

Vrtací nástroj Taptor spojuje operaci vrtání a závitování. Za ostřím pro vrtání následuje závitovací zub, který současně při vrtání díry řeže závit. Obr. 18 [8]

Sdružený nástroj Thriller

Řezný nástroj Thriller kombinuje 3 technologické operace na jednom nástroji, dochází k vrtání díry, řezání závitů a sražení hrany. Obr. 19 [9]

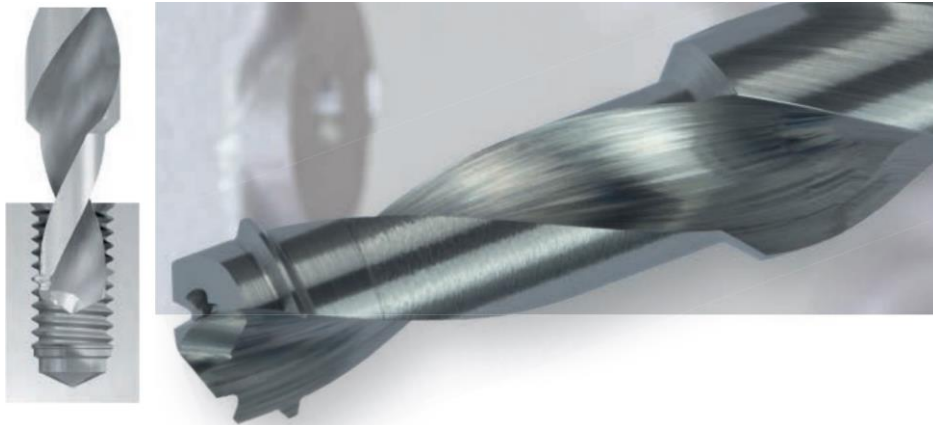
Tento přehled slouží jakožto nastínění možných variant úpravy technologie. Limitaci výběru představuje především velikost otáček a tolerance strojů, kterými firma disponuje (viz. 5.1). Tyto limitace vznikají z důvodu předurčení strojů na obrábění velkých obrobků.



Obr. 16 Fréza na tvorbu závitů [22]



Obr. 17 Sdružený vrták [23]



Obr. 18 Taptor [25]



Obr. 19 Thriller závitořezná fréza [8]

5 Rozbor současného stavu

5.1 Strojní vybavení výrobní haly

S ohledem na specifikaci produktu, kterým jsou vakuové komory, jejich rozměry a způsob výroby firma disponuje širokým portfoliem výrobních strojů a zařízení. Jedná se zejména o obráběcí stroje umožňující obrábění rotačních a rovinných ploch.

Zadané téma této bakalářské práce je zaměřené na vybrané operace, kterými je vrtání děr a výroba závitů.

Tyto operace se ve firmě budou provádět na následujících obráběcích strojích:

1) FL 12000

Jedná se o Horizontální obráběcí centrum. [26]

Tabulka 3 Technické parametry [2]

Vlastnosti	FLP 12000
Posun v ose X	12 000 mm
Posun v ose Y	1 800 mm
Posun v ose Z	1 300 mm
Hlava	Univerzální
Výkon vřetena	43 kW
Rychlost vřetena	5 000 ot/min
Rychlý posuv	35 000 mm/min
CNC systém	Siemens 840 D SL
Počet míst zásobníku nástrojů	40 ks
Váha stroje	24 000 kg



Obr. 20 Stroj Soraluce FL 12000 [26]

2) Soraluce SLP 8000

Jedná se o frézku s pevným stolem. [27]

Při výrobě bude využit otočný stůl.

Tabulka 4 Technické parametry [13]

Vlastnosti	SLP 8000
Posun v ose X	6 500 mm
Posun v ose Y	1 800 mm
Posun v ose Z	1 500 mm
Délka stolu	8 000 mm
Šířka stolu	1 350 mm
T sloty	6 x 22H12 + 1 x 22H7
Únosnost stolu	16 000 kg
Hlava	Univerzální
Výkon vřetena	43 kW
Rychlost vřetena	5 000 ot/min
Rychlý posuv	35 000 mm/min
CNC systém	Siemens 840 D SL
Počet míst zásobníku nástrojů	60 ks
Váha stroje	28 800 kg



Obr. 21 Stroj Soraluce SLP 8000 [27]

5.2 Aktuální řešení výroby

Výroba optických stolů zahrnuje více konstrukčních prvků než pouze velké množství děr se závity. Těmito prvky jsou například frézované drážky s dírami se závitem pro ukotvení stolu k balančnímu podstavci. Vzhledem k zaměření této práce, kterým je výroba děr a závitů ze svrchní strany stolu, které slouží pro přišroubování nástrojů a zařízení, bude aktuální koncept návrhu výroby zúžen na výrobu díry se závitem M6 do hloubky 15 mm.

Aktuálním návrhem výroby optických stolů je rozdělení jednotlivých technologických operací mezi specializované nástroje pro každou z nich. Postup výroby odpovídá posloupnosti operací v následující tabulce.


Tabulka 5 Aktuální řešení výroby [28–30]

Název: Aktuální řešení výroby		Materiál obrobku: EN AW 5083	Číslo testu: 0
		Chlazení: Vnitřní 40 [Barů]	Typ díry: Slepá
Druh stroje: Soraluce SLP 8000		Chladič médium: Henkel Bonderite L-MR 21715B	Množství děr: 2 304
VÝROBNÍ OPERACE:	Vrtání Ø5	Zahloubení	Závitování M6
NÁSTROJ:	DC150-05-05.000A1-WJ30RE	Záhlubník kuželový 90° HSSE (745500)	Enorm1-AL-GLT-8 M6
UPÍNAČ:	Hydroupínač HSKA 63	Kleština ER16 L100	Hydroupínač HSKA 63
Popis operace:	Vrtat do hloubky 18.3 mm	Sražení hrany do hloubky 1 mm	Řezání závitů do hloubky 15 mm
Počet břitů:	2	3	2
Vc [m.min⁻¹]	55	55	9,4
n [min⁻¹]	3 500	3 500	500
f [mm/ot]	0,11	0,14	1
Vf [mm.min⁻¹]	400	500	500
Vf zpět [mm.min⁻¹]	Max.	Max.	500
Čas výroby [h:min:s]	3:44:06	2:03:00	4:30:36
Celkový čas výroby: [h:min:s]	10:17:42		

5.2.1 Použité nástroje:

Následuje přehled nástrojů navržených pro aktuální výrobu.

Tabulka 6 Parametry původního vrtáku Walter [30]

Druh nástroje: Vrták	
Označení nástroje: DC150-05-05.000A1- WJ30RE	
Výrobce: Walter tools	
Cena nástroje: 869,- [Kč]	
Počet břitů:	2
Materiál nástroje:	H – slinutý karbid
Povrchová úprava:	TiNAl
Průměr:	5 mm
Délka celková:	85 mm
Délka řezné části:	35 mm
Úhel špičky:	140°
Druh chlazení:	vnitřní
Smysl otáčení:	pravotočivá
Úhel drážky:	30°

Tabulka 7 Parametry záhlubníku [28]

Druh nástroje: Záhlubník	
Označení nástroje: Záhlubník kuželový 90° HSSE (745500)	
Výrobce: Bučovice Tools	
Cena nástroje: 200,- [Kč]	
Počet břitů:	3
Materiál nástroje:	HSS
Průměr maximální:	50 mm
Průměr minimální:	12 mm
Délka celková:	85 mm
Délka řezné části:	35 mm
Úhel špičky:	90°

Tabulka 8 Parametry závitníku Emuge [29]

Druh nástroje: Závitník	
Označení nástroje: Enorm 1-AL-GLT-1	
Výrobce: Emuge Franken	
Cena nástroje: 1 681,- [Kč]	
Počet břitů:	2
Materiál nástroje:	HSSE
Povrchová úprava:	GLT-8
Průměr:	6 mm
Délka celková:	80 mm
Délka řezné části:	10 mm
Stoupání:	1 mm
Druh chlazení:	žádné
Smysl otáčení:	pravotočivá

5.3 Důvod návrhu řešení nového technologického postupu

Vzhledem k vývoji strojního průmyslu se nabízí lepší možnosti výroby nežli využívání velkého množství jednoúčelových nástrojů, jak bylo nastíněno v kapitole 4.3 Moderní nástroje. Vylepšením je především kombinace technologických operací, prováděných pouze jedním víceúčelovým nástrojem. Tento aspekt výroby přináší velké zkrácení samotného procesu obrábění, a to nejen v samotném čase, kdy je nástroj v kontaktu s obrobkem, ale především v čase přejezdů a jiných vedlejších časů, které markantně ovlivní celkovou dobu obrábění. Mezi tyto časy je nutno uvažovat i časy seřizování a výměny nástrojů.

Pokud je výrobní proces technologicky natolik vyspělý, že vedlejší časy nelze více ovlivnit, přichází potřeba zaměřit se na zkrácení časů hlavních, při kterých dochází ke kontaktu nástroje s obrobkem. Prvotní úpravou je volba stroje, který dovoluje lepší výrobní podmínky. V případě řešeném touto bakalářskou prací nastává problém s využitím strojů s nízkými otáčkami vřetene. Tento nedostatek je dán technickými parametry strojů, které jsou konstruované na obrábění velkých obrobků. Z tohoto důvodu bude zvažována možnost doplnění strojního vybavení o urychlovací hlavu, která dovolí otáčky vřetene více než zdvojnásobit. Následuje kapitola zaměřená právě na tyto možnosti pro změnu výroby, které by měly vést k velkému ekonomicky příznivému snížení nákladů na výrobu optických stolů.

6 Návrh řešení technologického postupu

Aktuální technologie výroby disponuje prostorem pro zlepšení. Hlavním tématem návrhu bude sloučení několika výrobních operací do jednoho kroku. Toho bude docíleno navržením použití sdružených nástrojů. Současně bude navrženo použití urychlovací hlavy, která by měla sloužit k vyšší produktivitě výroby. Také bude navržena kombinace těchto možností.

6.1 Varianta 1

První variantou pro zlepšení a optimalizaci výroby je navržení sdružených nástrojů. Těmito nástroji je sdružený vrták, který spojuje operaci vrtání a zahloubení, a závitořezná fréza, která k těmto operacím přidává i operaci závitování. Pokud tedy dojde k použití těchto nástrojů, přinese využití sdruženého vrtáku snížení počtu potřebných nástrojů o jeden a fréza o dva. Nižší počet nástrojů s sebou přinese velice podstatné snížení časů výroby, které znamená ekonomické zvýhodnění a vyšší možnou produktivitu výroby. Snížení časů výroby je způsobeno odstraněním časů na výměnu nástroje, snížením časů přejezdů mezi jednotlivými dírami, dále pak ke zkrácení vedlejších časů, spojených se seřizením a údržbou nástrojů a časů samotného obrábění. Obecně tedy nedochází ke snížení fixních nákladů, neboť modernější nástroje bývají dražší a konstrukčně složitější, vede to ovšem ke snížení nákladů variabilních, které jsou specifikované jako náklady na výrobu jednoho kusu. Na základě této změny dochází ke zvýhodnění především u takové výroby, kde je výrobků co největší počet. V případně řešeném touto bakalářskou prací již samotná konstrukce optického stolu přináší ekonomickou výhodnost při využití sdružených nástrojů s narůstajícím počtem samotných děr v produktu.

6.2 Varianta 2


Druhou variantou je využití stejných sdružených nástrojů, jaké budou použity ve variantě 1 s přidáním urychlovací hlavy. Urychlovací hlava je strojní vybavení, které umožňuje navýšit maximální otáčky vřetene stroje. Toto navýšení vede ke zlepšení produktivity obrábění. Zároveň by mělo přinášet zkvalitnění výroby, neboť při obrábění hliníkových slitin jsou doporučovány vyšší otáčky. Zvýšená produktivita znamená urychlení výroby, a tedy i ekonomické zvýhodnění. V případě řešeném touto prací půjde o předpokládané navýšení z 5 000 ot/min na 12 000 ot/min. Vzhledem k větší pořizovací ceně urychlovací hlavy a menším rozdílům časů, které její použití přinese oproti optimalizaci sdruženými nástroji z varianty 1, je předpokládáno projevení výhodnosti této varianty po větším množství vyrobených děr.

Následuje přehled navržených nástrojů, které jsou specializované pro obrábění hliníku a měly by být vhodnější pro tento typ výroby. Během porovnávání popisovaných variant bude využito dvou závitníků. Jeden je nově navržený a druhý z aktuálního řešení výroby ve firmě. Je tomu tak z důvodu vhodnosti jeho použití. Variabilita možnosti využití tří nástrojů dovoluje srovnání dalších aspektů výroby, kterými je kromě ekonomické výhodnosti také kvalita a drsnost závitů.

Tabulka 9 Parametry sdruženého vrtáku Walter [7]

Druh nástroje: Sdružený vrták	
Označení nástroje: DC260-03-05.000A0- WJ30ET	
Výrobce: Walter tools	
Cena nástroje: 3 572,- [Kč]	
Počet břitů:	2
Materiál nástroje:	H – slinutý karbid
Povrchová úprava:	TiSiAlCrN/AlTiN
Menší průměr:	5 mm
Délka menšího průměru:	16.5 mm
Větší průměr:	8 mm
Délka většího průměru:	2.4 mm
Délka celková:	79 mm
Délka řezné části:	18.352 mm
Úhel špičky:	140°
Úhel břitu většího průměru:	90°
Druh chlazení:	žádné
Smysl otáčení:	Pravotočivá
Úhel drážky:	30°

Tabulka 10 Parametry závitníku Walter [31]

Druh nástroje: Závitník	
Označení nástroje: N205166-M6	
Výrobce: Walter tools	
Cena nástroje: 931,- [Kč]	
Počet břitů:	3
Materiál nástroje:	S – pevná ocel
Povrchová úprava:	žádná
Průměr:	6 mm
Délka celková:	81.41 mm
Délka řezné části:	10 mm
Stoupání:	1 mm
Druh chlazení:	žádné
Smysl otáčení:	pravotočivá

Tabulka 11 Parametry závitorezné frézy [9]

Druh nástroje: Fréza závitorezná	
Označení nástroje: BGF VHM IKZ HB M6 - 2,5xD	
Výrobce: Emuge Franken	
Cena nástroje: 10 841,- [Kč]	
Počet břitů:	2
Materiál nástroje:	H – slinutý karbid
Povrchová úprava:	TiCN
Průměr vrtné špičky:	5.5 mm
Průměr frézovací části:	5.26 mm
Délka celková:	62 mm
Délka řezné části:	12.4 mm
Délka frézovací části:	9.16 mm
Úhel špičky:	140°
Druh chlazení:	vnitřní
Smysl otáčení:	pravotočivá
Úhel drážky:	30°
Úhel zahloubení:	90°

Tabulka 12 Popis navrhovaných variant

Varianty:	Procesy a použité nástroje		Použití urychlovací hlavy
	Vrtání a zahloubení	Tvorba závitů	
1 A	Vrták – DC260-03-05.000A0-WJ30ET	Závitník –N205166-M6	Ne
1 B	Vrták – DC260-03-05.000A0-WJ30ET	Závitník – Enorm1-AL-GLT-8 M6	Ne
1 C	Fréza závitorezná BGF VHM IKZ HB M6 - 2,5xD		Ne
2 A	Vrták – DC260-03-05.000A0-WJ30ET	Závitník –N205166-M6	Ano
2 B	Vrták – DC260-03-05.000A0-WJ30ET	Závitník – Enorm1-AL-GLT-8 M6	Ano
2 C	Fréza závitorezná BGF VHM IKZ HB M6 - 2,5xD		Ano

7 Experiment ověření

7.1 Popis experimentu

Cílem experimentu je zjištění ekonomické nákladnosti jednotlivých variant výroby optických stolů a ověření funkčnosti navrhovaných řešení.

Experiment byl rozdělen do několika etap. Nejprve byly obrobena hliníkové desky stanovenými metodami. Následně byly rozřezány vodním paprskem na menší kusy a frézovány středem předem určených děr pro možnost následného měření. Měření vyrobených děr bylo provedeno na mikroskopu a drsnoměru/ profiloměru.

7.1.1 Obrobení desek

Obrobení jednotlivých desek bylo provedeno na stroji DMG MORI DMU 65 monoBlock, který se nachází v RTI.

Toto pětiosé obráběcí centrum bylo vybráno z důvodu jeho dostupnosti a vhodnosti z hlediska maximálních rozměrů obrobku. Hlavními požadovanými aspekty byla maximální možná velikost obrobku, s tím související velikost posuvů v jednotlivých osách a velikost možných otáček. Bylo nutné zvolit stroj, který je schopný simulovat jak stávající možné otáčky stroje, tak otáčky, kterých je možné dosáhnout použitím urychlovací hlavy.

Tabulka 13 Technické parametry stroje [32]

Vlastnosti	65 monoBlock
Posun v ose X	735 mm
Posun v ose Y	650 mm
Posun v ose Z	560 mm
Hlava	Univerzální
Výkon vřetena	35 kW
Rychlost vřetena	18 000 ot/min
Rychlý posuv	45 000 mm/min
CNC systém	Heidenhaim iTC530
Počet míst zásobníku nástrojů	30 ks
Váha stroje	9 800 kg



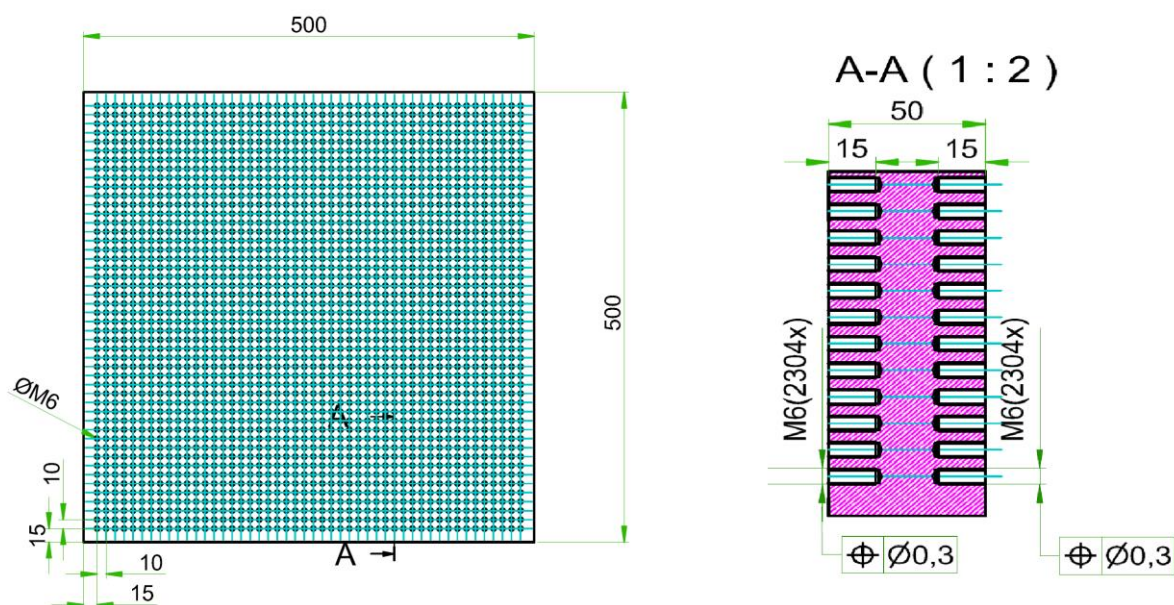
Obr. 22 Stroj DMG MORI DMU 65 monoBlock [32]

Obráběny byly celkem 3 desky hliníkové slitiny EN AW 5083 o rozměrech 500x500x50 mm. Všechny desky splňovaly rovinnost do 0,2 mm zaručenou dodavatelem. Byly upnuty pomocí pěti předpřipravených dorazů a dvou upínek zajišťujících stabilní usazení a zajištění proti pohybu během obrábění.



Obr.23 Upnutí testovací desky

Do desek byly vyrobeny díry z obou stran. Maximální hloubka děr se lišila podle rozdílných nástrojů s ohledem na konstrukční prvky nástrojů tak, aby finálním výstupem práce byl 15 mm dlouhý závit. Celkem bylo z každé strany navrhováno 2304 děr ve 48 řadách a sloupcích o průměru 5 mm a následně vytvořen závit o rozměru M6. Jednotlivé díry jsou od sebe vzdáleny 10 mm a od kraje 15 mm.



Obr. 24 Výkres testovací deska

Postup obrábění byl navržen tak, aby každá jedna strana desky reflektovala vybranou variantu nově navrhovaných postupů konkrétní výroby. Vzhledem k technickým problémům během výroby s použitím závitorezné frézy nebylo možné experimentálně provést všechny varianty, a tedy varianta 2C nebyla uskutečněna.

Byla použita kapalina značky BECHEM označení XP 20-001.

Následující tabulky popisují jednotlivé varianty výroby. Postup výroby odpovídá pořadí posloupnosti technologických procesů napsaných v tabulce.

Tabulka 14 Varianta 1A [31, 33]

Název: Varianta 1A		Materiál obrobku: EN AW 5083	Číslo testu: 1/2
		Chlazení: Vnitřní 40 [Barů]	Typ díry: Slepá
Druh stroje: DMG MORI DMU 65 monoBlock		Chladicí médium: BECHEM XP 20-001	Množství děr: 2 304
VÝROBNÍ OPERACE:	Vrtání Ø5 a zahloubení	Závitování M6	
NÁSTROJ:	Vrták – DC260-03-05.000A0-WJ30ET	Závitník Walter –N205166-M6	
UPÍNAČ:	Hydroupínač HSKA 63	Kleština	
Popis operace:	Vrtat do hloubky 15.91 mm	Řezání závitu do hloubky 15 mm	
Počet břitů:	2	3	
Vc [m.min⁻¹]	78.5	18,9	
n [min⁻¹]	5 000	1 000	
f [mm/ot]	0,1	1	
Vf [mm.min⁻¹]	500	1 000	
Vf zpět [mm.min⁻¹]	Max.	1 000	
Čas výroby [h:min:s]	3:20:48	3:19:48	
Celkový čas výroby: [h:min:s]	6:40:36		

Varianta 1A využívá sdruženého vrtáku. Jedná se o variantu bez použití urychlovací hlavy. Z tohoto důvodu je varianta aktuálně použitelná, neboť parametry obrábění odpovídají nastavitelným parametrům stroje Soraluce SLP 8000. Oproti výchozímu návrhu výroby byla navržena rychlost otáček stroje na maximální možnou hranici 5000 ot/min a použití sdruženého vrtáku, který v rámci operace vrtání sráží hranu vyvrtané díry. Závity byly řezány nově navrženým závitníkem od výrobce Walter. Závitník je navržen pro obrábění neželezných kovů s doporučením na hliníkové slitiny.

Tabulka 15 Varianta 1B [7, 29]

Název: Varianta 1B		Materiál obrobku: EN AW 5083	Číslo testu: 2/1
		Chlazení: Vnitřní 40 [Barů]	Typ díry: Slepá
Druh stroje: DMG MORI DMU 65 monoBlock		Chladičí médium: BECHEM XP 20-001	Množství děr: 2 304
VÝROBNÍ OPERACE:	Vrtání Ø5 a zahloubení	Závitování M6	
NÁSTROJ:	Vrták – DC260-03-05.000A0-WJ30ET	Závitník Emuge Enorm1-AL-GLT-8 M6	
UPÍNAČ:	Hydroupínač HSKA 63	Kleština	
Popis operace:	Vrtat do hloubky 15.91 mm	Řezání závitu do hloubky 15 mm	
Počet břitů:	2	2	
Vc [m.min⁻¹]	78.5	18,9	
n [min⁻¹]	5 000	1 000	
f [mm/ot]	0,1	1	
Vf [mm.min⁻¹]	500	1 000	
Vf zpět [mm.min⁻¹]	Max.	1 000	
Čas výroby [h:min:s]	3:20:48	3:19:48	
Celkový čas výroby: [h:min:s]	6:40:36		

Opět se jedná o variantu se sruženým vrtákem. Podmínky obrábění odpovídají variantě 1A. Jediným rozdílem, mezi těmito variantami je použití původně navrhovaného řezacího závitníku od výrobce Emunge. Opět se jedná o závitník, který je specificky vyráběný na obrábění neželezných kovů, se zaměřením na slitiny hliníku a hliník.

Tabulka 16 Varianta 1C [9]

Název: Varianta 1C	Materiál obrobku: EN AW 5083	Číslo testu: 1/1
	Chlazení: Vnitřní 40 [Barů]	Typ díry: Slepá
Druh stroje: DMG MORI DMU 65 monoBlock	Chladicí médium: BECHEM XP 20-001	Množství děr: 2 304
VÝROBNÍ OPERACE:	Vrtání + zahloubení + frézování závitu	
NÁSTROJ:	Fréza závitořezná Emuge - BGF VHM IKZ HB M6 - 2,5xD	
UPÍNAČ:	Upínač Weldone	
Popis operace:	Vrtat do hloubky 17.8 Přisuv po 5 mm	následné frézování závitu 0,1
Počet břitů:	2	2
Vc [m.min⁻¹]	78.5	94.2
n [min⁻¹]	5 000	5 000
f [mm/ot]	0,05	0,07
Vf [mm.min⁻¹]	250	350
Vf zpět [mm.min⁻¹]	Max.	Max.
Čas výroby [h:min:s]	10:53:18	
Celkový čas výroby: [h:min:s]	10:53:18	

Varianta 1C vychází ze snahy nahradit tři jednoúčelové nástroje jedním moderním. Navržená multifunkční fréza slouží k tvorbě díry, sražení i závitu. Špička frézy je navržena pro proces vrtání. Za špičkou se nachází frézovací zuby, které řezou závit. Nejsvrchnější část nástroje slouží pro sražení hrany.

Fréza prvotně vrtá díru, následovně začne kruhovitý pohyb, kterým dochází k řezání závitu.

Během procesu obrábění došlo ke zlomení dvou fréz. Předpokládanou příčinou byl nedostatečný výplach třísek, ke kterému docházelo po každých 5 mm vrtání, kdy fréza odskočila z řezu.

Tabulka 17 Varianta 2A [31, 33]

Název: Varianta 2A		Materiál obrobku: EN AW 5083	Číslo testu: 1/2
		Chlazení: Vnitřní 40 [Barů]	Typ díry: Slepá
Druh stroje: DMG MORI DMU 65 monoBlock		Chladicí médium: BECHEM XP 20-001	Množství děr: 2 304
VÝROBNÍ OPERACE:	Vrtání Ø5 a zahlobení	Závitování M6	
NÁSTROJ:	Vrták – DC260-03-05.000A0-WJ30ET	Závitník Walter –N205166-M6	
UPÍNAČ:	Hydroupínač HSKA 63	Kleština	
Popis operace:	Vrtat do hloubky 15.91 mm	Řezání závitu do hloubky 15 mm	
Počet břitů:	2	3	
Vc [m.min⁻¹]	188.5	28,3	
n [min⁻¹]	12 000	1 500	
f [mm/ot]	0,1	1	
Vf [mm.min⁻¹]	1 200	1 500	
Vf zpět [mm.min⁻¹]	Max.	1 500	
Čas výroby [h:min:s]	2:25:48	3:01:48	
Celkový čas výroby [h:min:s]	5:27:36		

Varianta 2A simuluje proces výroby optických stolů s využitím urychlovací hlavy. Varianta se shoduje s variantou 1A s výjimkou změny otáček u procesu vrtání z 5000 ot/min na 12 000 ot/min a u procesu řezání závitu z 1000 ot/min na 1500 ot/min.

Tato změna by měla vést k lepší produktivitě výroby. Pro každou z variant byl volen nový nástroj, aby bylo možné vyhodnocovat jeho opotřebení s ohledem na způsob obrábění.

Tabulka 18 Varianta 2B [29, 33]

Název: Varianta 2B		Materiál obrobku: EN AW 5083	Číslo testu: 2/1
		Chlazení: Vnitřní 40 [Barů]	Typ díry: Slepá
Druh stroje: DMG MORI DMU 65 monoBlock		Chladič médium: BECHEM XP 20-001	Množství děr: 2 304
VÝROBNÍ OPERACE:	Vrtání Ø5 a zahloubení	Závitování M6	
NÁSTROJ:	Vrták – DC260-03-05.000A0-WJ30ET	Závitník Emuge Enorm1-AL-GLT-8 M6	
UPÍNAČ:	Hydroupínač HSKA 63	Kleština	
Popis operace:	Vrtat do hloubky 15.91 mm	Řezání závitu do hloubky 15 mm	
Počet břitů:	2	2	
Vc [m.min⁻¹]	188.5	28,3	
n [min⁻¹]	12 000	1 500	
f [mm/ot]	0,1	1	
Vf [mm.min⁻¹]	1 200	1 500	
Vf zpět [mm.min⁻¹]	Max.	1 500	
Čas výroby [h:min:s]	2:25:48	3:01:48	
Celkový čas výroby [h:min:s]	5:27:36		

Varianta 2B reflektuje variantu 1B, jako je tomu v případě variant 1A a 2A. Rozdílem je opět zvýšení otáček pro oba nástroje.

Varianta 2C

Variantu 2C nebylo možné provést a vyhodnotit, vzhledem ke zlomení nástrojů při variantě 1C. Opět mělo jít o variantu zaměřenou na simulování zvýšení otáček vřetena stroje za využití urychlovací hlavy.

Přestože variantu nebylo možné vyhodnotit, bude její premisa brána v potaz při závěrečném doporučení pro produktivnější způsob výroby. Vzhledem k výsledkům varianty 1C a efektu urychlovací hlavy na varianty 2A a 2B.

Tabulka 19 Přehled časů výroby

Varianty:	Časy výroby [h:min:s]		Celkový čas [h:min:s]
	Vrtání a zahloubení	Tvorba závitů	
1 A	3:20:48	3:19:48	6:40:36
1 B	3:20:48	3:19:48	6:40:36
1 C	10:53:18		10:53:18
2 A	2:25:48	3:01:48	5:27:36
2 B	2:25:48	3:01:48	5:27:36

7.1.2 Rozřezání na menší kusy vodním paprskem

K rozřezání došlo vodním paprskem na halách RTI Západočeské univerzity. Tento proces byl potřebný, aby se desky vešly na měřicí zařízení. Každá deska byla rozřezána na díly A, B a C, kde díl A obsahoval prvních 7 řádek děr obrobku, díl B 22. až 28. řádku a díl C posledních 7 řádků. Všechny díly byly gravírovány popisem určujícím desku, stranu a rozmezí řad.

7.1.3 Frézování středem díry

Po rozřezání na menší kusy došlo k frézování středem děr. Přesný řez je podstatným krokem před přechodem k vyhodnocování výsledků na mikroskopu a drsnoměru. Rovnoběžný řez k hraně obrobku skrz střed díry slouží pro zajištění polohy obrobku vůči měřicím zařízením. Pokud by byl závit ve středu řezán pod špatným úhlem, zvýšila by se náročnost následného pozorování a vyhodnocování. Frézování zajišťuje rovinnost a čistotu řezu.

7.1.4 Měření na mikroskopu

Za využití optického mikroskopu KEYENCE VHX-6000 s maximálním až 1000x násobným zvětšením byly pozorovány jednotlivé závity a nástroje, které byly vyhodnocovány před a po obrábění. Měřen byl každý 49., 1 152. a 2 256 závit pro jednotlivé výrobní varianty. Nástroje byly měřeny již před obráběním a po obrábění, pro možnost porovnání opotřebení.

7.1.5 Měření na drsnoměru/ profiloměru

Měření na drsnoměru/ profiloměru Hommel Etamic T8000 sloužilo pro přesnější kontrolu profilu závitů. Měřeny byly stejné závity, jaké byly měřeny na mikroskopu.

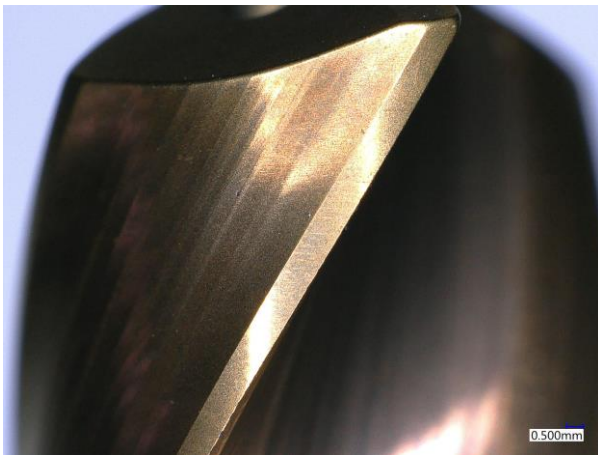
8. Technicko – ekonomické zhodnocení

Vyhodnocovány byly kvalitativní a ekonomická hlediska jednotlivých, nově navržených variant a varianty původní. Z kvalitativního hlediska je hodnocení zaměřeno především na kvalitu závitů a opotřebení nástrojů. Z ekonomického hlediska na časy výroby a náklady na výrobu děr.

8.1 Technické vyhodnocení

8.1.1 Opotřebení nástrojů

Opotřebení nástrojů bylo měřeno optickým mikroskopem. Porovnává jednotlivé nástroje před a po výrobním procesu, který činil 2304 opakování technologické operace, dle určitého nástroje.

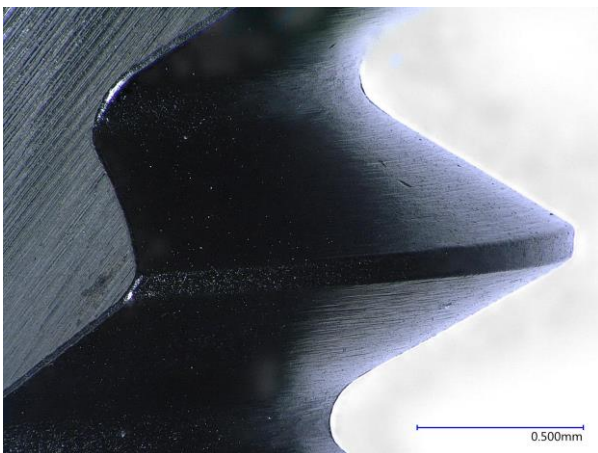


Obr. 25 Fotka vrtáku před obráběním

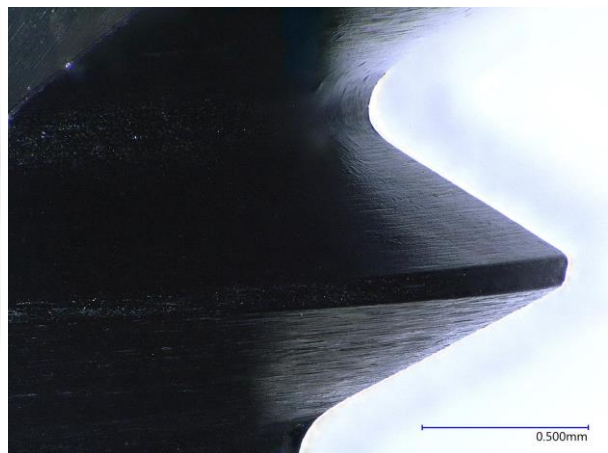


Obr. 26 Fotka vrtáku po obrábění

Vrták nevykazuje žádné známky opotřebení. Jedinou viditelnou změnou je změna barvy vlivem tepla a otěru. Změna barvy kromě vizuální odlišnosti nepřináší žádnou změnu, související s kvalitou výroby.



Obr. 27 Fotka závitníku před obráběním



Obr. 28 Fotka závitníku po obrábění

Závitníky Walter a Emunge vykazují stejný znak „zaběhnutí“ nástroje. Jedná se o jev, kdy dochází k uhlazení geometrie nástroje po provedení určitého počtu operačních cyklů.

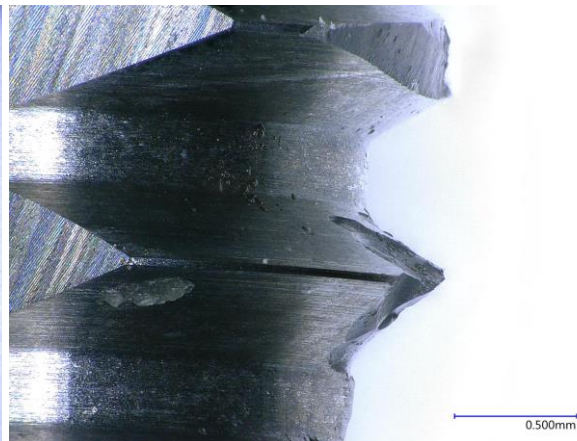
Tento jev má pozitivní efekt na obrábění a kvalitu výrobku. Negativní jevy se stejně jako u vrtáku neprojevíly.

Lze předpokládat, že závitníky i vrták budou vykazovat extrémní životnost při nasazení pro obrábění slitiny hliníku, ze které jsou optické stoly vyráběny. Z tohoto předpokladu můžeme vyhodnotit opotřebení nástroje jako minoritní aspekt výroby, který nenese potřebu velké pozornosti a neprojeví se jakožto řídicí a rozhodovací parametr v ekonomickém hodnocení výroby.

U závitorezné frézy došlo ke zlomení nástroje. Ke zlomení došlo při operaci vrtání. Předpokládanou příčinou je nedostatečný tlak vnitřního chlazení, který zapříčinil hromadění třísek v řezu a následné zlomení nástroje.



Obr. 29 Fotka zlomené závitorezné frézy



Obr. 30 Fotka zničené závitorezné frézy

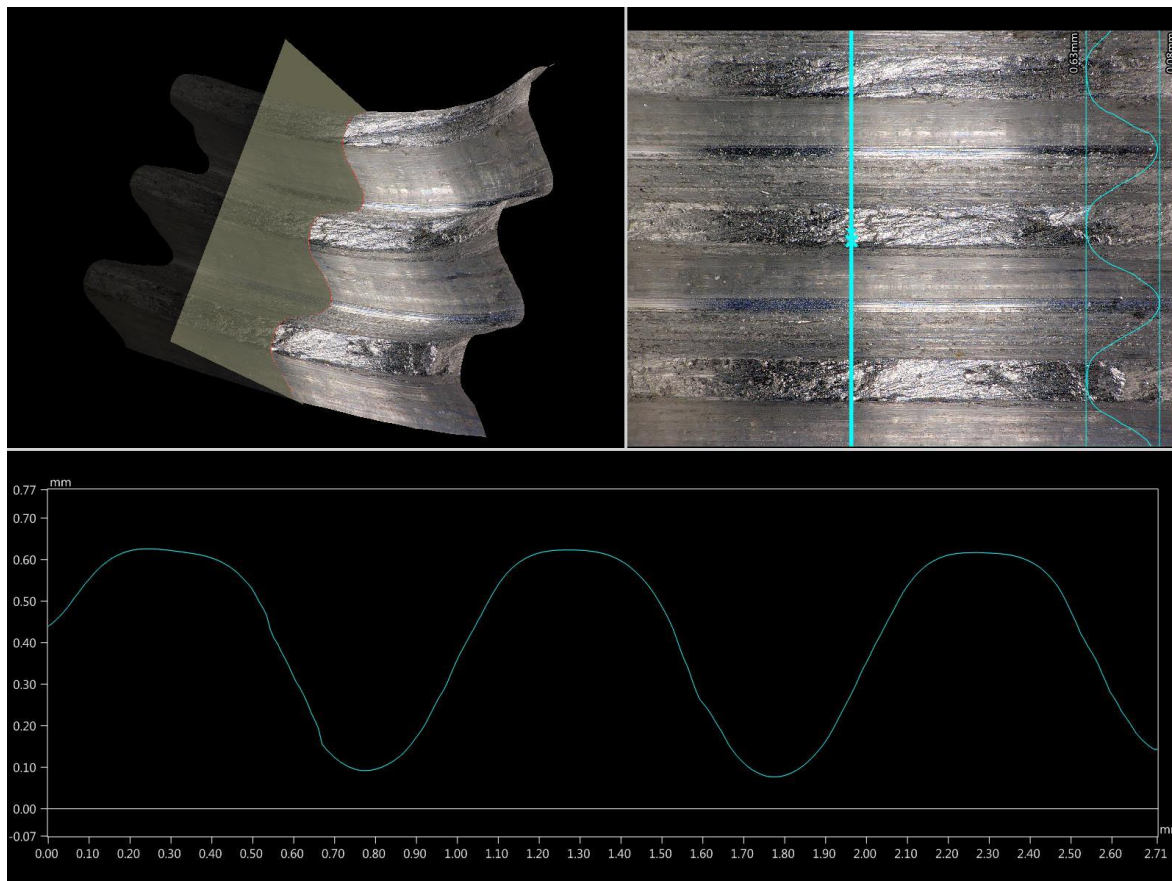
8.1.2 Kvalita závitů hodnocena mikroskopem

Kvalita závitů byla, stejně jako opotřebení nástrojů, měřena na optickém mikroskopu. Mikroskop umožňuje změřit 3D prvky závitů a následně vyhodnotit stoupání, drsnost, úhel sklonu a výšku zubu závitů.

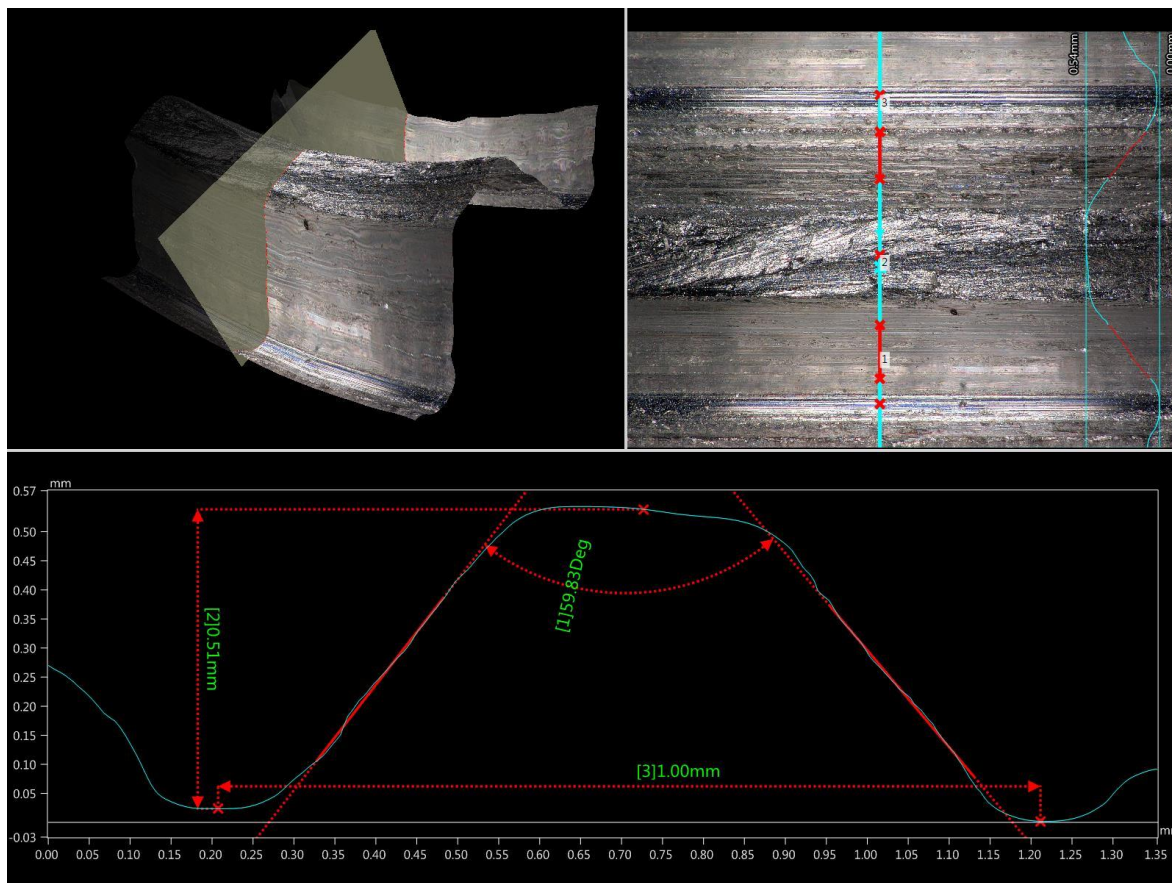
Jednotlivé vzorky byly pozorovány se stonásobným zvětšením, a poté s dvěstěnásobným zvětšením. Při stonásobném zvětšení byly nafoceny 3 závitů do 3D obrazu. U dvou setnásobného zvětšení byl nafocen pouze jeden závit a obdobně převeden do 3D a vyhodnocen.

Porovnání vedlo ke zjištění, že ani jedna z metod tvorby závitů nevykazuje lepší výsledky než ostatní. Podobnost a technicky se neodlišující výsledky mohly být zapříčiněny ze dvou důvodů. Prvním důvodem je opravdová technická podobnost s minimálními odchylkami v měřených parametrech, a tedy kvalitativní shodou závitů bez ohledu na metodu výroby. Druhým důvodem mohla být nevhodná metoda měření a nedostatečná přesnost měřicího zařízení, která nedokáže rozlišit sledované prvky a vede k zavádějícím výsledkům měření. Pro ověření byly závitů přeměřeny také drsnoměrem/ profiloměrem.

Rozdíly mezi 49., 1 152. a 2 256. závitů jsou minimální a nenasvědčují potřebě „zaběhnutí“ nástroje před samotnou výrobou, nebo naopak ztrátu kvality opotřebením.



Obr. 31 Snímek tří závitů z mikroskopu



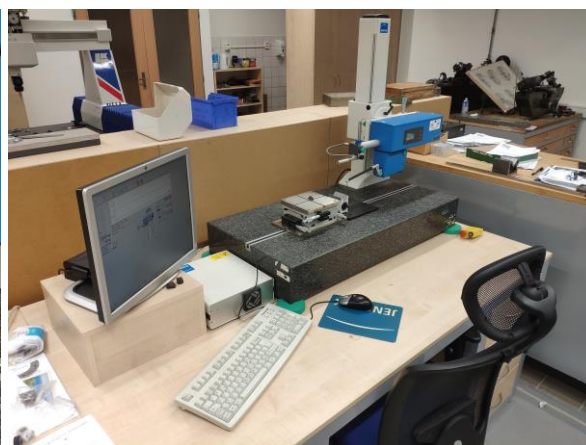
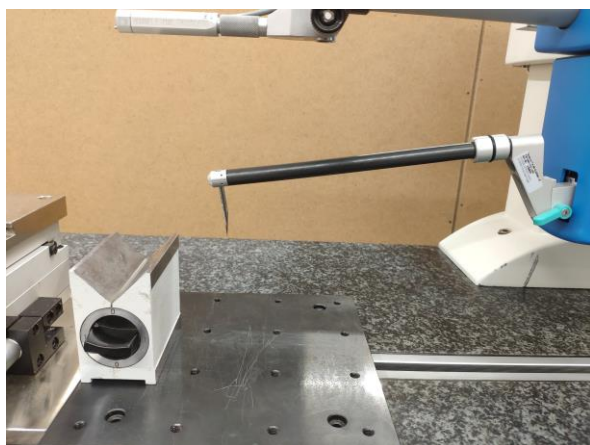
Obr. 32 Snímek jednoho závitu z mikroskopu

8.1.3 Kvalita závitů měřena na drsnoměru/ profiloměru

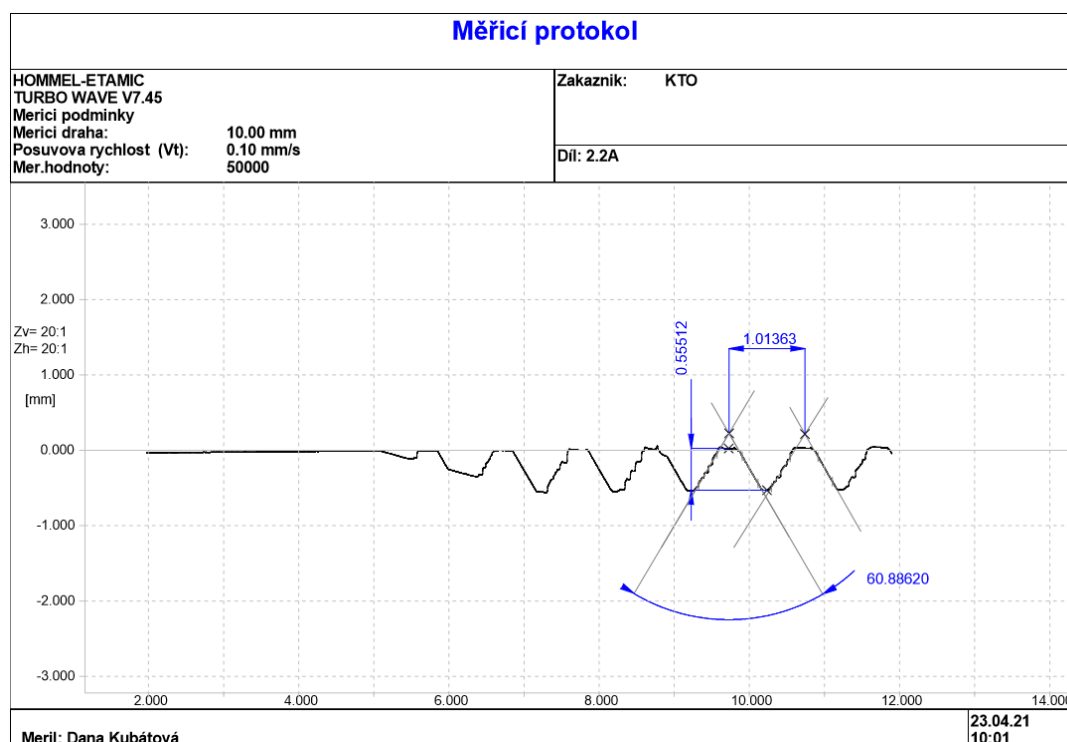
Měření na drsnoměru/ profiloměru dosahuje větší přesnosti než měření na optickém mikroskopu. Hodnoty změřené tímto zařízením jsou tedy směrodatnější, než-li hodnoty měřené na mikroskopu. Nevýhodou drsnoměru/ profiloměru je nemožnost převést měření do 3D modelu pro vizuální zhodnocení a porovnání plochy závitu.

Měření opět proběhlo pro všechny varianty na všech kusech reprezentujících jednotlivé předem stanovené díry. Měřeny byly závity na vzdálenosti 10 mm.

Výsledkem měření na drsnoměru/ profiloměru bylo ověření pozorování na mikroskopu. Byla vyloučena možnost nevalidních výsledků vzhledem k nepřesnosti měření mikroskopem. Přesto i nadále zůstává měření drsnoměrem/ profiloměrem směrodatnějším právě kvůli zmíněným nepřesnostem mikroskopu.



Obr. 33 Zařízení HOMMELETAMIC-T8000 (1) Obr. 34 Zařízení HOMMELETAMIC-T8000 (2)



Obr. 35 Protokol ze zařízení HOMMELETAMIC-T8000

8.2 Ekonomické vyhodnocení

Ekonomické vyhodnocení je zaměřeno na časy výroby jednotlivých variant ve srovnání s variantou původní. Časy budou vynásobeny ilustrativní možnou hodnotou hodinové ceny výroby na daném stroji a následně porovnány dle ekonomické výhodnosti. Tímto výpočtem bude získána hodnota variabilních nákladů na jeden kus. Následně bude odvozena velikost variabilních nákladů na vyrobení jedné díry se závitem. Na základě těchto hodnot a hodnot fixních nákladů, které budou odpovídat pořizovacím cenám jednotlivých nástrojů a urychlovací hlavy dojde k porovnání a vyhodnocení určující, která z variant je nejvýhodnější na základě objemu výroby. Za objem výroby bude brán počet děr se závity. V rámci vyhodnocení ekonomické vhodnosti vyplyne vhodnost nákupu urychlovací hlavy.

Při výpočtu celkového času byly časy simulací jednotlivých variant, sečteny s celkovým časem přejezdů. Nebyly vyhodnocovány skutečné časy obrábění během experimentu, neboť testovací stroj a výrobní stroj firmy se liší a mohlo by být počítáno s nevalidními výsledky hodnoty času přejezdů. Pro větší realističnost výsledků byly zaznamenány časy simulací, které byly následně sečteny s časy přejezdů odpovídajících firemnímu stroji.

Čas přejezdu byl stanoven na velikost 2 vteřin podle stroje Soraluce SLP 8000, který je jedním z navrhovaných strojů pro výrobu optických stolů. Vzdálenost přejezdu mezi jednotlivými dírami je 10 mm v rovině XY a 10 mm v ose Z (Odpovídající 5 mm směrem od desky a následně 5 mm směrem k desce.). Celkový čas přejezdů je hodnotou násobku času jednoho přejezdu a počtu děr. Tato hodnota musela být dále vynásobena celkovým počtem drah, po kterých se bude nástroj pohybovat. Velikost počtů drah se u jednotlivých variant liší, na základě množství používaných nástrojů.

Čas výměny jednotlivých nástrojů nebyl zohledněn, neboť se jedná o čas minoritní. Hodnota času výměny nástrojů odpovídá rozmezí 15–50 vteřin. Velikost rozmezí je způsobena časem čekání na přejezd volaného nástroje na požadovanou polohu v zásobníku, ze které dochází k výměně nástroje. Pokud by došlo ke dvěma výměnám nástrojů s nejvyšší naměřenou hodnotou časů, ekonomické zhodnocení jednotlivých variant by se nezměnilo a mohlo by dojít ke zbytečnému zanášení chyby.

Hodinové sazby, se kterými je počítáno, odpovídají běžným hodinovým sazbám stojů podobných parametrů. Jedná se o hodnoty 1500,- Kč/hod a 2000,- Kč/hod, pro možnost objektivnějšího posouzení jednotlivých variant.

Fixní náklady nákupu zrychlovací hlavy byly stanoveny na hodnotu 83 000,- Kč. Jedná se o hodnotu reflektující možné náklady na nákup tohoto strojního vybavení.

Následuje tabulka s hodnotami celkových časů obrábění, fixními náklady a celkovým nákladům výroby jedné desky. Fixní náklady odpovídají součtu nákladů pořizovacích výdajů na jednotlivé nástroje a zrychlovací hlavu. Z nákladů na výrobu jedné desky budou následně odvozeny náklady výroby jedné díry a jednotlivé varianty graficky srovnány. Srovnání bude spočívat v porovnání variant na základě výhodnosti k počtu vyrobených děr.

Tabulka 20 Přehled nákladů výroby

Varianty:	Celkový čas výroby [h:min:s]	Fixní náklady výroby [Kč]	Celkové náklady výroby jedné desky [Kč]	
			Hodinová sazba stroje 1500 Kč/hod	Hodinová sazba stroje 2000 Kč/hod
0	10:17:42	2 750	18 192	23 340
1 A	6:40:36	4 503	13 513	16 516
1 B	6:40:36	5 253	14 263	17 266
1 C	10:53:18	10 841	27 173	31 256
2 A	5:27:36	87 503	95 693	97 740
2 B	5:27:36	88 253	96 443	98 490

Celkové náklady výroby jedné desky odpovídají nákladům na výrobu 2304 děr se závity. Tato hodnota v sobě zahrnuje fixní náklady pro výpočet bodů zvratu určujících výhodnost jednotlivých variant je potřeba tyto náklady odečíst, případně je možné získat stejnou hodnotu vynásobením celkového času výroby hodinovou sazbou stroje. Získaná hodnota vydělená počtem děr stanoví variabilní náklady výroby jedné díry.

Tabulka 21 Přehled nákladů výroby na jednu díru

Varianty	Variabilní náklady na jednu díru [Kč]	
	Hodinová sazba stroje 1500 Kč/hod	Hodinová sazba stroje 2000 Kč/hod
0	6.7	8.4
1 A	3.9	5.2
1 B	3.9	5.2
1 C	7	8.9
2 A	3.5	4.4
2 B	3.5	4.4

Na základě zjištěných a vypočtených hodnot byly sestaveny grafy znázorňující výhodnost jednotlivých variant. Pro zjištění přesných hodnot určujících počet děr, při kterých dochází k bodu zvratu a změně ekonomických výhodností jednotlivých variant došlo i k analytickému výpočtu těchto bodů. Z tabulek výše vyplývá, že varianta 1A má stejné variabilní náklady jako varianta 1B, ale nižší fixní náklady. Z toho důvodu bude vždy výhodnější. Vzhledem ke stejnému minimálnímu opotřebení a shodné kvalitě závitů, není potřeba s variantou 1B dále počítat při bodu zvratu. Stejná podobnost platí pro varianty 2A a 2B. Varianta 2B bude také vyřazena.

8.2.1 Analytický výpočet bodů zvratu

Pro nalezení bodu zvratu budou porovnány hodnoty variabilních a fixních nákladů dvou přímek, pro které chceme vyhledat přesný počet děr určující tento bod. [34] Porovnání vychází ze základního vzorce výpočet ceny výroby:

$$T = CN$$

$$p \cdot Q = FN + vn \cdot Q$$

Rovnice 1 Výpočet ceny výroby [34]

T= tržby
CN= celkové náklady
p= realizační cena
Q= počet kusů
FN= fixní náklady
vn= variabilní náklady

Bod zvratu odpovídá situaci, kdy se tržba, nebo celkové náklady dvou variant rovnají. Na tomto základě je možné odvodit rovnici, kterou budou porovnávány jednotlivé varianty:

$$FN_1 + vn_1 \cdot Q = FN_2 + vn_2 \cdot Q$$

Indexy 1 a 2 odlišují variabilní a fixní náklady jednotlivých variant. Po úpravě základní rovnice je možné získat rovnici pro výpočet počtu děr odpovídajících zvratnému bodu:

$$Q = \frac{(FN_1 - FN_2)}{(vn_2 - vn_1)}$$

$$Q = \frac{(4\ 503 - 87\ 503)}{(3.5 - 3.9)}$$

$$Q = 233\ 146 \text{ děr}$$

Rovnice 2 Vzorový výpočet bodu zvratu variant 1Ax2A [34]

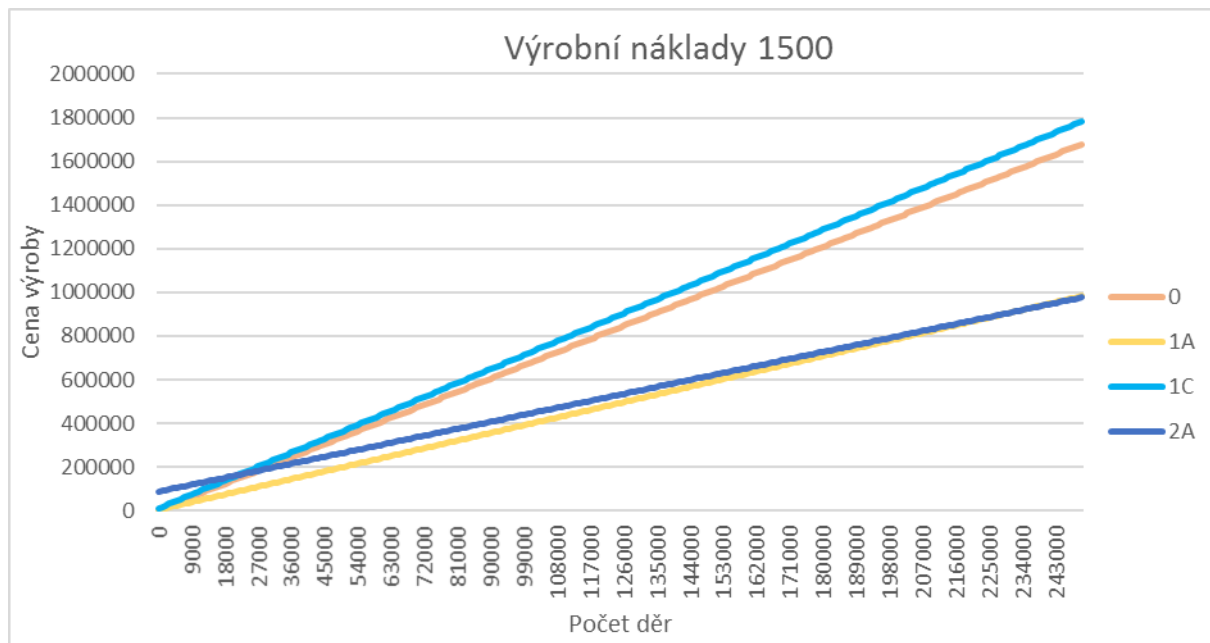
Tímto postupem byly vypočteny zvratné body a zapsány do následující tabulky.

Tabulka 22 Přehled bodů zvratů jednotlivých variant

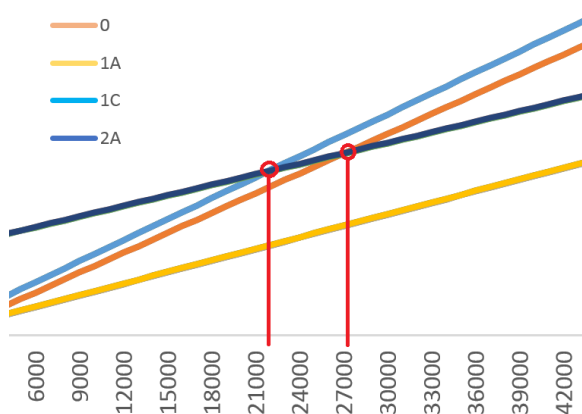
Porovnávané varianty:	Počet děr odpovídajících bodu zvratu Q: [ks]	
	Hodinová sazba stroje 1500 Kč/hod	Hodinová sazba stroje 2000 Kč/hod
0x1A	554	628
0x1B	791	897
0x2A	26 931	21 541
1Ax2A	233 146	107 652
1Cx2A	21 693	17 352

8.2.1 Grafické porovnání variant

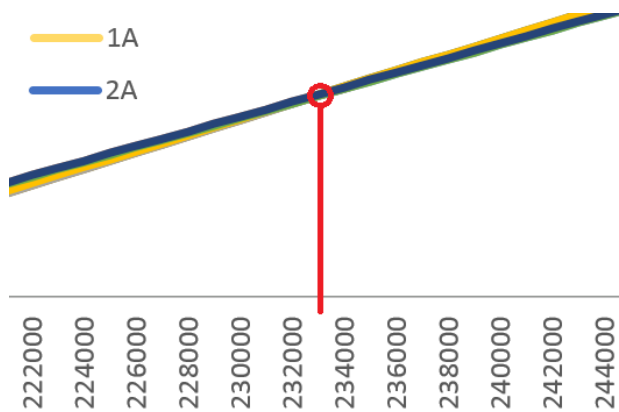
Grafické porovnání vyobrazuje ekonomickou vhodnost jednotlivých variant. Na základě bodů zvratu jde varianty vzájemně porovnat a určit od jakého objemu výroby bude která z variant výhodná. Body nelze z grafů dostatečně přesně určit, proto byly vypočteny v předchozí kapitole. Grafy slouží pro přehledné ověření vypočtených hodnot a k snadnému rozlišení výhodnosti porovnávaných variant. Varianty 1B a 2B nebyly do grafů zahrnuty vzhledem k jejich předem jasně rozlišitelné nevýhodnosti oproti variantám 1A a 2A.



Obr. 36 Graf Výrobních nákladů pro hodinovou sazbu stroje 1 500,- Kč/hod

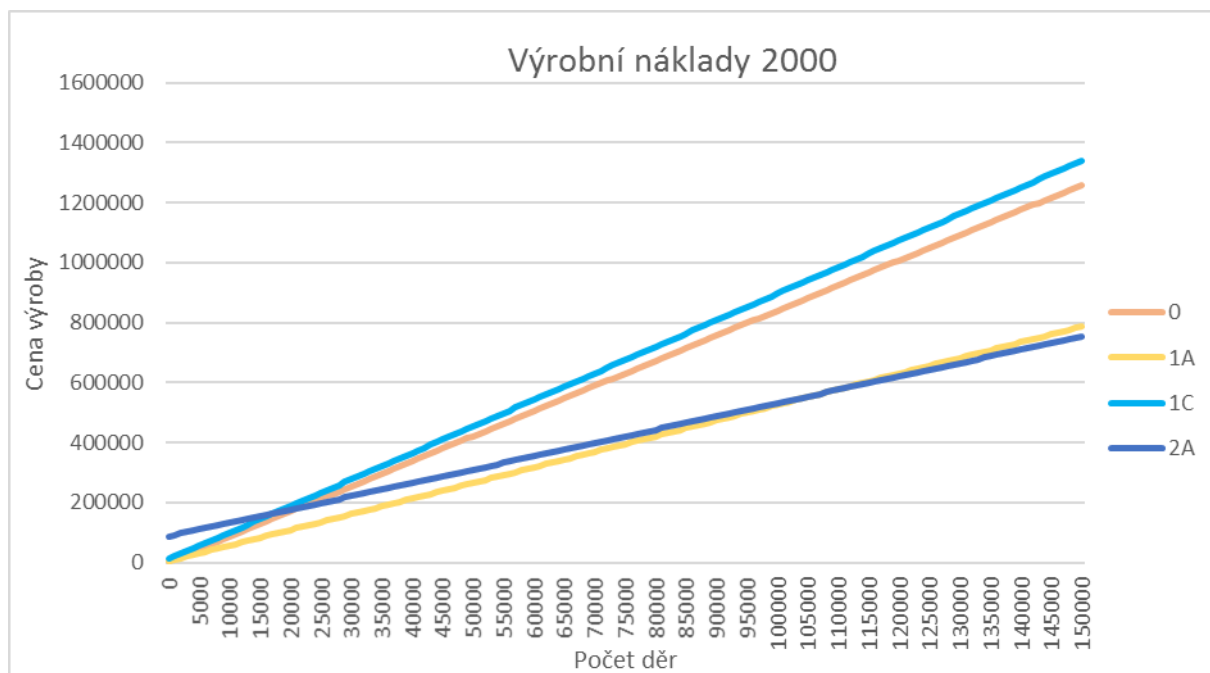


Obr. 37 Body zvratu pro sazbu stroje 1 500,- Kč/hod

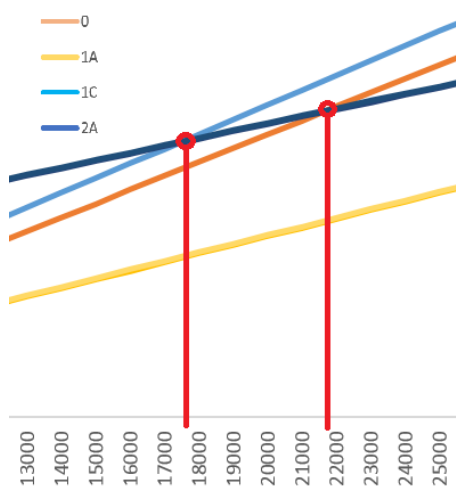


Obr.38 Bod zvratu pro sazbu stroje 1 500,- Kč/hod

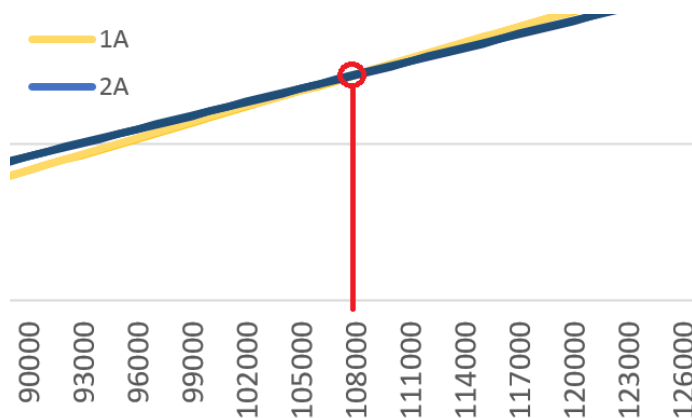
Z grafu vyobrazujícího výrobní náklady při hodinové sazbě stroje 1 500,- Kč/hod lze velmi jasně určit dvě nejvýhodnější varianty 1A a 2A. Dále je možné vyzorovat, že varianta 1A je ekonomicky výhodnější pro menší objem výroby a varianta 2A pro objem větší. Poloha bodu zvratu souhlasí s polohou vypočtenou v předchozí kapitole, jedná se o hodnotu 233 146 vyrobených děr.



Obr. 39 Graf Výrobních nákladů pro hodinovou sazbu stroje 2 000,- Kč/hod



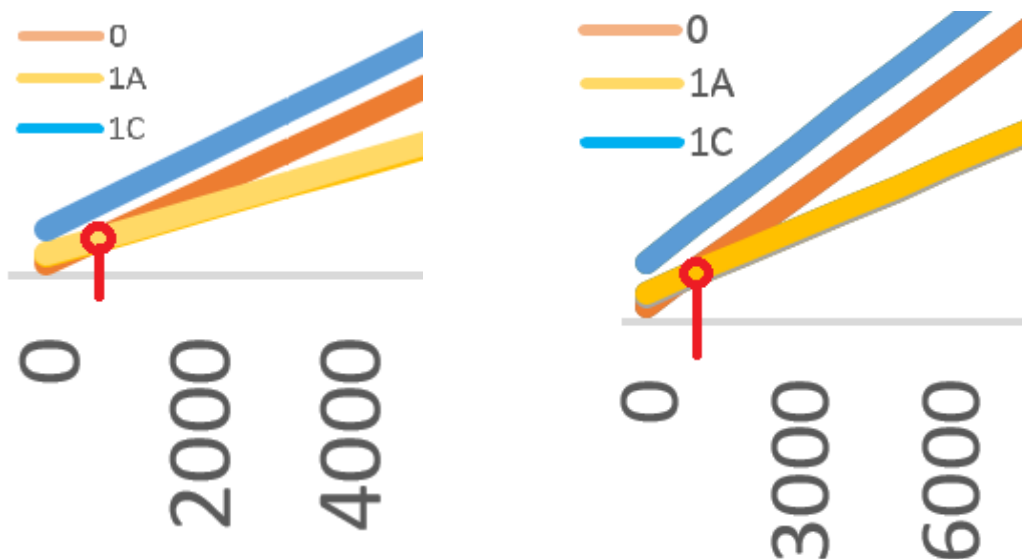
Obr. 40 Body zvratu pro sazbu stroje 2 000,- Kč/hod



Obr. 41. Bod zvratu pro sazbu stroje 2 000,- Kč/hod

Při hodinové sazbě stroje 2 000,- Kč/hod je výsledek opět velmi jasně rozlišitelný. Varianty 1A a 2A jsou opět variantami ekonomicky nejvýhodnějšími. Z grafu je vidět odlišnost od grafu pro výpočet výrobních nákladů při hodinové sazbě strojů 1 500,- Kč/hod na předchozí stránce. Odlišnost spočívá ve sníženém potřebném počtu vyrobených děr pro ekonomickou výhodnost variant. Jedná se o polohu zvratného bodu s hodnotou 107 652 vyrobených děr, která opět potvrzuje předchozí výpočty.

Původní výrobní varianta označovaná varianta 0 je dle grafů a výpočtů bodů zvratů výhodnější vůči ostatním variantám v rozmezí mezi 500-900 vyrobenými dírami. Výhodnost této varianty neodpovídá výrobě ani jednoho celého optického stolu. Testovací desky, které byly obráběny pro účely této bakalářské práce měly 2 304 děr, které reprezentují množství děr skutečného výrobku. Vzhledem k této skutečnosti je původní varianta výroby určena jako ekonomicky nevýhodná.



Obr. 42 Bod zvratu pro sazbu stroje 1 500,- Kč/hod Obr. 43 Bod zvratu pro sazbu stroje 2 000,- Kč/hod

Varianta 1C, která využívala moderní závitorežné frézy se prokázala ve všech směrech ekonomicky nevýhodnou. Fixní i variabilní náklady přesahovaly náklady všech ostatních variant včetně varianty původní. Předpokládaným důvodem tohoto úkazu jsou nedostatečné parametry výrobního stroje, kvůli kterým nelze při obrábění využít plného potenciálu nástroje vzhledem k nedostatečné velikosti otáček vřetena. Vzhledem ke zlomení nástroje a nemožnosti jeho otestování s podmínkami odpovídajícími využití zrychlovací hlavy, lze ekonomicky pozitivní projevy nástroje pouze předpokládat. Těmito projevy jsou myšleny nízké variabilní náklady, které by vedly k ekonomické výhodnosti této varianty pro větší objem výroby.

Závěrem porovnání ekonomické výhodnosti všech navrhovaných variant výroby při zohlednění hodinové sazby stroje 1 500,- Kč/hod a 2 000,- Kč/hod vyšly nejlépe 4 varianty 1A, 1B, 2A a 2B, ze kterých vzhledem k fixním nákladům vychází nejlépe varianty 1A a 2A.

Pro hodinovou sazbu stroje 1 500,- Kč je bodem zvratu 233 146 vyrobených děr. Od tohoto počtu děr se ekonomická výhodnost přiklání z varianty 1A k variantě 2A.

U hodinové sazby 2 000,- Kč/hod ke stejnému převratu výhodnosti dochází u menšího počtu děr, kterým je hodnota 107 652 vyrobených děr.

Ostatní varianty byly vyhodnoceny jako ekonomicky nevýhodné.

9. Závěr

Cílem této práce bylo navržení optimalizace technologie výroby hliníkových optických stolů pro firmu STREICHER, spol. s.r.o. Plzeň. Optimalizace byla zaměřena na výrobu děr a závitů a byla požadována vzhledem k nově zaváděné výrobě optických stolů. Původní metoda sloužila pouze pro doplňkovou výrobu a nebyla tedy navržena s dostatečnými parametry, které by zohledňovaly její výhodnost pro větší objem výroby.

Návrh optimalizace spočíval v navržení 6 nových metod výroby děr a závitů, které se od sebe lišily výrobními nástroji a podmínkami obrábění. Následovalo provedení experimentu a jeho ověření z kvalitativního a ekonomického hlediska.

Pro zajištění kvalitativního hlediska navrhovaných variant byly vybrány nástroje určené pro obrábění neželezných kovů, speciálně na hliník a jeho slitiny.

Ekonomická vhodnost návrhů byla zaměřena na snížení časů výroby. Prvotně byly návrhy soustředěny na minimalizaci vedlejších časů, které odpovídají časům přejezdů a výměny nástrojů. Sekundárním aspektem bylo zkrácení časů hlavních, které odpovídají časům obrábění, kdy dochází ke kontaktu nástroje s obrobkem.

Původní metoda nevykazovala dostatečné znaky modernizace, které dnešní strojní průmysl nabízí. Využívala pouze jednocelových nástrojů pro každou operaci zvlášť, jmenovitě oddělovala operace vrtání, srážení hrany a závitování. Nově navržené varianty spočívaly ve využití moderních sdružených nástrojů, které tyto operace dokáží sloučit do jednoho výrobního cyklu. Vzhledem k odlišnosti nástrojů byly navrženy tři varianty. První dvě využívaly sdruženého vrtáku, který vrtal i zahluhoval díru v jednom operačním cyklu, a následně byl řezán závit dvěma odlišnými závitníky. Třetí varianta využívala závitorezné frézy, která je navržena tak, aby všechny výrobní operace výroby díry se závitěm provedla během jednoho cyklu. U těchto variant byly navrženy podmínky odpovídající maximálním možným otáčkám výrobního stroje, na kterém bude nově zaváděná výroba probíhat. Dále bylo navrženo rozšíření strojního příslušenství o urychlovací hlavu, která slouží pro navýšení maximálních otáček vřetena stroje. Tomuto navýšení byly uzpůsobeny podmínky obrábění a ty byly následně aplikovány na předešlé tři varianty

Po dokončení návrhu a stanovení parametrů obrábění byl proveden experiment, který jednotlivé navrhované varianty uvedl do praxe. Obráběny byly testovací desky z materiálu EN AW 5083, který odpovídá materiálu vyráběných optických stolů. Do každé desky bylo vyvrtáno 2 304 děr se závity M6. Testování bylo prováděno na stroji DMG MORI DMU 65 monoBlock, který je schopný simulovat otáčky před i po využití urychlovací hlavy.

Obrobené desky byly následně nařezány na menší kusy vodním paprskem a frézovány středem předem určených děr pro umožnění následného pozorování na mikroskopu KEYENCE VHX-6000 a drsnoměru/ profiloměru Hommel Etamic T8000.

Výsledky experimentu ukázaly kvalitativní shodu závitů vyrobených jednotlivými variantami. Dalším kvalitativním aspektem hodnocení bylo určení opotřebení nástrojů. K opotřebení nedošlo ani v jedné z variant, která využívala sdruženého vrtáku, z tohoto důvodu je předpokládána velká trvanlivost nástrojů. U obrábění se závitoreznou frézou za nižších otáček vřetene došlo ke zlomení nástroje a tím k experimentu za zvýšených řezných podmínek nedošlo.

Fréza se zlomila během operace vrtání díry, pravděpodobně z důvodu nedostatečného tlaku řezné kapaliny, kvůli kterému v řezu zůstaly volné třísky, o které se fréza během vrtání opřela a zlomila.

Ekonomické vyhodnocení experimentu, které bylo zaměřeno na porovnání jednotlivých variant z hlediska fixních a variabilních nákladů, vedlo k určení variant se sdruženým vrtákem a závitníkem Walter jako ekonomicky nejvýhodnějších. Varianty byly porovnávány s obecně určenými hodinovými sazbami strojů 1 500 Kč/hod a 2 000 Kč/hod. Vzhledem k tomuto porovnání došlo k vyhodnocení dvou bodů zvratu mezi variantou s nižšími otáčkami a variantou s otáčkami vyššími, která využívá urychlovací hlavy. Výhodnost je určena hodnotou 233 146 vyrobených děr při hodinové sazbě stroje 1 500,- Kč/hod a 107 652 vyrobených děr pro hodinovou sazbu stroje 2 000,- Kč/hod ve prospěch varianty bez urychlovací hlavy před dosažením tohoto objemu výroby. V případě překročení tohoto objemu výroby vychází ekonomicky výhodnější varianta se zrychlovací hlavou. Původní varianta a varianty využívající závitorezné frézy se ukázaly být nevhodné.

Na základě experimentu a jeho vyhodnocení bude firmě doporučeno využít jedné z ekonomicky výhodných variant, využívající sdružený vrták a závitník Walter, podle předpokládaného objemu výroby firmy.

Seznam Citací a zdrojů:

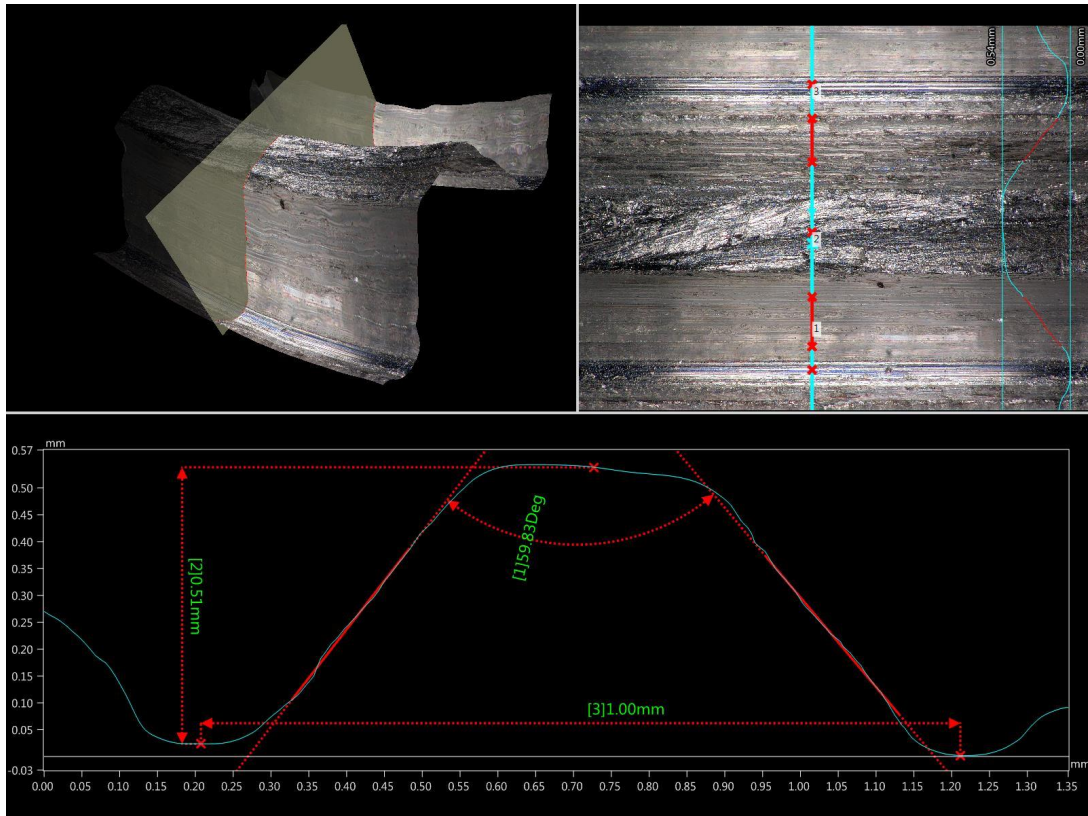
- [1] STREICHER, SPOL S R O, Plzeň. *Historie - STREICHER, spol. s r.o. Plzeň* [online]. 26. prosinec 2020 [vid. 2020-12-26]. Dostupné z: <http://www.streicher-machinery.cz/nase-spolecnost/historie>
- [2] STREICHER, SPOL S R O, Plzeň. *Vakuové skříně magnetronu pro „Large Synoptic Reconnaissance Telescope (LSST) - STREICHER, spol. s r.o. Plzeň* [online]. 26. prosinec 2020 [vid. 2020-12-26]. Dostupné z: <http://www.streicher-machinery.cz/referencni-projekty/vakuove-skrine-magnetronu>
- [3] STREICHER, SPOL S R O. Modular Vacuum Chamber. *Streicher* [online]. 26. prosinec 2020 [vid. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://www.scubechamber.com/>
- [4] KOBOTEC.CZ. Vše, co potřebujete vědět o vrtácích do kovu. *kobotec.cz* [online]. 20. srpen 2019 [vid. 2021-01-04]. Dostupné z: <https://www.kobotec.cz/poradna/vse--co-potrebujete-vedet-o-vrtacich-do-kovu/>
- [5] *STT-Vyroba_zavitu_RAJ.pdf* [online]. [vid. 2021-03-28]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/STT-Vyroba_zavitu_RAJ.pdf
- [6] WALTER TOOLS. Závitořezná fréza obrázek. *Walter Tools* [online]. [vid. 2021-05-05]. Dostupné z: https://www.walter-tools.com:443/cs-cz/tools/standard_products/threading/overview/threading_milling_cutter/tmc/pages/default.aspx
- [7] WALTER TOOLS. *Walter - DC260-03-05.000A0-WJ30ET - Step drills - ToolsUnited* [online]. [vid. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.toolsunited.com/App/EN/Article/ArticleDetailsPage/181022154023869>
- [8] EMUGE HIGH PERFORMANCE TOOLS. *Taptor®* [online]. [vid. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.emuge.com/products/taps/taptor>
- [9] EMUGE HIGH PERFORMANCE TOOLS. *BGF Thriller | Emuge Corporation* [online]. [vid. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.emuge.com/products/thread-mills/bgf-thriller>
- [10] STREICHER GMBH & CO KG, aA. *MAX STREICHER GmbH & Co. KG aA* [online]. [vid. 2020-12-26]. Dostupné z: <http://www.streicher.de/profil/historie>
- [11] STREICHER, SPOL S R O, Plzeň. *Profil společnosti - STREICHER, spol. s r.o. Plzeň* [online]. 26. prosinec 2020 [vid. 2020-12-26]. Dostupné z: <http://www.streicher-machinery.cz/nase-spolecnost/profil-spolecnosti>
- [12] STREICHER, SPOL S R O, Plzeň. *Projekt HELCZA - Zařízení pro testování první stěny EU ITER - STREICHER, spol. s r.o. Plzeň* [online]. 26. prosinec 2020 [vid. 2020-12-26]. Dostupné z: <http://www.streicher-machinery.cz/referencni-projekty/projekt-helcza>

- [13] STREICHER, SPOL S R O, Plzeň. *Projekt DUBNA - STREICHER, spol. s r.o. Plzeň* [online]. 26. prosinec 2020 [vid. 2020-12-26]. Dostupné z: <http://www.streicher-machinery.cz/referencni-projekty/projekt-dubna>
- [14] STREICHER, SPOL S R O, Plzeň. *Vakuový systém distribuce laserových svazků pro Laserové centrum HiLASE - STREICHER, spol. s r.o. Plzeň* [online]. 26. prosinec 2020 [vid. 2020-12-26]. Dostupné z: <http://www.streicher-machinery.cz/referencni-projekty/vakuovy-system-distribuce-laserovych-pro-laserove-centrum-hilase>
- [15] DR. BEDRICH RUS. *Laser 4 Aton: 10 PW, 2 kJ | ELI Beamlines – Dolní Břežany* [online]. 22. prosinec 2020 [vid. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://www.eli-beams.eu/facility/lasers/laser-4-aton-10-pw-2-kj/>
- [16] STREICHER, SPOL S R O, Plzeň. *Projekt ELI Beamlines: Kompresor L4 - STREICHER, spol. s r.o. Plzeň* [online]. 26. prosinec 2020 [vid. 2020-12-26]. Dostupné z: <http://www.streicher-machinery.cz/referencni-projekty/projekt-eli-beamlines-kompresor-l4>
- [17] WWW.BINTERACTIVE.CZ, [www cliquo cz](http://www.cliquo.cz). *Laserové centrum ELI Beamlines už testuje nejvýkonnější laser na světě a brzy zahájí plný provoz. Je to šance i pro vědce z Liberce* [online]. [vid. 2021-01-05]. Dostupné z: <https://tuni.tul.cz/rubriky/veda-a-vyzkum/id:103812/laserove-centrum-eli-beamlines-uz-testuje-nejvykonnesji-laser-na-svete-a-brzy-zahaji-plny-provoz-je-to-sance-i-pro-vedce-z-liberce>
- [18] SEDLÁČEK, Vladimír. *Neželezné kovy a slitiny*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1979.
- [19] MICHNA, Štefan a Lenka MICHNOVÁ. *Neželezné kovy*. Děčín: Štefan Michna, Lenka Michnová, 2014. ISBN 978-80-260-7132-7.
- [20] SLOVAKIA, I. M. C. Hliníkový plech EN AW 5083. *Hlinik.sk* [online]. [vid. 2021-01-15]. Dostupné z: <http://www.hlinikbronz.cz/en-aw-5083/>
- [21] SANDVIKCOROMANT. Užitečné rady pro vrtání. *Sandvik Coromant* [online]. [vid. 2021-01-15]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com:443/cs-cz/knowledge/drilling/pages/drilling-tips.aspx>
- [22] REGAL CUTTING TOOLS. *Průvodce vrtáním a poklepáním na hliník Řezné nástroje Regal* [online]. [vid. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://www.regalcuttingtools.com/learning-center/articles/complete-guide-drilling-and-tapping-aluminum>
- [23] *final-thesis.pdf* [online]. [vid. 2021-03-27]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/51600/final-thesis.pdf?sequence=10&fbclid=IwAR0_5jMKj5XPTfUpB69_uVJnSxoTQWLlyCcBqsJYZkREMq3J0XNQYVTmcng
- [24] *Tvareci_zavitniky.pdf* [online]. [vid. 2021-03-27]. Dostupné z: https://www.mav.cz/dormer/Tvareci_zavitniky.pdf

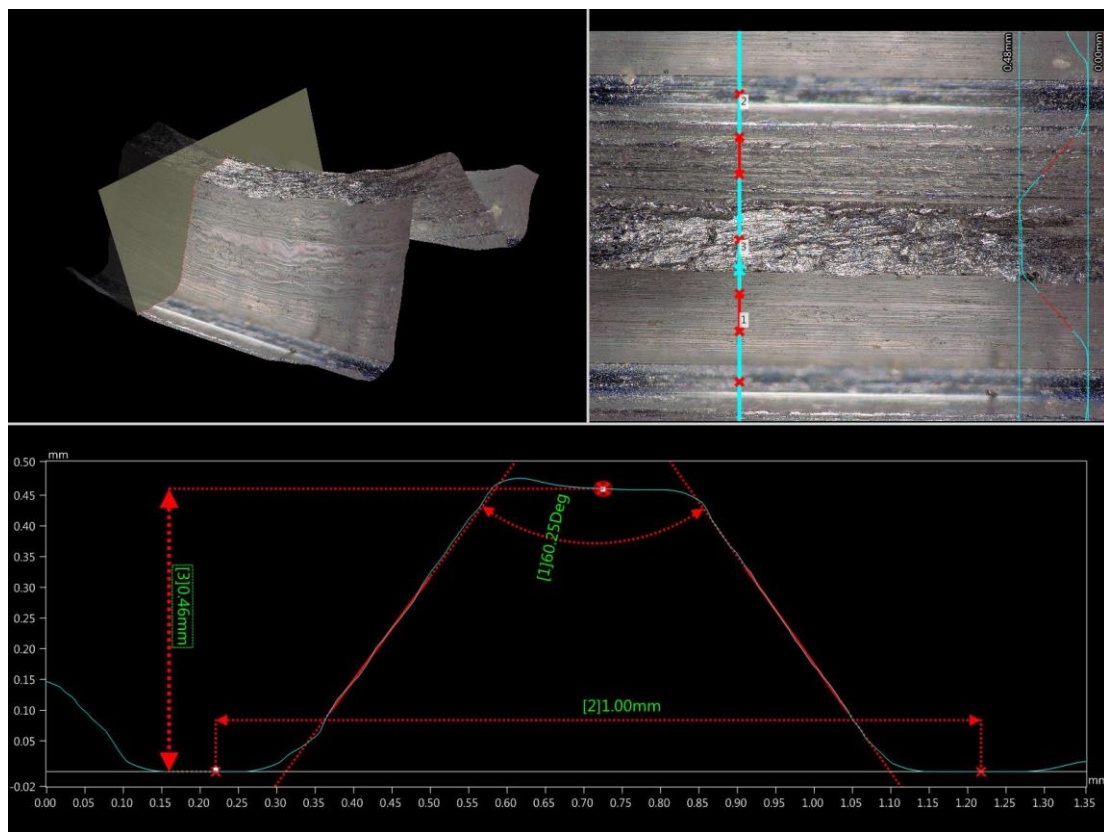
- [25] MM. Nové sdružené nástroje pro frézování a závitování | MM Průmyslové spektrum. www.mmspektrum.com [online]. [vid. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nove-sdruzene-nastroje-pro-frezovani-a-zavitovani>
- [26] SORALUCE. *FLP Vertical traverse Milling Boring Machine - SORALUCE* [online]. [vid. 2021-01-15]. Dostupné z: <https://www.soraluce.com/en/flp-floor-type-milling-machine>
- [27] SORALUCE. *SLP Fixed Table Travelling Column Milling Machine - SORALUCE* [online]. [vid. 2021-01-15]. Dostupné z: <https://www.soraluce.com/en/slp-milling-machine>
- [28] BO IMPORT. *Záhlubník kuželový tříbřítý 90° 50,0 HSSE (745500) - BO-IMPORT s.r.o.* [online]. [vid. 2021-05-06]. Dostupné z: https://www.bo-import.cz/zahlubniky/zahlubniky-90/zahlubnik-kuzelovy-tribrity-90-50-0-hsse-745500-10924.html?gclid=Cj0KCQjwp86EBhD7ARIsAFkgakja5RluRN_8rDq84D513sVMLzxls_qdcZ0lXHelmTZGsxgJ9FyFOQaAvtpEALw_wcB
- [29] EMUGE HIGH PERFORMANCE TOOLS. *Enorm 1-AL-GLT-8 | Emuge-Franken Website* [online]. [vid. 2021-05-23]. Dostupné z: <https://www.emuge-franken-group.com/gb/en/thread-technology/machine-tap/enorm-1-al-glt-8/p/00000000010418138>
- [30] WALTER TOOLS. *DC150-05-05.000A1-WJ30RE Vrtáky ze slinutého karbidu s chladicím kanálkem* [online]. [vid. 2021-05-23]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/cs-cz/search/pages/default.aspx#/product/DC150-05-05.000A1-WJ30RE?query=%7B%22t%22:%22productdetails%22%7D>
- [31] WALTER TOOLS. *Walter - N205166-M6 - Taps with reinforced shank - ToolsUnited* [online]. [vid. 2021-05-23]. Dostupné z: <https://www.toolsunited.com/App/EN/Article/ArticleDetailsPage/24696400130374852>
- [32] DMG MORI. *DMU 65 monoBLOCK - 5ti osé frézování od DMG MORI* [online]. [vid. 2021-05-23]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/petiose-frezovani/dmu-monoblock/dmu-65-monoblock>
- [33] *DC260-03-03.300A0-WJ30ET - sdružený vrták obrázek* [online]. [vid. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.boie.de/dc260-03-a0-zidPRD-17927>
- [34] SYNEK, Miloslav. *Podniková ekonomika*. V Praze: C.H. Beck, 2006. ISBN 978-80-7179-892-7.

PŘÍLOHA č. 1

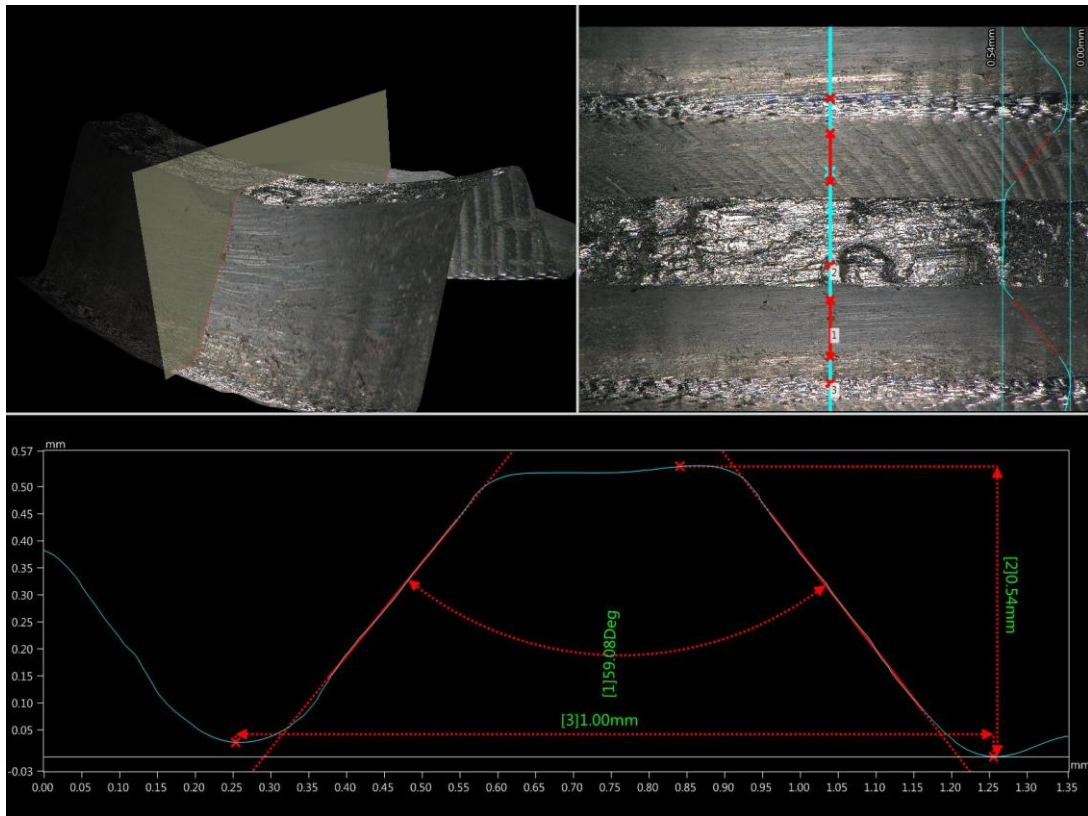
Výsledky pozorování mikroskopem KEYENCE VHX-6000



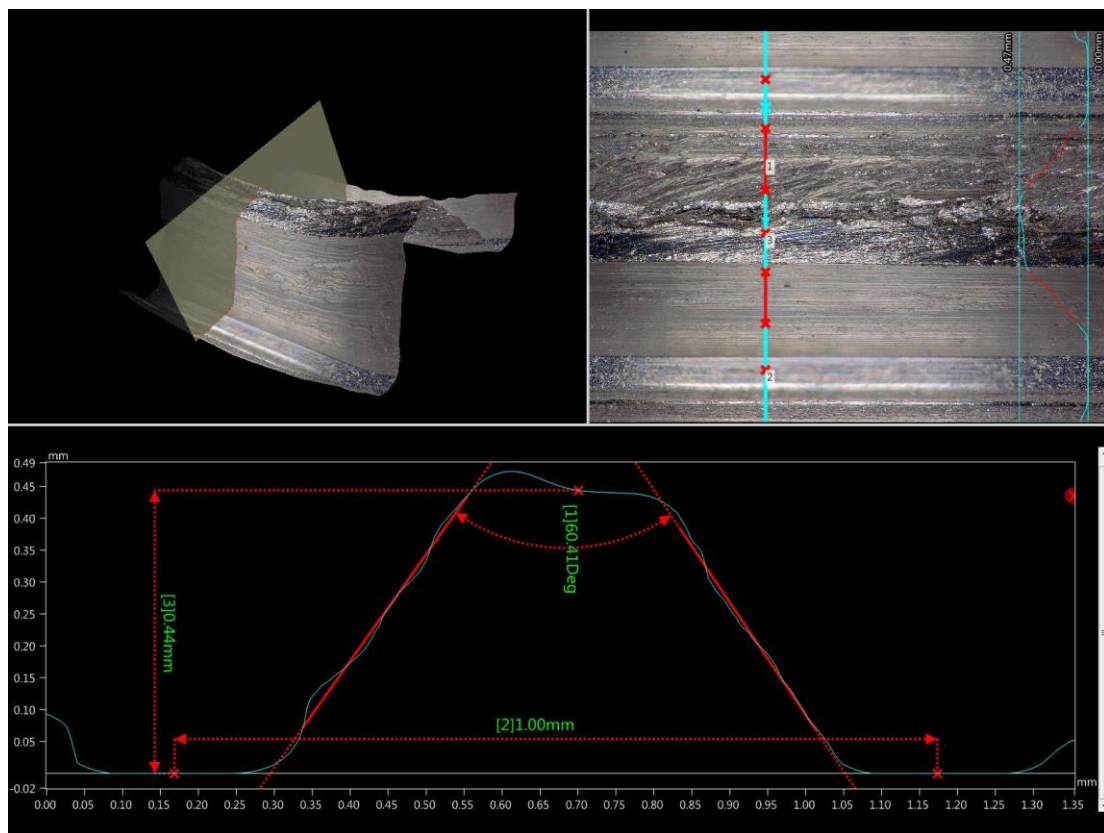
Varianta 1A



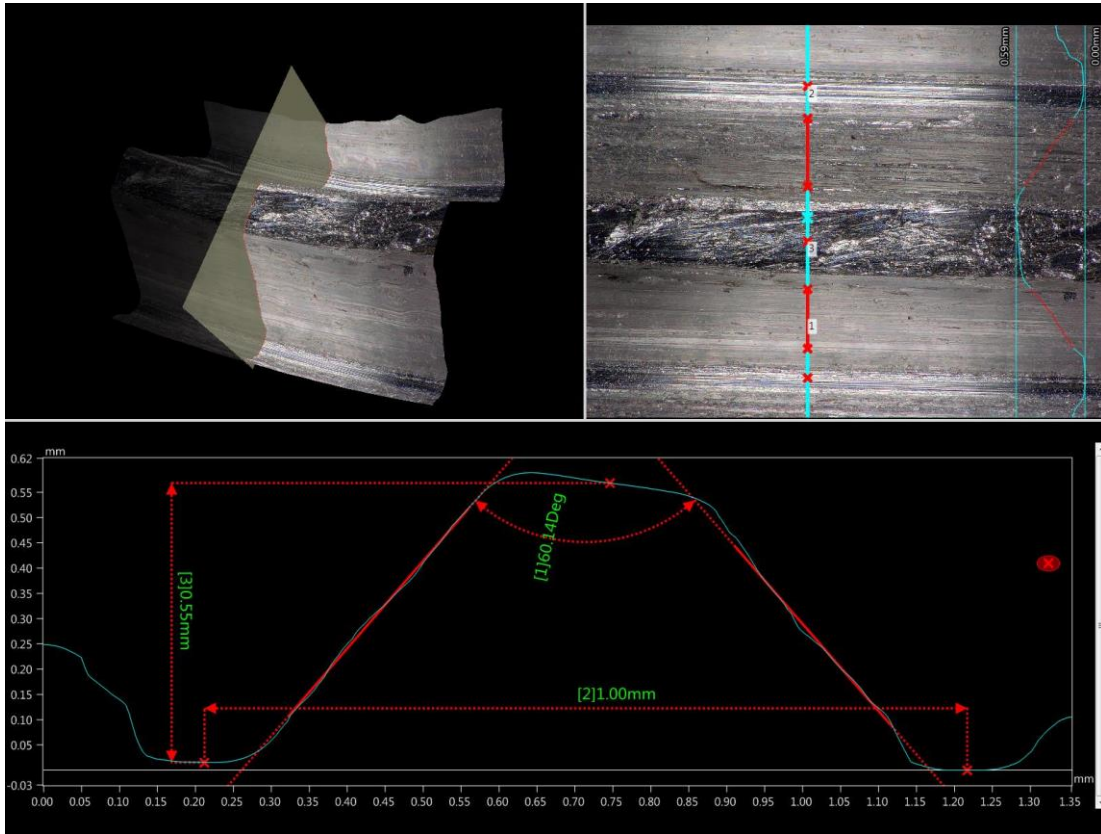
Varianta 1B



Varianta 1C



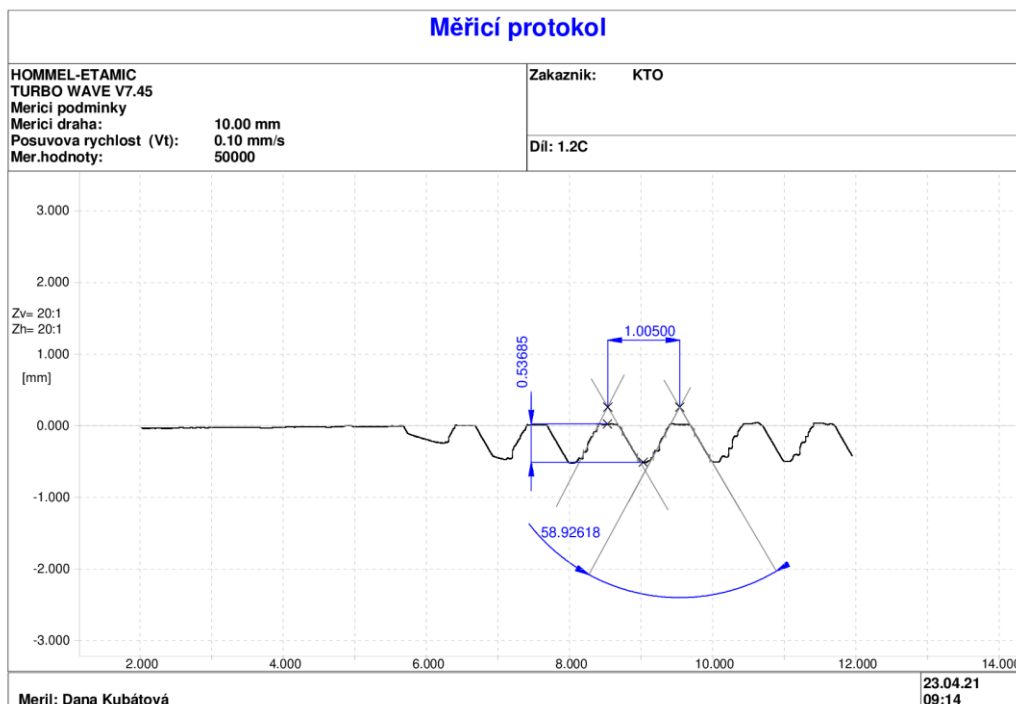
Varianta 2A



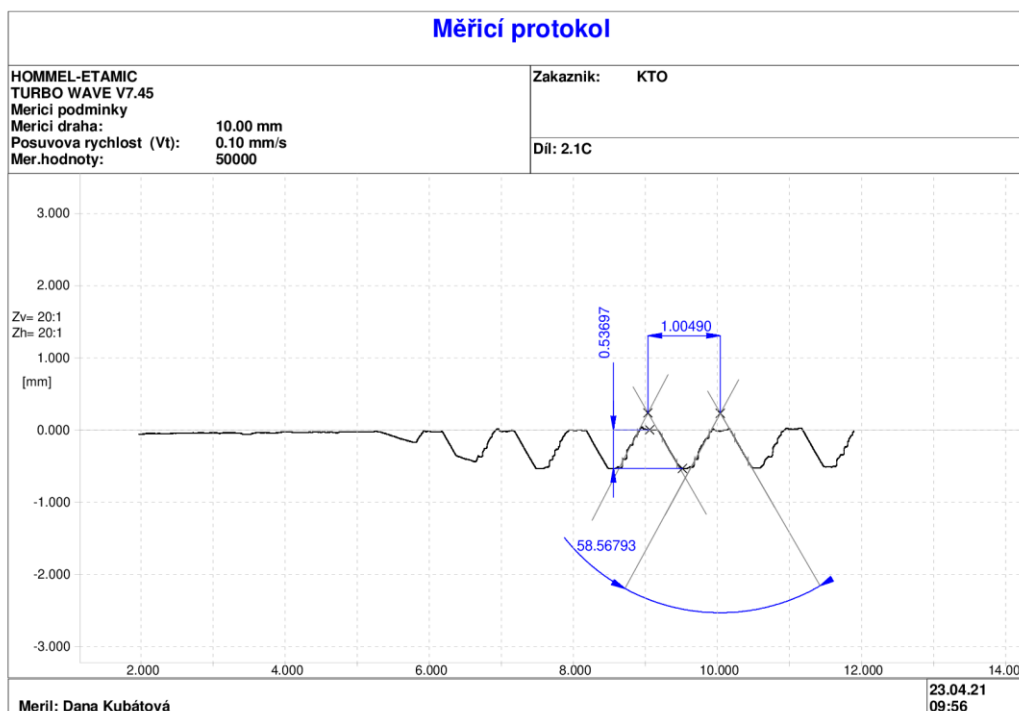
Varianta 2B

PŘÍLOHA č. 2

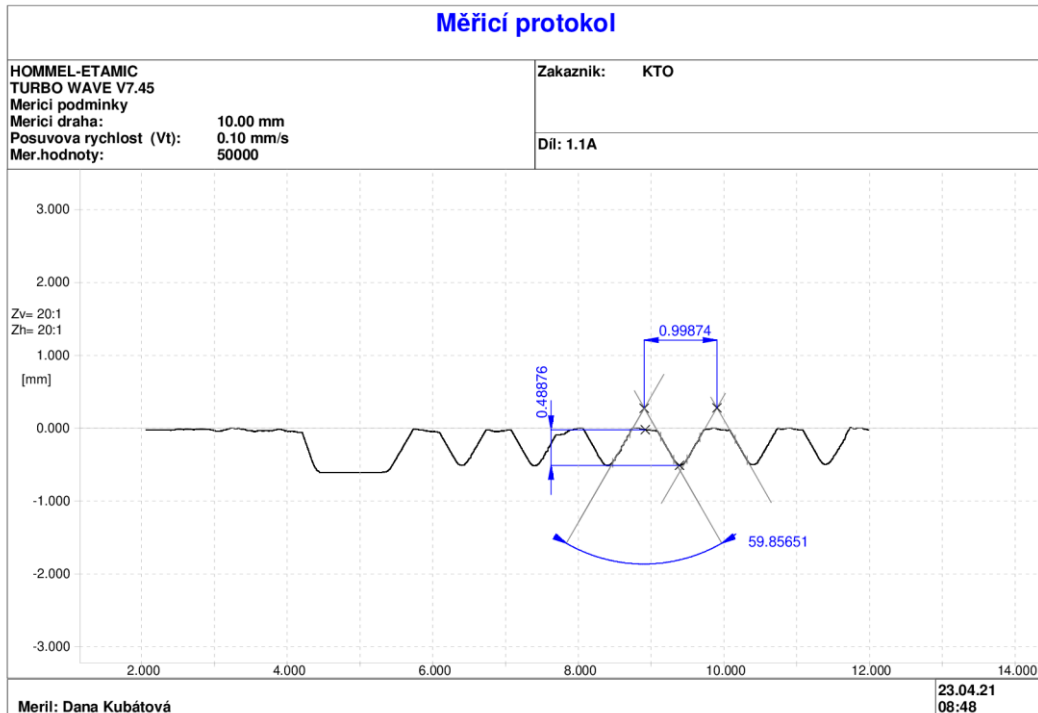
**Výsledky měření drsnoměrem/ profiloměrem Hommel Etamic
T8000**



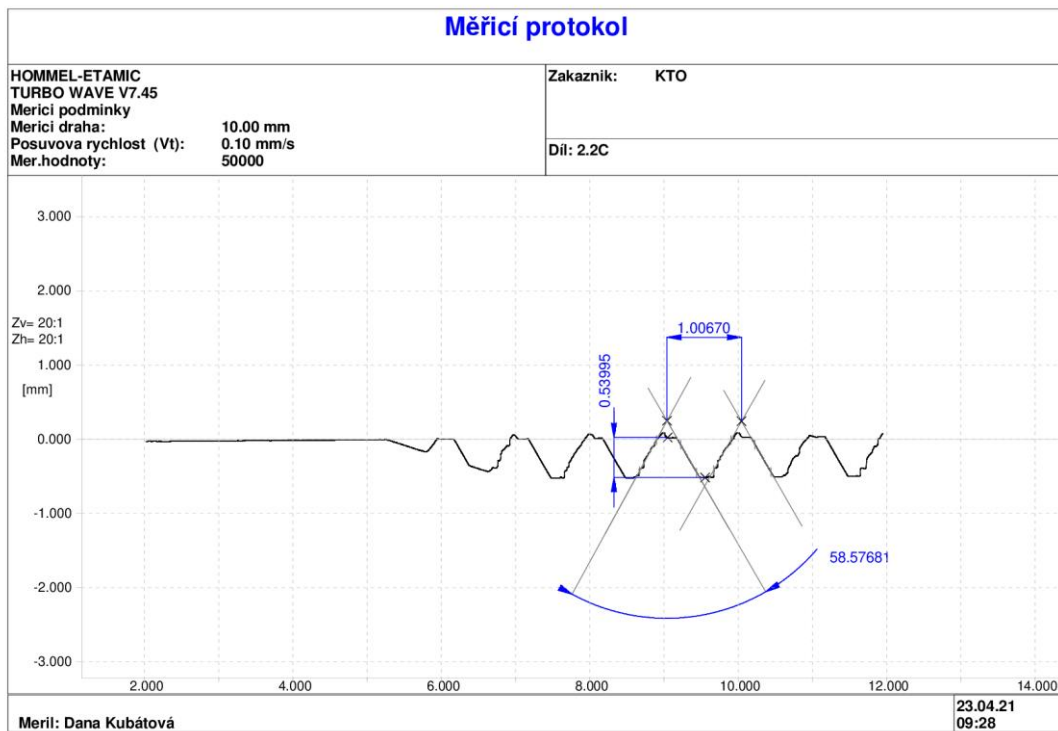
Varianta 1A



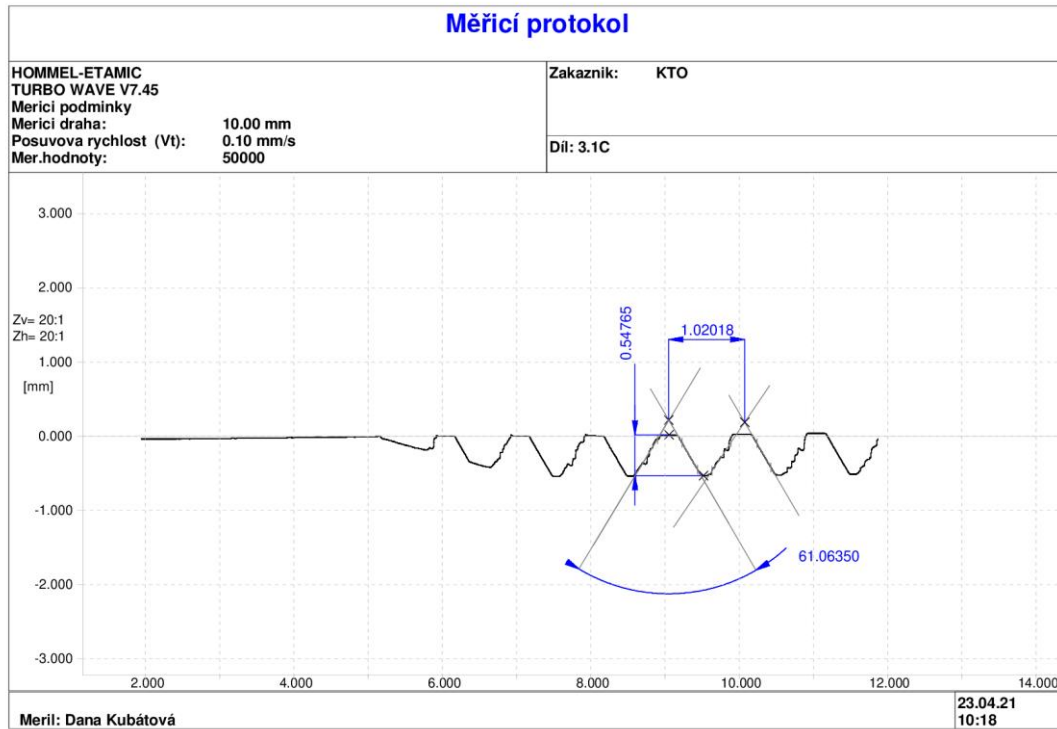
Varianta 1B



Varianta 1C



Varianta 2A



Varianta 2B

PŘÍLOHA č. 3

Výkres testovacího kusu

