



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI

TECHNOLOGY FOR A SELECTED PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Pavliš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petra Sliwková, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Jan Pavliš**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce: **Ing. Petra Sliwková, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh technologie výroby zadané součásti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V práci bude navržena výrobní technologie pro zvolenou součást. Součástí práce bude postup výroby, strojní a nástrojové vybavení a rozbor dosažených výsledků.

Cíle diplomové práce:

Teoretický rozbor zvolené problematiky.
Rozbor stávající technologie.
Návrh alternativní výrobní technologie.
Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, M. a M. PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. Vyd. 1. Praha: MM publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

KOCMAN, K. a J. PROKOP. Technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERN, s.r.o., 2001. ISBN 8021419962.

LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

PÍŠKA, M. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21.

V Brně, dne 25. 10. 2019

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem nové technologie na výrobu dílu zadaného firmou Frentech Aerospace s.r.o.

Teoretická část práce se zabývá rozбором problematiky třískového obrábění. V praktické části pak popisuje výrobu nyní zadaného dílu a navrhuje nový postup pro výrobu a to včetně vytvoření nástrojového listu. Závěr práce je věnován ekonomickému zhodnocení obou výrobních variant.

Klíčová slova

Obrábění, technologický postup, CNC, nástrojový list, ekonomické zhodnocení.

ABSTRACT

The thesis convey the information about creation of technology for the production of a part assigned by the company Frentech Aerospace s.r.o. The teoretical part is focused on analysis to problematic of machining. The practical part describes production of given part now and proposal new production plan also with tool management. The conclusion of thesis is devoted to economical evaluation of both production plans.

Key words

Machining, production plan, CNC, tool management, economical evaluation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PAVLIŠ, Jan. *Návrh technologie výroby zadané součásti* [online]. Brno, 2021 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129629>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Petra Sliwková

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh technologie výroby zadané součásti** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

11. 9. 2020

Datum

Bc. Jan Pavliš

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Petře Sliwkové, Ph.D. za konzultace, připomínky a cenné rady při vypracování diplomové práce. Dále děkuji společnosti Frentech Aerospace s.r.o. za umožnění zpracování diplomové práce a za cenné informace a podklady. V neposlední řadě pak rodině a přítelkyni za psychickou podporu v průběhu celého mého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
1 POPIS ZADANÉ SOUČÁSTI.....	9
1.1 Představení firmy Frentech Aerospace s.r.o.	9
1.2 Díl TC-Zelle	10
1.3 Materiál 1.4571	10
1.3.1 Obrobitelnost	11
1.3.2 Dělení korozivzdorných ocelí	12
2 POUŽITÉ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE	14
2.1. Frézování	14
2.1.1 Frézování – řezné podmínky.....	15
2.1.2 Frézování – řezné síly	17
2.1.3 Frézování – strojní časy	18
2.2 Vrtání	19
2.2.1 Rozdělení typů vrtání.....	20
2.2.2 Vrtání – řezné podmínky	21
2.2.3 Vrtání – řezné síly.....	23
2.2.4 Vrtání – jednotkový strojní čas.....	24
2.3 Řezné materiály	24
2.3.1 Povlakování slinutých karbidů.....	25
3 STÁVAJÍCÍ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE.....	27
3.1 Technologický postup.....	27
3.2 Řezání polotovaru	28
3.3 CNC MAZAK FH 580	29
3.3.1 Nástrojový list pro FH 580	30
3.4 Zámečnické pracoviště	32
3.5 Povrchová úprava	33
3.6 Konečná kontrola.....	33
4 NOVÝ TECHNOLOGICKÝ POSTUP.....	35
4.1 CNC VERSA 645	35
4.1.1 Upnutí výrobku.....	36
4.1.2 Nástrojový list pro CNC VERSA 645	37

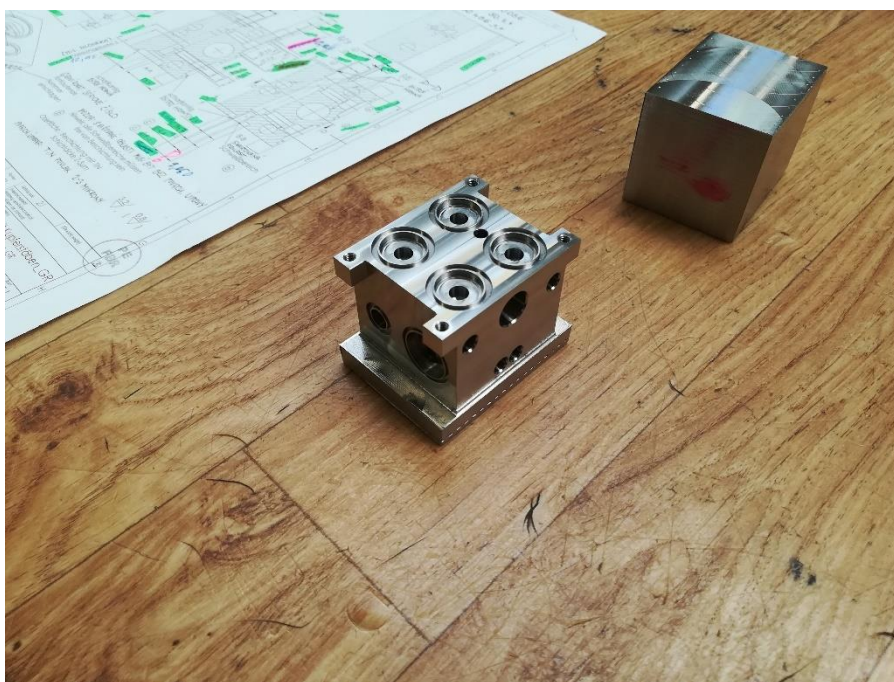
4.2	Výroba na CNC VERSA 645.....	42
4.3	Zámečnická operace.....	44
4.4	Nový technologický postup.....	45
5	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	46
5.1	Náklady na provoz stroje	46
5.2	Náklady na zámečnické pracoviště	48
5.3	Náklady na nástroje.....	49
5.4	Celkové náklady	50
	ZÁVĚR	51
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	52
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	54

ÚVOD

Základem pro tuto práci byla dlouholetá sériová výroba dílu TC-Zelle ve firmě Frentech Aerospace s.r.o. Česká společnost, která se zaměřuje na výrobu komponentů do leteckého a vesmírného průmyslu a přesným obráběním dle požadavků zákazníka. Kvůli narůstajícím požadavkům na přesnost a rychlost disponuje nejmodernějšími stroji. Práce se tedy zabývá návrhem nového technologického postupu pro tento díl, kde by byly zapojeny modernější stroje a tím zrychlena výroba.

V teoretické části práce je řešen stávající postup pro výrobu dílu TC-Zelle a charakteristika procesů.

V praktické části je návrh nového technologického postupu včetně volby nástrojů a ekonomického posouzení obou variant.

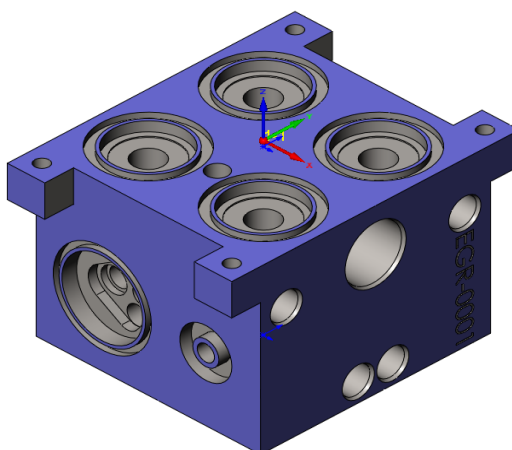


Obrázek 0.1: Zadaná součást TC-Zelle.

1 POPIS ZADANÉ SOUČÁSTI

Jedním z cílů této práce je návrh nového postupu pro díl TC-Zelle, který slouží jako pouzdro senzorů pro detekci plynů v odpadním potrubí.

Materiál si dodává zákazník jako polotovár, který je dále upravován pracovníky firmy Frentech Aerospace. Hotový výrobek je zobrazen na obrázku 1.1.



Obrázek 1.1: TC-Zelle.

1.1 Představení firmy Frentech Aerospace s.r.o.

Společnost Frentech Aerospace s.r.o. (dále jen Frentech Aerospace) je česká firma působící na trhu od roku 1994. Její produkce byla ze začátku zaměřena na obor lékařské techniky, mikroelektroniky a výrobu speciálních strojů. V roce 1997 začala spolupracovat s německou firmou Airbus na dílech do leteckého průmyslu a díky tomuto kontaktu začala investovat do moderních technologií, což byl jeden z důvodů, proč o pár let později firma navázala spolupráci s nejrůznějšími zahraničními partnery. Díky kvalitě vyrobených dílů a dobrým referencím se může firma nyní zabývat také vesmírným průmyslem a v minulosti se podílela na několika vesmírných projektech. [1]

Firma se řadí mezi menší až střední podniky. Pracuje zde okolo sta lidí a v jejich strojním parku jsou především CNC obráběcí stroje. Ve firmě jsou také i konvenční soustruhy, konvenční frézky či brusky. Nejčastěji používaným materiálem jsou slitiny hliníku či nerezové oceli. V modernějších projektech pak často titanové slitiny. Mimo výrobu firma dále poskytuje také [1]:

- montáže mechanických skupin i s podílem elektroniky,

- testování na vakuovou těsnost, funkční testy, geometrické testy, cyklické termální testy v řízené atmosféře i ve vakuu,
- návrh a konstrukce mechanických dílů a mechanických subsystémů dle požadavků zákazníků,
- technické a technologické poradenství,
- realizace projektů.

Součástí výroby jsou procesy, které k ní neoddělitelně patří. Tepelné zpracování, nedestruktivní zkoušky či povrchová úprava je zajištěna pomocí subdodavatelů s kvalifikací NADCAP (National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program, tj. akreditační program pro Aerospace výrobu). Procesy jako žíhání, vytvrzování, lepení, moření či některé druhy svařování jsou provázeny dokonce v samotné firmě. [1]

1.2 Díl TC-Zelle

Zadaný díl je určen především pro frézovací a vrtací operace. Je zde několik průchozích, i neprůchozích otvorů. Do výrobku se následně montuje elektronika, proto je kladen důraz na přesnost rozměrů. Pro zadaný díl zákazník dodá materiál, a tím je nerezová ocel 1.4571 dodávaná v 3 m profilu 60 x 40 mm.

1.3 Materiál 1.4571

Nerezová ocel 1.4571 (značení dle německé normy DIN 1013) nebo také ČSN 417348, 417353 (značení dle české normy EN 10278) je lehce dostupný materiál, který se používá především ve stavebním a chemickém průmyslu. Je možné ji použít i na výrobu tlakových nádob. Její výhodou je vhodnost pro svařování, které je nutné i u dílu TC-Zelle při následné montáži elektroniky. Tato ocel je odolná proti mezikrystalové korozi v celém rozsahu kritických teplot. Její silnou stránkou je i odolnost proti korozi vůči kyselým prostředím jako je kyselina sírová či fosforečná. Odolává také bodové korozi. Není vhodná pro díly, které musí mít malou drsnost kvůli její pracné leštitelnosti. [2]

Její chemické složení je zajímavé především díky přítomnosti titanu, který ocel stabilizuje především při vysokých teplotách. To zamezuje uhlíkové precipitaci na hranicích zrna a chrání tak nerez před korozi. Chemické složení a fyzikální vlastnosti v tabulce 1.1 a 1.2 [3].

Tabulka 1.1: Složení mat. 1.4571 [3].

Prvek	Obsah [hm.%]
C	0,0–0,08
Cr	16,5–18,5
Mb	2,0–2,5
Si	0,0–0,1
P	0,0–0,5
S	0,0–0,03
Ni	10,5–13,5
Ti	0,4–0,7
Mg	0,0–2,00

Tabulka 1.2: Vlastnosti materiálu [3].

Fyzikální a mechanické vlastnosti	Hodnota
Hustota	18 g / cm ³
Bod tání	1 400 °C
Mez pružnosti	193 GPa
Pevnost R _m	540-690 MPa
Mez skluzu Rp _{0,2}	240 MPa

1.3.1 Obrobitelnost

Obrobitelnost je pojem vyjadřující vliv fyzikálních a mechanických vlastností materiálu na celkový proces řezání a jeho finální výsledky. Z fyzikálních vlastností je důležitá především tepelná vodivost a to kvůli odvodu tepla při řezání. Z mechanických vlastností pak obrobitelnost ovlivňuje pevnost, houževnatost a tvrdost. Čím je materiál pevnější a tvrdší tím je hůře obrobitelný. Dle obrobitelnosti můžeme materiály zařadit do 4 skupin [4] :

- A – litiny a nekovové materiály,
- B – oceli a oceli na odlitky,
- C – barevné kovy,

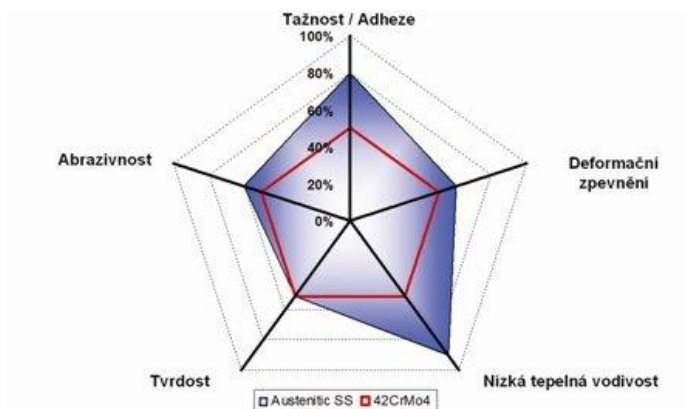
- D – lehké kovy.

Každá skupina je pak dále rozdělena do 20 tříd, kdy s rostoucím číslem se zvyšuje i obrobitelnost [4].

1.3.2 Dělení korozivzdorných ocelí

Korozivzdorné oceli jsou použity především v prostředích, kde je zapotřebí vysoká odolnost proti korozi a potřeba uchování si mechanických vlastností při vyšších teplotách. Kvůli četnosti ocelí na trhu můžeme korozivzdorné oceli rozdělit na [5]:

- martenzitické – tvrdé a abrazivní, obvykle magnetické,
- feritické – měkčí, nelze tepelně zpracovávat, magnetické,
- austenitické – nejběžnější, vysoký sklon k deformačnímu zpevnění,
- duplexní – obsahují feritickou i austenitickou fázi, houževnaté a pevné,
- PH nerezové oceli – velmi tvrdé a pevné, precipitačně vytvrzované, tepelně zpracovatelné.



Obrázek 1.2: Porovnání austenitické korozivzdorné oceli proti 42CrMo4 [5].

Na obrázku 1.2 je porovnání s legovanou ocelí 42CrMo4, která se často používá jako referenční materiál. Jsou vidět rozdíly především v tažnosti a nízké tepelné vodivosti. [5]

Vzhledem k vyšší tažnosti korozivzdorných ocelí než u běžných ocelí, se musí u řezných materiálů počítat s větší houževnatostí a nízkou adhezním povlakem. Geometrie řezné hrany by měla zajistit dobrou lámavost třísky a řezná rychlost by měla být zvýšena pro

zabránění adhezním jevům. Pozornost je třeba věnovat vrubovému opotřebení a odlupování povlaku. Ty by měli být vysoce otěruvzdorné. Mikrogeometrie řezné hrany by měla zohlednit i vysokou tendenci korozivzdorných ocelí pro deformační zpevnění. To lze zohlednit neustále měnící se hloubkou řezu a tím tak snížit riziko, že bude ostří deformováno při práci ve zpevněné vrstvě materiálu. Díky nízké tepelné vodivosti odchází s třískami méně tepla a tím je pak více namáhána řezná hrana. Při nastavování rychlostí a posuvů je tedy počítat i s plastickou deformací právě kvůli tepelné zátěži. Kvůli tvrdosti není potřeba měnit řezné síly, protože tvrdost korozivzdorných ocelí je srovnatelná s ocelí ČSN 15 142 [5].

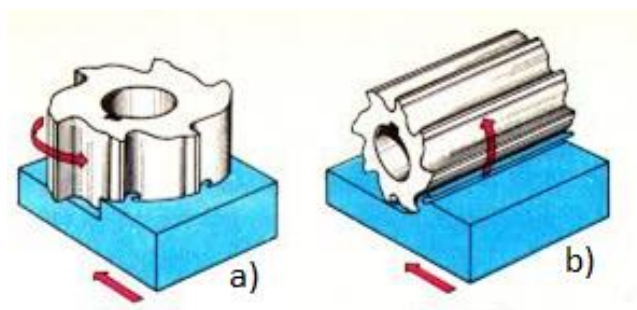
2 POUŽITÉ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE

Pro výrobu TC-Zelle je použito hned několik výrobních technologií. Materiál se dělí na pásové pile, následně se frézuje a vrtá. Díl se vyrábí na dvě upnutí.

2.1. Frézování

Frézování je často používaná obráběcí metoda, kde je nástrojem odebírán materiál obrobku. Fréza vykonává hlavní rotační pohyb a posuv nejčastěji obrobek, což je pohyb vedlejší. Výhodou moderních obráběcích CNC center je možnost pohybu ve všech osách a to včetně rotací kolem os. Proces řezání je přerušovaný a fréza odebírá krátké třísky s proměnlivou tloušťkou. [6]

Frézování se rozlišuje dle technického hlediska na válcové a čelní frézování. Zatímco u válcového frézování je využíván obvod nástroje a osa frézy je rovnoběžná s osou obráběcí plochy, u čelního frézování je osa kolmá a využívá se pouze čela nástroje. V porovnání obou metod se čelní udává jako efektivnější. [6]



Obrázek 2.1: Fréza: a) čelní b) válcová [17].

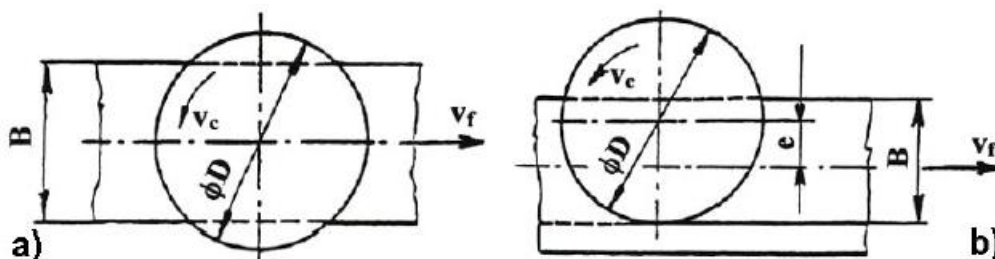
Z těchto frézovacích metod vycházejí další jako například okružní či planetové frézování. Okružní frézování se používá u obrobků rotačního tvaru a nástroj řeže obvodem. Osy obrobku a osy nástroje jsou skloněné a hloubka řezu se nastavuje ve směru kolmém na osu obrobku. Tímto způsobem se obrábí jak vnitřní, tak vnější válcové plochy. [7]

U válcového frézování rozlišujeme sousledné a nesousledné, což se odvíjí od kinematiky řezného procesu. Při nesousledném frézování je rotace nástroje proti směru posuvu. Nástroj tak vniká do povrchu obrobku a vzniká tak obrobená plocha. Tloušťka třísky roste z nulové hodnoty na maximální. U sousledného frézování působí na obrobek složka řezné síly,

kteřá směřuje nahoru. Mezi hlavní výhody nesousledného frézování patří menší opotřebení stroje a málo závislá trvanlivost nástroje na povrchu obrobku. Nevýhodou je pak horší jakost povrchu. [7]

Při sousledném frézování pak naopak nástroj nerotuje naproti, ale ve směru posuvu. Tloušťka třísky je maximální po vniknutí nástroje do obrobku. Působí zde složka řezné síly tak jako u nesousledného, ovšem opačným směrem tzn. do stolu nástroje. Sousledné frézování může probíhat pouze na speciálně přizpůsobeném stroji. Výhodou je vyšší trvanlivost použitých nástrojů a jednodušší upínání obrobku. Frézovaná plocha má lepší jakost a celá soustava má menší tendenci ke kmitání. Tato metoda je ovšem nevhodná při obrábění tvrdých polotovarů či silně znečištěných ploch. [7]

Čelní frézy mají břity umístěné na obvodu a na čele nástroje, proto pracuje nástroj zároveň sousledně i nesousledně. Rozlišujeme u nich symetrické a nesymetrické frézování podle polohy osy nástroje. [7]



Obrázek 2.2: Čelní frézování: a) symetrické b) nesymetrické [8].

2.1.1 Frézování – řezné podmínky

U všech druhů frézování koná hlavní rotační pohyb nástroj. Obrobek většinou koná posuvový pohyb přímočarý. U výše zmíněného planetového či okružního pak koná pohyb rotační. Řezná rychlost se vypočítá dle vztahu 2.1 [7]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} [m \cdot min^{-1}], \quad (2.1)$$

kde:

D [mm] – průměr obráběné plochy,

n [min⁻¹] – otáčky nástroje.

Základní jednotkou posuvové rychlosti je posuv na zub f_z , ze kterého se vypočítá posuv na otáčku f_n dle vztahu 2.2 [7]:

$$f_n = f_z \cdot z \text{ [mm]}, \quad (2.2)$$

kde:

z [-] – počet zubů frézy.

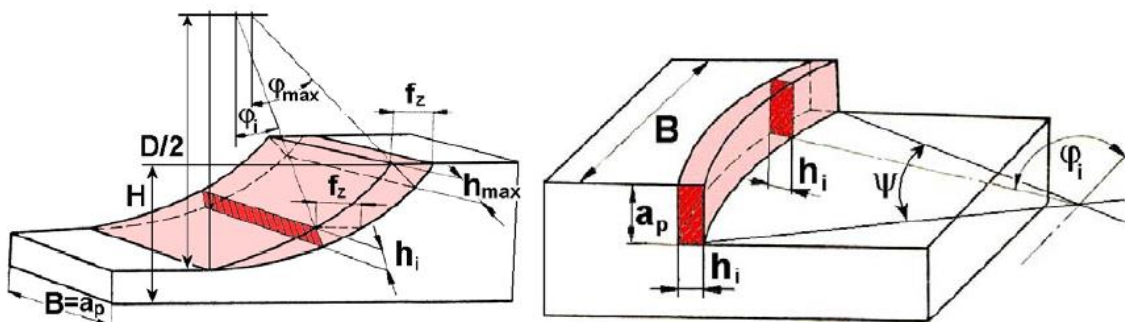
Po upravení pak dostaneme vztah pro výpočet posuvové rychlosti v_f dle vztahu 2.3 [7]:

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}. \quad (2.3)$$

Jak již bylo zmíněno, při nesousledném frézování válcovou frézou dochází ke změně tloušťky třísky h_i . Ta přechází z nulové do maximální hodnoty a při sousledném frézování naopak. Proto je nutné počítat s úhlem posuvového pohybu φ_i . Vzorec pro výpočet tloušťky třísky je [7]:

$$h_i = f_z \cdot \sin(\varphi_i) \text{ [mm]}, \quad (2.4)$$

U posuvového pohybu využijeme obrázku 2.3 pro odvození.



Obrázek 2.3: Průřez třísky u čelního a válcového frézování [8].

Jmenovitý průřez třísky A_{Di} se vypočítá jako [7]:

$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.5)$$

Pokud bude $\varphi = \varphi_{\max}$ tak hodnota maximálního jmenovitého průřezu třísky $A_{D\max}$ bude [7]:

$$A_{D\max} = a_p \cdot h_{\max} = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_{\max} \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.6)$$

$$\sin \varphi_{\max} = \frac{2}{D} \cdot \sqrt{D \cdot H - H^2} \text{ [-]} \quad (2.7)$$

U čelního frézování je tloušťka třísky také závislá na úhlu nastavení hlavního ostří κ_r , které je v obrázku 2.3 nastaven na 90° . Okamžitá hodnota je dána vztahem [7]:

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi \cdot \sin \kappa_r \text{ [mm]} \quad (2.8)$$

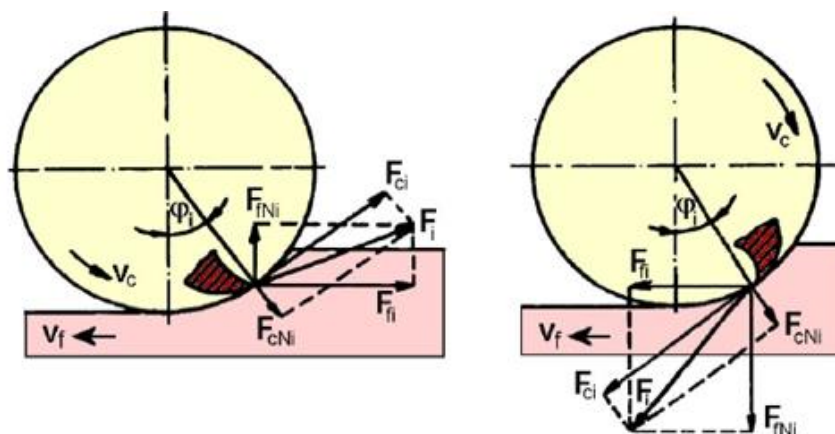
Z výše uvedených rovnic stačí pro úplnost dopočítat šířku třísky b_i (2.7) a jmenovitý průřez třísky A_{di} (2.8) [7].

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \text{ [mm]} \quad (2.9)$$

$$A_D = b \cdot h = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.10)$$

2.1.2 Frézování – řezné síly

Pro určení řezných složek u frézování se vychází ze silových poměrů na jednom břitu pod úhlem φ_i . Na obrázku 2.4 je vidět frézování válcovou frézou, kde se celková řezná síla F_i , rozkládá na řeznou složku řezání F_{ci} a složku normálovou F_{cNi} . [7]



Obrázek 2.4: Sousledné a nesousledné frézování.

Právě řezná složka síly F_{ci} se vypočítá vztahem: [7]

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [N]}, \quad (2.11)$$

kde:

k_{ci} – měrná řezná síla [N],

a_p – šířka záběru ostří [mm],

f_z – posuvová rychlost [mm^{-1}].

Neznámá k_{ci} se vypočítá ze vztahu:

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \varphi \cdot \sin \kappa_r)^{1-x}} [MPa], \quad (2.12)$$

kde:

C_{Fc} – konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu [-],

x – exponent vlivu tloušťky třísky [-].

Po následné úpravě vztahu (2.10) a (2.11) dostaneme vztah [7]:

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin \varphi^x [N] [7] \quad (2.13)$$

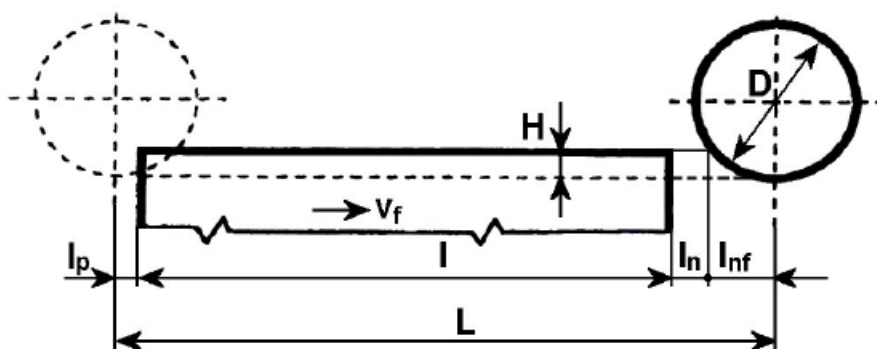
Protože u frézování nebývá v záběru pouze jeden břit ale více, je potřeba do výsledné síly zahrnout i ostatní zuby v záběru. Pro čelní (2.13) a válcové (2.14) frézování vypadá vztah [7]:

$$F_{ci} = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i [N] [7] \quad (2.14)$$

$$F_{ci} = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i [N] [7] \quad (2.15)$$

2.1.3 Frézování – strojní časy

Pro výpočet jednotkových strojních časů je použit obrázek 2.5, kde jsou vidět základní poměry [7].



Obrázek 2.5: Dráha frézy válcového frézování.

Obecné vyjádření jednotkového strojního času určuje vztah 2.14:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} [\text{min}]; \quad (2.16)$$

kde:

L – dráha nástroje [mm],

v_f – posuvová rychlost [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$].

2.2 Vrtání

Tato výrobní metoda se využívá pro zhotovování děr do plného materiálu, nebo pro zvětšení díry v převrtaném materiálu. Nástroj vykonává rotační pohyb a jeho osa je zpravidla kolmá k obráběné ploše. Posuvový pohyb zde vykonává také nástroj. Pokud ovšem vrtáme na soustruhu, rotační pohyb vykonává obrobek a posuvový vrták. Hlavní problém u vrtání bývá odvod třísky z místa řezu. [7]

U všech vrtacích nástrojů je charakteristické, že se řezná rychlost snižuje od obvodu ke středu nástroje. V ose totiž dosahuje nulové hodnoty. Proto se považuje řezná rychlost za obvodovou na největším průměru nástroje. Proto se řezná rychlost v_c , posuvová rychlost v_f a rychlost řezného pohybu v_e vyjadřuje vztahy [7]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} [m \cdot \text{min}^{-1}], \quad (2.17)$$

$$v_f = f \cdot n [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}], \quad (2.18)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 10^{-3} \cdot n \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + f^2} [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}], \quad (2.19)$$

kde:

D – průměr obráběné díry [mm],

n – otáčky nástroje [min^{-1}],

f – posuv nástroje na jednu otáčku [mm].

Jak již bylo zmíněno, vrtáky (zejména výhrubníky, výstružníky a záhlubníky) bývají vícebřité, a je proto potřeba definovat hodnotu posuvu na zub f_z :

$$f_z = \frac{f}{z} [\text{mm}], \quad (2.20)$$

kde:

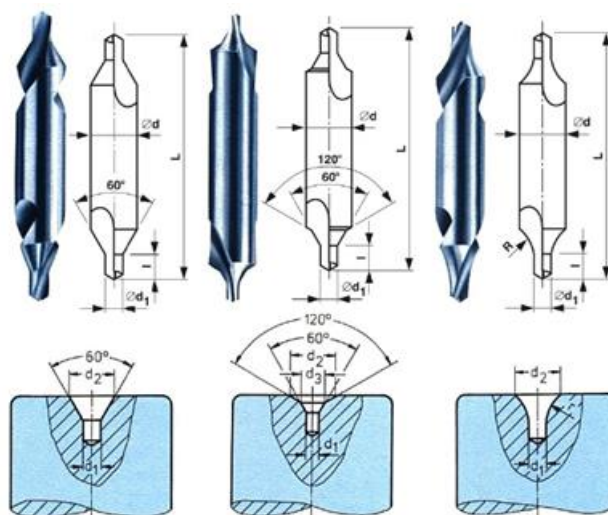
z – počet zubů (břitů) nástroje [-].

2.2.1 Rozdělení typů vrtání

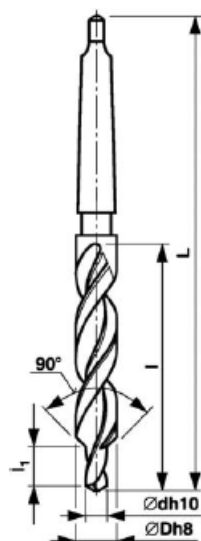
Podle typu technologie a nástroje k tomu použitého lze vrtání rozdělit do několika skupin [8]:

- navrtávání,
- vrtání krátkých děr (poměr průměru díry / délce díry = 1:5 až 1:10),
- vrtání hlubokých děr (poměr průměru díry / délce díry = 1:10 a větší),
- vrtání průchozích děr,
- speciální případy vrtání,
- vrtání v nekovových materiálech.

U navrtávání je počítáno se zajištěním nástroje do plného materiálu a nejčastěji se používají vrtáky středící. U krátkých děr jsou používány vrtáky šroubovitě, kopinaté, s vyměnitelnými břitovými destičkami či vyměnitelnou špičkou. Pro vrtání hlubokých děr či děr předpracovaných je využito vrtáků hlavnových, ejektorových a u menších děr vrtáků šroubovitých. Při vrtání průchozích děr se počítá s odřezáváním obráběného materiálu ve tvaru mezikruží korunkovým vrtákem. Speciálních případů je velké množství, ale pro představu je možno uvést vrtání do plechu tvářecím vrtákem či odstupňovaným vrtákem pro vrtání odstupňovaných děr. V poslední skupině vrtání nekovových materiálu se počítá se speciální geometrií a konstrukcí vrtáků, pro vytipovaný materiál. Na obrázcích 2.6 a 2.7 jsou zobrazeny různé typy středících vrtáků a vrták odstupňovaný [8].



Obrázek 2.6: Středící vrtáky [8].



Obrázek 2.7: Odstupňovaný vrták [8].

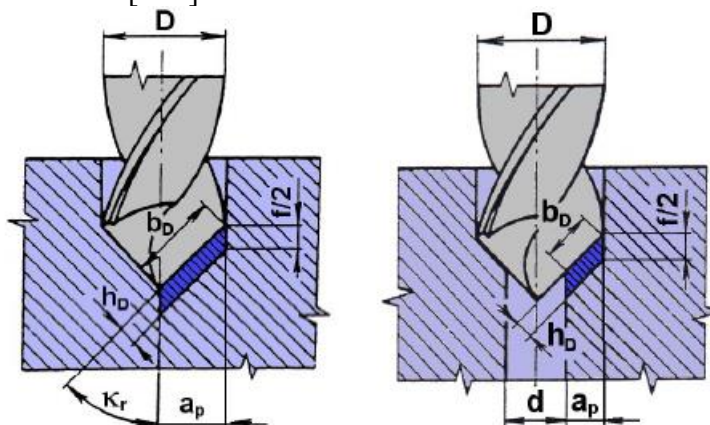
2.2.2 Vrtání – řezné podmínky

Pro výpočet průřezu třísky A_D je vycházeno geometrii z obrázku 2.8, kde je materiál obráběn šroubovitým vrtákem a to jedním břitem [8].

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} [\text{mm}^2], \quad (2.21)$$

kde:

b_D – jmenovitá šířka třísky [mm],
 h_D – jmenovitá tloušťka třísky [mm],
 a_p – šířka záběru ostří [mm],
 f – posuv na otáčku [mm].



Obrázek 2.8: Průřez třísky při vrtání [8].

Pokud by díra byla předvrtaná o průměru d byl by použit vztah [8]:

$$A_D = \frac{(D - d) \cdot f_n}{4} [mm^2] \quad (2.22)$$

Jmenovité hodnoty tloušťky třísky h_d a šířky třísky b_d (vzorec 2.23 pro předvrtanou díru o průměru d) pro šroubovité vrták jsou pak vyjádřeny vztahy [8]:

$$h_D = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r [mm], \quad (2.23)$$

$$b_D = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r} [mm], \quad (2.24)$$

$$b_D = \frac{D - d}{2 \cdot \sin \kappa_r} \cdot \sin \kappa_r [mm]. \quad (2.25)$$

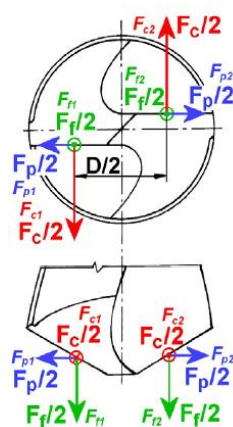
2.2.3 Vrtání – řezné síly

Při vrtání šroubovitým vrtákem dochází k oddělování materiálu pod oběma břity současně, a proto jsou výsledné síly tvořeny součty nebo rozdíly těchto hodnot. Na obrázku 2.9 je vidět grafické znázornění těchto sil a základ pro stanovení silových vzorců. Rovnice slouží k vypočítání posuvové síly F_f , pasivní síly F_p a řezné síly F_c [8].

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} [N], \quad (2.26)$$

$$F_p = F_{p1} - F_{p2} [N], \quad (2.27)$$

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} [N]. \quad (2.28)$$



Obrázek 2.9: Řezné síly při vrtání [8].

Pro výpočet řezných sil je zapotřebí použít empirických vztahů [8]:

$$F_f = C_f \cdot D^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} [N], \quad (2.29)$$

$$F_c = C_c \cdot D^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} [N]. \quad (2.30)$$

kde:

C_{Ff} , C_{Fc} – konstanty vyjadřující vliv materiálu[-],

x_{Ff} , x_{Fc} – exponenty vyjadřující vliv průměru vrtáku[-],

y_{Ff} , y_{Fc} – exponenty vyjadřující vliv posuvu na otáčku [-],

D – průměr vrtáku [mm],

f – posuv na otáčku [mm].

Z výše uvedených rovnic lze jednoduše sestavit rovnici pro výpočet krouticího momentu M vztažený k ose nástroje. Pro zjednodušení zavedeme konstanty C_m a x_m [8].

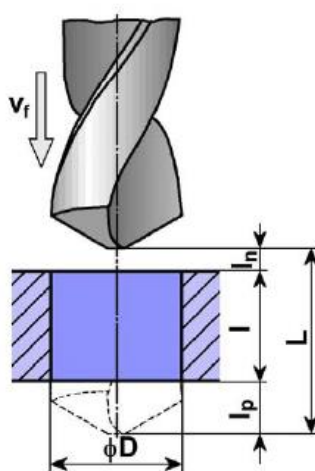
$$M_k = C_m \cdot D^{x_m} \cdot f^{y_{Fc}} [N \cdot mm]. \quad (2.31)$$

Poslední výpočet je pak pro určení řezného výkonu P_c [8].

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2 \cdot 60 \cdot 10^3} = \frac{F^c \cdot v^c}{1,2 \cdot 10^5} [kW]. \quad (2.32)$$

2.2.4 Vrtání – jednotkový strojní čas

Pro výpočet strojního času vrtání t_{AS} je uvažováno vrtání průchozí díry dvoubřitým vrtákem [8].



Obrázek 2.10: Vrtání průchozí díry [7].

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} [min], \quad (2.33)$$

kde:

l_n – délka náběhu vrtáku [mm],

l – délka vrtané díry [mm],

l_p – délka přeběhu vrtáku [mm],

n – počet otáček vrtáku [min^{-1}],

f – posuv na otáčku [mm].

2.3 Řezné materiály

Kvůli vysoké náročnosti řezných procesů se používají kovové i nekovové řezné nástroje. Nejčastěji používané jsou slinuté karbidy. Rozdělení nepovlakovaných slinutých karbidů dle normy ČSN ISO 513 je v tabulce 2.1.

Tabulka 2.1: Rozdělení slinutých karbidů [9].

Skupina	Efektivní aplikace
P	SK pro dlouhou plynulou třísku, nelegovaná, nízkolegovaná, litá ocel, nástrojová ocel, feritická a martenzitická korozivzdorná ocel
M	SK pro dlouhou a střední třísku, austenitická ocel, korozivzdorná, žáruvzdorná, žárupevná, nemagnetická
K	SK pro krátkou a drobnou třísku, nelegovaná a legovaná šedá litina, temperovaná a tvárná litina
N	SK pro neželezné materiály, slitiny hliníku, slitiny mědi, duroplasty, tvrdá guma
S	SK pro superslitiny Ni nebo Co, Titan a jeho slitiny
H	SK pro obrábění oceli s pevností nad 1 500 MPa, kalené oceli, tvrzené litiny

U výroby slinutých karbidů je základním materiálem karbid wolframu, který se pojí s kobaltem. Další využití mají pak karbidy tvrdých kovů jako je titan, tantal, niob nebo chrom [9].

2.3.1 Povlakování slinutých karbidů

Na slinuté karbidy se často nanáší chemické povlaky, které zvyšují požadované vlastnosti nástroje. Kvůli podobnosti metod nanášení se zavedlo jednoduché rozřazování do generačních skupin. Skupiny jsou [9]:

- 1. generace – jednovrstvý povlak (nejčastěji karbid titanu TiC) s tloušťkou kolem 6 μm ,
- 2. generace – jednovrstvý povlak (nitrid titanu, karbonitrid titanu) s tloušťkou 7–13 μm a bez nebezpečí odloupenutí vrstvy při řezném procesu,
- 3. generace – vícevrstvý povlak, kde mezi vrstvami jsou naznačeny přechody a každá vrstva má své vlastnosti,
- 4. generace – stejný princip jako u třetí generace, ale více vrstev a mezivrstev.

Nejvíce se využívají vícevrstvé povlaky, které dokážou splnit požadované vlastnosti na obráběcí nástroj [9].



Obrázek 2.11: Povlakované VBD [18].

Mimo slinuté karbidy se používají takzvané CERMETY. Tento název vznikl zkratkou z anglických slov „Ceramics“ a „Metal“. Materiál má tedy tvrdost kovových materiálů a houževnatost keramiky. Mají vysokou odolnost proti opotřebení a nabízí možnost využít vyšších řezných rychlostí. [9]

Další z používaných materiálů je řezná keramika. Je to krystalický materiál, který má hlavní složku nekovového charakteru. Dle chemického složení můžeme řeznou keramiku rozdělit na oxidovou a nitridovou. Zatímco u oxidové je hlavní složkou oxid hlinitý (Al_2O_3), tak u nitridové je to nitrid křemíku (Si_3N_4). Využívá se především kvůli dobré odolnosti vůči teplotním šokům. [9]

Poslední kategorií jsou pak supertvrdé řezné materiály. Jedná se o dvě synteticky vyrobené látky a to polykrystalický diamant (PKD) a kubický nitrid bóru (KNB). Tyto materiály jsou vynikající jak pro možnost využití vysokých řezných rychlostí, tak pro jejich odolnost vůči negativním efektům. Bohužel jejich syntéza je velmi drahá, což se odráží na finální ceně. [9]



Obrázek 2.12: Polykrystalický diamant [10].

3 STÁVAJÍCÍ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE

Tato kapitola je věnována stávající technologii na výrobu dílu TC-Zelle. V podkapitole 3.1 je vidět stávající výrobní postup firmy Frentech Aerospace. V dalších kapitolách jsou pak jednotlivé operace podrobně rozebrány.

3.1 Technologický postup

Tabulka 3.1: Starý technologický postup.

		VÝROBNÍ POSTUP PRO DÍL TC-Zelle		
Název součástky: TC-Zelle		Číslo výkresu součásti: 4.271-7305		Datum vydání postupu: 6.6.2020
Dne: 26.04.2018		Vyhotovil: Jan Pavliš		Polotovary: Profil 60x40-1.4571
Číslo op. pořadové	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště		Dílna	Popis práce v operaci
Číslo orientační	Třídící číslo			
10/10	K03	Sklad	FA	Vstupní kontrola materiálu
20/20	P01	Pásová pila Forte 05967	FA	Řezat materiál na L=44mm
30/30	F14	vertikální centrum FH 580 35326	FA	Program 5430 Frézovat hotový tvar Vrtat otvory Předvrtat pro závity pro tvářecí závitník Mezioperačně balit do síťoviny Nástroje dle nástrojového listu 5430
40/40	Z01	Zámečnická práce 0941	FA	Celkově odjehlit Tvářet závity Díly odmastit v acetonu Mezioperačně balit do čistých bubl. Sáčků Značení ser. číslem
50/50	K04	Kontrola 9863	FA	Mezioperační kontrola
60/60	K002	Povrchová úprava	FA	Povlak TiN o tl. 2-3µm ze dvou směrů
70/70	K04	Kontrola 9863	FA	Konečná kontrola
80/80	DDD	Sklad	FA	Díl do sestavy, zařadit do KASYSu

Z technologického postupu je vidět, že po počátečním zpracování polotovaru je díl vyráběn na jednom CNC centru FH580, kde je zajištěno jak frézování, tak vrtání všech otvorů. Vzhledem ke snaze zlepšit výrobní postup se proto práce v dalších částech bude zabývat především operací číslo 30 a 40.

3.2 Řezání polotovaru

Materiál je nakupován přímo firmou Frentech Aerospace a je dodáván v profilu 60 x 40 mm v délce 3 m. Vzhledem k velikosti hotového dílu je tedy třeba nařezat na lépe opracovatelný rozměr. Z výkresové dokumentace vychází délka řezu na 44 mm. Materiál je řezán na automatické pásové pile FORTE SBA 361. Výhoda této pily je její automatické podávání materiálu, čímž odpadá potřeba obsluhy po každém řezu. Pilové pásy jsou dodávány přímo společností FORTE a obsluhu stroje provádí zaměstnanci.



Obrázek 3.1: Pásová pila FORTE SBA 361 [10].

Tabulka 3.2: Parametry pásové pily [10].

Řezný rozsah	360 mm
Řezná rychlost	11–110 m/min
Výkon motoru	6,9 kW
Minimální řezná délka	3 mm
Minimální řezný průměr	10 mm
Rozměry stroje	1 780 x 2 225 mm

Pro výpočet hmotnosti polotovaru vynásobíme hustotu materiálu s nařezaným objemem. Hustota materiálu 1.4571 je 8 g/cm³. Vztah tedy vypadá:

$$m = \rho \cdot V \quad (3.1)$$

$$m = \rho \cdot d \cdot \delta \cdot v = 8000 \cdot 0,06 \cdot 0,04 \cdot 0,044 = 0,8448 \text{ kg}$$

Jeden nařezaný polotovar bude mít hmotnost 0,8448 kg. Nejedná se o těžký polotovar a proto je možná manipulace v rukách. Polotovary se skládají do bedny, ve které jsou přemístěny na další operaci.

3.3 CNC MAZAK FH 580

Po operaci řezání jsou polotovary přemístěny na další pracoviště, což je CNC obráběcí centrum FH 580 od společnosti MAZAK. Jedná se o horizontální obráběcí centrum se specifikacemi dle tabulky 3.3.

Tabulka 3.3: Parametry Mazak-FH 380 [11].

Pojezdy (osa X, osa Y, osa Z)	710 mm, 610 mm, 660 mm
Pracovní plocha	500 x 500 mm
Max. otáčky	12 000 min ⁻¹
Počet míst v zásobníku	60
Příkon stroje	22 kW
Krouticí moment	270 Nm
Hmotnost stroje	10 600 kg



Obrázek 3.2: MAZAK FH 580 [11].

Jedná se o starší typ obráběcího centra, které je ve firmě od roku 2005. Výroba TC-Zelle se vyrábí na tomto stroji od první zakázky z roku 2010. Výhodou stroje je velký počet míst v zásobníku, čímž je možno dopředu seřadit a nastavit všechny potřebné nástroje na výrobu dílu.

3.3.1 Nástrojový list pro FH 580

V tabulce 3.3 je vidět nástrojový list sestavený technologem pro splnění výkresové dokumentace zadané zákazníkem. Kvůli velkému množství otvorů s různými průměry je zapotřebí použít více nástrojů. V tabulce je uvedeno pořadí použitých nástrojů, jejich zkrácený popis pro identifikaci seřizovače a následně vypočítaný strojní čas pro obrobení jednoho dílu.

Tabulka 3.4: Nástrojový list FH 580.

Č. nást.	Název nástroje	Průměr [mm]	Informace	Upínač	Strojní čas
1	Fréza	25B	Fréza SECO, R0.8,3zub,Lodl=37	Weldon	0:11:11
2	Fréza	20B	Fréza SECO, R0.4,3zub,Lv=40	ER32/120	0:05:30
3	Fréza	20C	Fréza SECO, R0.4,3zub,Lv=40	Weldon	0:04:55
4	Fréza	20A	Fréza Jabro, Lb=36	Weldon	0:01:16
5	Navrtávák	5,5	A3265	ER16/120	0:01:07
6	Navrtávák	5	Lv=28	ER16/120	0:05:02
7	Navrtávák	3	Lv=19	ER16/120	0:01:38
8	Fréza	8B	Tornado, Lb=6, Hrub	ER16/120	0:02:40
9	Fréza	6A	Tornado, Lb=4, Lv=15,Hrub	ER16/120	0:01:19
10	Fréza	4A	Tornado, Lb=4, Lv=15,Šlicht	ER16/120	0:05:02
11	Vrták	3,5	Lv=40, Vnitřní chlazení	ER25/120	0:02:56
12	Vrták	2,5	TML, Lv=38, Vnitřní chlazení	ER16/120	0:01:28
13	Vrták	2,8	TML, Lv=30, Vnitřní chlazení	ER16/120	0:01:08
14	Vrták	3,4	TFT, Lv=35, Vnitřní chlazení	ER16/120	0:00:52
15	Vrták	3,3	Tooltec, Lv=38	ER16/120	0:01:02
16	Vrták	5	Lv=45, Vnitřní chlazení	ER25/120	0:01:28
17	Vrták	3	TFT, Vnitřní chlazení	ER25/120	0:00:38
18	Vrták	16,1B	Excentr držák, čelní picco s=1,5	Tyč	0:11:14
19	Fréza	6A	Srážecí fréza D6	ER16/120	0:00:58
20	Vrták	7,3	Krátký držák, čelní picco s=2,27-2,28	Tyč	0:00:47
21	Výstružník	3	Výstružník D3H7	ER16/120	0:00:19
22	Vrták	17,1B	Pilka D100 Iscar, S=3	Tyč	0:03:57
23	Vrták	10	krátký držák, čelní picco s=1,5	Tyč	0:00:53
24	Vrtací tyč	6	D6,05 picco R0,5, Lodm=137	Tyč	0:01:03
25	Fréza	8	Tornado, Lb=6, šlicht	ER25/120	0:02:13
26	Výstružník	3,5	D3,5, lb=38,lv=45,	ER16/120	0:00:31
27	Fréza	100A	Pilka D100 Iscar, S=3	tyč	0:05:16
28	Fréza	63	D63, WSX445	MP9120	0:01:00
29	Vrták	3,2	Titex, D3,25	ER16/120	0:00:50
30	Výstružník	3,3	D3,26 din 212,Lodl=36		0:00:24
31	Vrták	9,8	Vrták D9,8.Lb=50, Vnitřní chlazení	ER25/120	0:00:52
32	Vrták	4,9	Vrták D4,9, Lb=50, Vnitřní chlazení	ER16/120	0:02:31
33	Fréza	8E	Fréza srážecí D8x30,4zuby,lodm=155	ER16/120	0:00:22
34	Výstružník	5	D5,02, Lodl=50	RD120	0:02:59
35	Výstružník	10	D10,02, Lodl=50	RD120	0:02:05

Součet všech strojních časů jednotlivých nástrojů je 1:27:30 sekund. Časy jsou naměřeny strojem při obrábění a zkontrolovány operátorem.

3.4 Zámečnické pracoviště

Před další operací je potřeba díl zbavit všech otřepů, odjehlit všechny otvory které jsou vyvrtány a tvářecím závitníkem udělat závity dle výkresové dokumentace. Po provedení všech těchto úkonů na kusech celé dávky, musí být výrobky očištěny v acetonu, kvůli následnému nánosu povrchové úpravy. Posledním úkonem na zámečnickém pracovišti je značení jednotlivých dílů mikroúderovým značícím strojem, kde je do dílu vyznačeno sériové číslo podle předem domluvených pravidel.

Zbavení se otřepů (odjehlování) probíhá za použití ručního nářadí jako je mikrobruska Impuls NSP-601. Je to pneumatický nástroj ideální na malé otřepy a zahlazování nedostatků strojové výroby.



Obrázek 3.3: Mikrobruska Impuls NSP-601.

Technické parametry mikrobrusky dle tabulky 3.5.

Tabulka 3.5: Parametry mikrobrusky Impuls NSP-601 [12].

Rychlost	60 000 min ⁻¹
Kleština	3 mm
Váha	165 g
Spotřeba vzduchu	160 L/min

Odmaštění a čištění dílů probíhá v acetonové lázni, která zajistí dostatečné odmaštění pro následnou povrchovou úpravu.

Posledním krokem je značení jednotlivých kusů. To probíhá na stroji Technomark, který je ve stojanové verzi. Na digitálním displeji obsluha nastaví popis produktu a manuálně nastaví díl do předem připravených dorazů, aby značení probíhalo na stejném místě. V rámci softwaru mikroúderu lze nastavit řadová čísla tak, aby nebylo nutné po každém kusu nastavovat nové textové pole. Následné značení pak probíhá vnikem hrotu stroje, který je z velmi tvrdého karbidu wolframu, do povrchu dílu.



Obrázek 3.4: Mikroúder Technomark [12].

3.5 Povrchová úprava

Vzhledem k obráběcímu charakteru firmy Frentech Aerospace není možné provádět povrchovou úpravu v rámci společnosti. Proto se k této operaci volí kooperační pomoc. Díly jsou zabaleny jednotlivě v ochranných sáčkách, aby se předešlo jejich mechanickému nebo chemickému znehodnocení a odeslány na povrchovou úpravu.

Na povrch se nanáší povlak TiN, který je nejvíce používán k povlakování rezných nástrojů. Jedná se o nitrid titanu, který zvyšuje povrchu tvrdost a ořezuvzdornost. [13]

Tloušťka nánosu je 2–3 μm a nanáší se ze dvou a více stran pro jistotu nanesení povlaku vyvrtaných otvorů zevnitř.

3.6 Konečná kontrola

Vzhledem k vysokým nárokům zákazníka na přesnost dílu, musí být zajištěna dostatečná kontrola všech rozměrů. K tomu používají pracovníci kontroly jak ruční měřidla,

tak i souřadnicové měřicí stroje. Ty se používají především při kontrole prvních kusů, či při potřebě vystavit protokol o kompletním měření. Ve Frentech Aerospace se souřadnicových měřicích strojů využívá více a je těžké tedy určit na kterém bude právě tento díl kontrolován. Pro příklad je tedy uveden přístroj CRYSTA-Apex V544 na obrázku 3.5.



Obrázek 3.5: CRYSTA-Apex V544 [14].

Hlavní výhodou tohoto modelu je jeho stabilita a přesnost i přes menší rozměry stroje. Stroj má zabudovanou podporu teplotní kompenzace, který mu umožňuje měřit rozměry i při teplotách do 26 °C. Tato funkce ale není ve Frentech Aerospace využita, protože je místnost kontroly oddělena od ostatních prostor a má regulaci teploty vzduchu. Parametry stroje jsou vidět v tabulce 3.6.

Tabulka 3.6: Parametry SMS Mitutoyo Crysta.

Výška	2 185 mm
Tlak vzduch	0,4 MPa
Hmotnost	542 kg
Max. rychlost posuvu	519 mm · s ⁻¹

4 NOVÝ TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Jedním z hlavních cílů této diplomové práce, je vytvoření nového technologického postupu pro díl TC Zelle. Vzhledem k rozebrání stávajícího postupu v předchozí kapitole je třeba navrhnout takový postup, který bude i nadále splňovat všechny požadavky dané zákazníkem. Vzhledem k dodávanému materiálu je i v novém pracovním postupu potřeba zařadit pásovou pilu FORTE na zkrácení polotovaru na délku 44 mm. V novém pracovním postupu jsou tedy změněny operace 30 a 40 (dle starého postupu tabulka 3.1). Operace „Kontrola“ a „Povrchová úprava“ zůstávají nezměněny.

4.1 CNC VERSA 645

První změnou při výrobě zadaného dílu je využití novějšího strojového parku firmy Frentech Aerospace. Po konzultaci s technologií firmy byl vybrán stroj od společnosti Fehlmann. To nejen kvůli možnosti celý díl vyrobit na jednom stroji, ale také kvůli volnějším kapacitám jiných strojů při výrobě ostatních zakázek. V tabulce 4.1 jsou vidět parametry tohoto 5ti-osého obráběcího centra. Mezi hlavní výhody stroje patří jeho tuhost, dobrá dostupnost a viditelnost na obráběcí oblast, vysoká kapacita zásobníku nástrojů a taky možnost dodatečně přistavit automatické podavače. [15]



Obrázek 4.1: Fehlmann VERSA 645.

Tabulka 4.1: Parametry Versa 645 [14].

Pojezdy (osa X, osa Y, osa Z)	350 mm, 500 mm, 300 mm
Pracovní plocha	350 x 250 mm
Max. otáčky	30 000 min ⁻¹
Počet míst v zásobníku	86
Příkon stroje	17 kW
Krouticí moment	270 Nm
Hmotnost stroje	7 000 kg

Protože výroba bude probíhat na jiném stroji je potřeba vytvoření nového nástrojového listu, který se nachází v kapitole 4.2.

4.1.1 Upnutí výrobku

Vzhledem k frézovací operaci je nutné mít polotovar pevně uchycen v pracovním prostoru stroje. K tomu slouží kalené čelisti od společnosti LANG TECHNIK, které jsou vidět na obrázku 4.3. Do materiálu se na hydraulickém lisu (obrázek 4.2) vytvoří drážky, které pak v upínači LANG Makro-Grip vystředí materiál s přesností $\pm 0,02$ mm. Firma disponuje i jinými systémy upínání, ale nejspolehlivější se osvědčil tento. Jiné systémy upínání měli tendenci polotovar vychylovat a nedocházelo tak vždy k výrobě dílu dle požadavku zákazníka.



Obrázek 4.3: Upínač Lang Microgrip

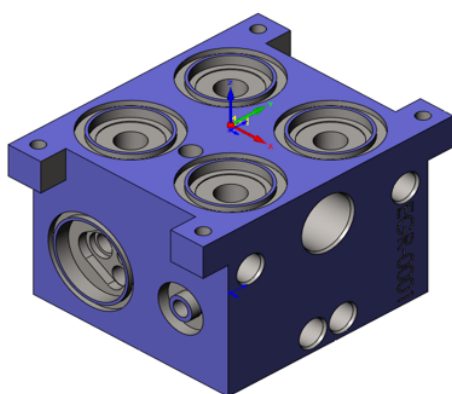


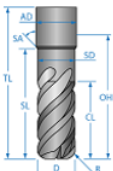
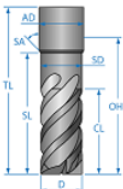
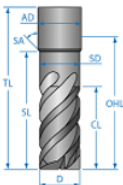
Obrázek 4.2: Hydraulický lis.

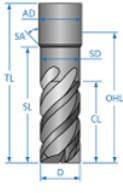
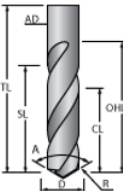
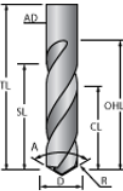
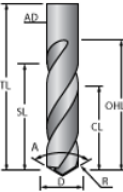
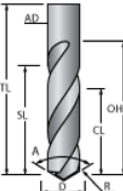
Výroba probíhá ve dvou polohách upnutí a je tedy nutné, aby obsluha stroje s polotovarem manipulovala.

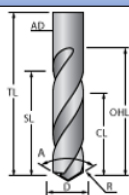
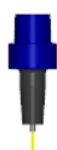
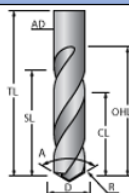
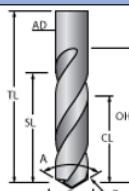
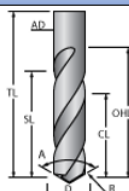
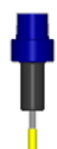
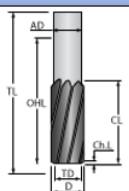
4.1.2 Nástrojový list pro CNC VERSA 645

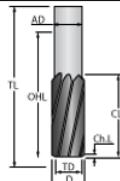
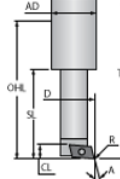
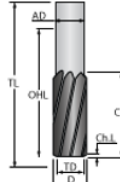
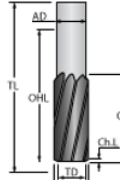
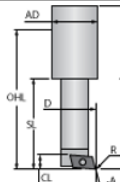
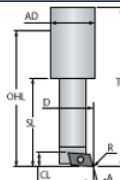
Tabulka 4.2: Nástrojový list pro VERSA 645.

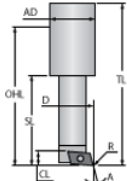
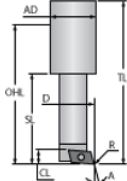
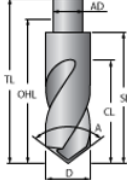
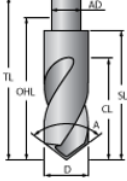
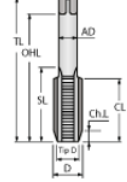
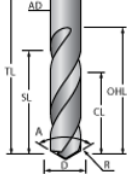
		NÁZEV	940
		427173052D_VERSA	
Stroj	VERSA 645		
Typ projektu	Frézování		
Postprocesor	M5_H640_VERSA_V645		
Programátor	Jan Pavliš (Gilík)		
Jednotky	mm		
Adaptér nástroje	HSK50		
Obráběný materiál	NEREZ 1.4571		
Polotovár	X:44 Y:60 Z:40		
Operace			
Přípravek			
Měřidla			
Verze SC	SolidCAM2019 SP2 HF3		
SWx Model	C:_data-2007\EMERSON\4 271 7305 2\4 271 7305 2.SLDPR		
Adresář	D:\PROJEKTY\182_EMERSON_PROCESS_MANAGEMENT\427173052D\427173052D_VERSA.PRT		
Poznámka			
		Celkový čas:	0:50:34

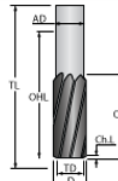
T1-Spindle-1A		Popis nástroje: FR D12 UJDE1200A6AQEKCSM15 HRUB LV=LODL=36 TU12			
		D=12	R=0.5	SA=0	Počet zubů: 6
		Ds(AD)=12			Řezný čas: 0:09:38
Toroidní fréza - HSK A 63 SRKIN 12x90		Lv(OHL)=36			
		Lodl(SL)=35			
		Lb(CL)=26			
T2-Spindle-1A		Popis nástroje: FR D12 UCDE1200A5ASAKC643M SLICHT LV=30 TU12			
		D=12		SA=0	Počet zubů: 5
		Ds(AD)=12			Řezný čas: 0:04:34
Válcová fréza - HSK A 63 SRKIN 12x90		Lv(OHL)=30			
		Lodl(SL)=30			
		Lb(CL)=24			
T3-Spindle-1A		Popis nástroje: FR D6 0130 TICN HRUB LV=20 TU6			
		D=6		SA=0	Počet zubů: 2
		Ds(AD)=6			Řezný čas: 0:06:29
Válcová fréza - HSK A 63 SRKIN 6x80		Lv(OHL)=20			
		Lodl(SL)=18			
		Lb(CL)=7			

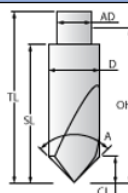
T4-Spindle-1A	Popis nástroje: FR D 4.0 553040Z3.OSIRONA HRUB LV=15 TU6				
		D=4 Ds(AD)=6 Lv(OHL)=15 Lodl(SL)=12 Lb(CL)=5	SA=90	Počet zubů: 3	Řezný čas: 0:01:57
Válcová fréza - HSK A 63 SRKIN 6x80 (7)					
T5-Spindle-1A	Popis nástroje: FR D4 UCDE0400A5ASAKC643M SLICHT LV=15 TU6				
		D=4 Ds(AD)=6 Lv(OHL)=15 Lodl(SL)=12 Lb(CL)=5	SA=90	Počet zubů: 5	Řezný čas: 0:05:16
Válcová fréza - HSK A 63 SRKIN 6x80					
T6-Spindle-1A	Popis nástroje: VRT D9.80 B978A0980 KC7315 LV=50 TU10				
		D=9.8 Ds(AD)=10 Lv(OHL)=50 Lodl(SL)=50 Lb(CL)=50	A=132	Počet zubů: 2	Řezný čas: 0:00:13
Vrták - HSK A 63 SRKIN 10x85					
T7-Spindle-1A	Popis nástroje: VRT 3.35 303687921 LV=30 LODL=20 TU6				
		D=3.35 Ds(AD)=6 Lv(OHL)=30 Lodl(SL)=20 Lb(CL)=20	A=140	Počet zubů: 1	Řezný čas: 0:00:18
Vrták - HSK A 63 SRKIN 6x80					
T8-Spindle-1A	Popis nástroje: VRT 5.90B052A05900CPGKC7325 LV=30 TU6				
		D=5.9 Ds(AD)=6 Lv(OHL)=30 Lodl(SL)=20 Lb(CL)=20	A=140	Počet zubů: 1	Řezný čas: 0:00:08
Vrták - HSK A 63 SRKIN 6x80					
T9-Spindle-1A	Popis nástroje: VRT D4.95 11 765 908 LV=44 TU6				
		D=4.95 Ds(AD)=6 Lv(OHL)=44 Lodl(SL)=35 Lb(CL)=35	A=140	Počet zubů: 1	Řezný čas: 0:01:15
Vrták - HSK A 63 SRKIN 6x80					

T10-Spindle-1A		Popis nástroje: VRT 3.50 5511 TU6			
		D=3.5 Ds(AD)=6 Lv(OHL)=30 Lodl(SL)=22 Lb(CL)=22	A=140	Počet zubů: 1 Řezný čas: 0:01:13	
Vrták - HSK A 63 SRKIN 6x80					
T11-Spindle-1A		Popis nástroje: VRT D3.0 B976A03000 KC7315 LV=27 TU6			
		D=3 Ds(AD)=6 Lv(OHL)=27 Lodl(SL)=20 Lb(CL)=20	A=140	Počet zubů: 1 Řezný čas: 0:00:14	
Vrták - HSK A 63 SRKIN 6x80					
T12-Spindle-1A		Popis nástroje: VRT D2.80 B976Z02800 KC7315 LODL=15 LV=20 TU3			
		D=2.8 Ds(AD)=3 Lv(OHL)=20 Lodl(SL)=15 Lb(CL)=15	A=140	Počet zubů: 1 Řezný čas: 0:00:47	
Vrták - HSK A 63 SRK 3x50					
T13-Spindle-1A		Popis nástroje: VRT D2.5 B052A02500CPGKC7325 LV=30 TU4			
		D=2.5 Ds(AD)=4 Lv(OHL)=30 Lodl(SL)=22 Lb(CL)=22	A=140	Počet zubů: 1 Řezný čas: 0:00:20	
Vrták - HSK A 63 SRK 4x50					
T14-Spindle-1A		Popis nástroje: FR D3.0 553030Z3.0SIRONA LV=20 TU6			
		D=3 Ds(AD)=6 Lv(OHL)=20 Lodl(SL)=7 Lb(CL)=6	SA=15	Počet zubů: 3 Řezný čas: 0:02:25	
Válcová fréza - HSK A 63 SRKIN 6x80					
T15-Spindle-1A		Popis nástroje: VYSTRUŽNIK D10.02 H7 WNR.08K10 LODL=50 ER			
		D=10 Ds(AD)=8 Lv(OHL)=50 Lb(CL)=30	ChL=2	Počet zubů: 1 Řezný čas: 0:01:58	
Výstružník - HSK A 63 ER 16x80					

T16-Spindle-1A		Popis nástroje: VYSTRUŽNÍK D5.02 WNR.N8 K10 LODL=50 ER			
		D=5 Ds(AD)=4 Lv(OHL)=55 Lb(CL)=20	ChL=2	Počet zubů: 1 Řezný čas: 0:03:05	
Výstružník - HSK A 63 ER 16x80					
T17-Spindle-1A		Popis nástroje: VV TYC D6.05 PICCOR050.6.15 IC228			
		D=6.05 Ds(AD)=16 Lv(OHL)=30 Lodl(SL)=15 Lb(CL)=6	R=0.15 A=10	Počet zubů: 1 Řezný čas: 0:00:10	
Vrtací tyč - HSK A 63 EM 16x80					
T18-Spindle-1A		Popis nástroje: VYSTRUŽNÍK D3.5 WNR.N8 K10 LB=38 LV=45 ER			
		D=3.5 Ds(AD)=2.5 Lv(OHL)=40 Lb(CL)=20	ChL=1	Počet zubů: 1 Řezný čas: 0:01:36	
Výstružník - HSK A 63 ER 16x80					
T19-Spindle-1A		Popis nástroje: VYSTRUŽNÍK D3.0 WNR.N8 K10 LV=30 ER			
		D=3 Ds(AD)=2.5 Lv(OHL)=30 Lb(CL)=15	ChL=1	Počet zubů: 1 Řezný čas: 0:00:21	
Výstružník - HSK A 63 ER 16x80					
T20-Spindle-1A		Popis nástroje: VRT TYC+ EXCENTR CELNI PICCO R010250810 UPRAVIT NA S=2.27-2.28 VNEJSI D=9.05			
		D=16 Ds(AD)=16 Lv(OHL)=60 Lodl(SL)=40 Lb(CL)=6	R=0.4 A=10	Počet zubů: 1 Řezný čas: 0:00:37 Jednotky:	
Vrtací tyč - HSK A 63 EM 14x80					
T21-Spindle-1A		Popis nástroje: VRT TYC+ EXCENTR CELNI PICCO R010100810 S=1MM VNITRNI D15			
		D=16 Ds(AD)=16 Lv(OHL)=60 Lodl(SL)=40 Lb(CL)=6	R=0.4 A=10	Počet zubů: 1 Řezný čas: 0:01:34	
Vrtací tyč - HSK A 63 EM 16x80					

T22-Spindle-1A	Popis nástroje: VRT TYČ+ EXCENTR CELNI PICCO R010150810 S=1.5MM VNITRNI D7				
		D=16	R=0.4	Počet zubů: 1	
		Ds(AD)=16			
		Lv(OHL)=60	A=10	Řezný čas:	
		Lodl(SL)=40		0:00:32	
		Lb(CL)=6			
Vrtací tyč - HSK A 63 EM 18x80					
T23-Spindle-1A	Popis nástroje: VRT TYČ+ EXCENTR CELNI PICCO R010150810 S=1.5MM VNEJSI D16.05				
		D=16	R=0.4	Počet zubů: 1	
		Ds(AD)=16			
		Lv(OHL)=60	A=10	Řezný čas:	
		Lodl(SL)=40		0:03:15	
		Lb(CL)=6			
Vrtací tyč - HSK A 63 EM 18x80					
T24-Spindle-1A	Popis nástroje: FR D6x30 6.0 JS506060N2CZ4.0-SIRA LV=20 TU6 L ODMERIT NA TEORET SPICI				
		D=6		Počet zubů: 4	
		Ds(AD)=6			
		Lv(OHL)=20	A=60	Řezný čas:	
		Lodl(SL)=20		0:01:56	
		Lb(CL)=5.3			
Srážec - HSK A 63 SRKIN 6x80					
T25-Spindle-1A	Popis nástroje: SRAZEC D3.8x45st C 14727 LV=28 TU6 ODMERIT NA TEORET SPICI				
		D=3.8		Počet zubů: 4	
		Ds(AD)=6			
		Lv(OHL)=28	A=90	Řezný čas:	
		Lodl(SL)=27		0:02:57	
		Lb(CL)=1.9			
Srážec - HSK A 63 SRKIN 6x80					
T26-Spindle-1A	Popis nástroje: ZAVITNIK M3 TVARECI T624M030X050RD5-DA 5945388 ER				
		D=3		Počet zubů: 1	
		Ds(AD)=2.3	ChL=2	Řezný čas:	
		Lv(OHL)=30		0:01:51	
		Lb(CL)=10			
Závitník - HSK A 63 ER 16x80					
T27-Spindle-1A	Popis nástroje: VRTAK D3.20B51A03200CPGKC7325 LB=19 MIN LV=25 TU6				
		D=3.2		Počet zubů: 1	
		Ds(AD)=6			
		Lv(OHL)=25	A=140	Řezný čas:	
		Lodl(SL)=19		0:00:11	
		Lb(CL)=19			
Vrták - HSK A 63 SRKIN 6x80					

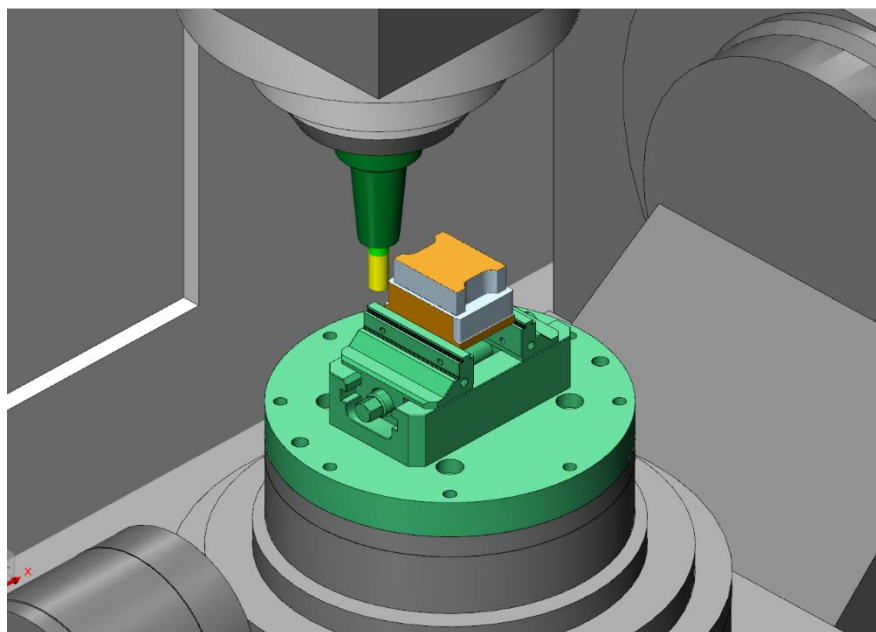
T28-Spindle-1A		Popis nástroje: VYSTRUŽNÍK D3.26 DIN 212 WNR-N7 LB=LODL=36 ER				
		D=3.26			Počet zubů: 1	
		Ds(AD)=2.5	ChL=1		Řezný čas:	
		Lv(OHL)=40			0:00:36	
		Lb(CL)=20				
Výstružník - HSK A 63 ER 16x80						

T29-Spindle-1A		Popis nástroje: NAVRT D3 TK 3.0 10 702 003 LV=25 ER16				
		D=3			Počet zubů: 1	
		Ds(AD)=3			Řezný čas:	
		Lv(OHL)=25	A=90		0:00:16	
		Lodl(SL)=10				
Středící vrták - HSK A 63 ER 16x80		Lb(CL)=1.5				

Vytvořený nástrojový list se oproti původnímu liší především v počtu nástrojů. Modernější stroj VERSA 645 používá pro všechny nástroje kleštinový upínač HSK A63.

4.2 Výroba na CNC VERSA 645

Po spuštění programu stroje dochází k upnutí prvního nástroje T1 dle nástrojového listu a dochází k ofrézování čela obrobku (obrázek 4.4).

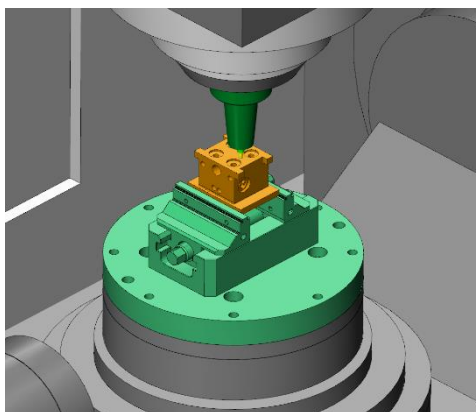


Obrázek 4.4: Frézování čela.

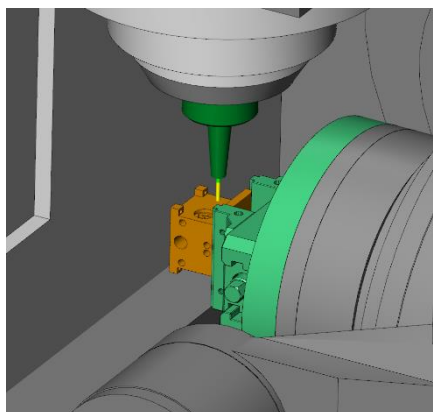
Díky otočné pracovní ploše není potřeba díl manuálně otáčet a zkrátí se tak výrobní čas celé výroby. Výměna nástrojů je řízena vytvořeným programem a za jejich kvalitu

odpovídá seřizovač, který umísťuje nástroje do zásobníku obráběcího centra před zahájením výroby.

Po frézování dokončovacím nástrojem na požadovaný rozměr jsou vrtány otvory v čele a následně na bocích obrobku (obrázek 4.5 a 4.6).



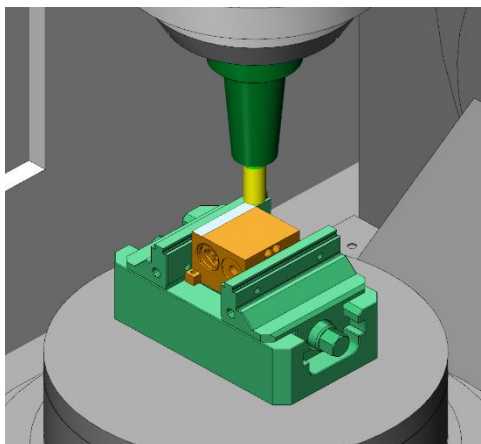
Obrázek 4.5: Vrtání otvorů v čele.



Obrázek 4.6: Vrtání otvorů po otočení.

Po vyvrtání všech otvorů dochází ke sražení hran nástrojem T24 a T25 (dle tabulky 4.2). Zde je další změna oproti původnímu postupu výroby, která usnadní následné operaci na zámečnickém pracovišti čas. Operace stále musí proběhnout kvůli kontrole vyvrtaných otvorů, ale ubývá práce s odstraněním ořepů na hranách obrobku.

Ve výrobním procesu pak následuje druhá poloha (obrázek 4.7), při které je potřeba obrobek znovu upnout za hotovu část. Svěrák LANG disponuje leštěnou plochou, díky které se nepoškodí již nahotovo obrobená plocha. Dochází zde k frézování zbylé plochy a vrtání posledních otvorů. Výroba jednoho kusu dle nového programu vychází na 50 min a 34 sekund.



Obrázek 4.7: Frézování v druhé poloze.

Po vyjmutí dílu z pracovního prostoru stroje je očištěn vzduchovou pistolí od chladicí emulze a zbytků materiálu po obrábění. Následně je celá dávka přesunuta k další výrobní operaci což je zámečnické pracoviště.

4.3 Zámečnická operace

Při výrobě dílu dle starého pracovního postupu zámečníkům nejdéle trvalo tváření závitů, které jsou v novém pracovním postupu tvořeny strojově. Pro zhotovení dílu je tedy potřeba pouze odstranit otřepy a umýt díly v acetonové lázni pro odmaštění. Vzhledem k zařazení srážecí frézy do nástrojového listu je i tato povinnost značně zjednodušená. Celkový čas na tuto operaci pro jeden kus je tak snížen z 24 min na 15 min. Dochází tak k veliké časové úspoře a uvolnění kapacit na tomto stanovišti.

4.4 Nový technologický postup

Tabulka 4.3: Nový technologický postup.

			VÝROBNÍ POSTUP PRO DÍL TC-Zelle					
Název součástky: TC-Zelle				Číslo výkresu součásti: 4.271-7305		Datum vydání postupu:		
Dne: 26.06.2020			Vyhotovil: Jan Pavliš			Polotovar: Profil 60x40-1.4571		
Číslo op. pořadové	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště			Dílna	Popis práce v operaci			
Číslo orientační	Třídící číslo							
10/10	K03	Sklad	FA	Vstupní kontrola materiálu				
20/20	P01	Pásová pila Forte 05967	FA	Řezat materiál na L=44mm				
30/30	F14	vertikální centrum VERSA 645 35326	FA	Program 940 Frézovat hotový tvar Vrtat otvory Stružit Mezioperačně balit do síťoviny 100% kontrolovat případné poškození nebo škrábance na povrchu Nástroje dle nástrojového listu 427173052D_VERSA				
40/40	Z01	Zámečnická práce 0941	FA	Celkově odjehlit Díly odmastit v acetonu Mezioperačně balit do čistých bubl. Sáčků Značit ser. číslem				
50/50	K04	Kontrola 9863	FA	Mezioperační kontrola				
60/60	K002	Povrchová úprava	FA	Povlak TiN o tl. 2-3µm ze dvou směrů				
70/70	K04	Kontrola 9863	FA	Konečná kontrola				
80/80	DDD	Sklad	FA	Díl do sestavy, zařadit do KASYSu				

5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Celá tato kapitola se věnuje porovnání ekonomického zhodnocení jednotlivých variant. Je to důležitý ukazatel který hodnotí, jestli je nový technologický postup pro firmu výhodný z hlediska financí. Pokud se podaří snížit náklady oproti původnímu postupu, může se nový postup považovat za lepší. Do ekonomického porovnání je nutné zahrnout náklady na provoz stroje, náklady na obsluhu a náklady na nástroje.

5.1 Náklady na provoz stroje

Vzhledem k podobnosti výrobních postupů je zbytečné mezi sebou porovnávat operace, ve kterých se nic nezměnilo. Zhodnocení tedy bude porovnávat práci na strojích FH 580 a VERSA 645. K výpočtu nákladů na provoz stroje se používá vzorec 5.1. [16]:

$$N_{hs} = S + \frac{C + N_i + N_d - L}{Z \cdot E_{ef}} \text{ [Kč]}, \quad (5.1)$$

kde:

S – fixní hodinová sazba [Kč·h⁻¹],

C – Pořizovací cena stroje [Kč],

N_i - Náklady na instalaci stroje [Kč],

N_d – Náklady na demontáž stroje [Kč],

L_i – Likvidační hodnota stroje [Kč],

Z – doba životnosti [h],

E_{ef} – Efektivní časový fond stroje za rok [h].

Kvůli nepoměru stáří jednotlivých strojů a obtížnému určení jednotlivých parametrů bude použita nákladová hodnota určená firmou Frentech Aerospace. Ta je stanovena ze spotřeby energie, spotřeby provozních kapalin a amortizace stroje.

Tabulka 5.1: Provozní náklady strojů.

Stroj	Náklady na hodinu provozu N _{hs} [Kč]	Čas operace [min]
CNC FH 580	1 325	87,5
CNC VERSA 645	1 500	50,57

Náklad na výrobu jednoho kusu je vypočítán v tabulce 5.1 pomocí vzorce 5.2:

$$N = \frac{N_{hs}}{60} \cdot T_x [Kč \cdot ks^{-1}], [16] \quad (5.2)$$

kde:

N_{hs} – Náklady na hodinu provozu [Kč],

T_x – Čas operace [min].

Tabulka 5.2: Výpočet nákladů na jeden kus.

Stroj	Náklady na hodinu provozu N_{hs} [Kč]	Čas operace [min]	Náklad na výrobu jednoho kusu [Kč]
CNC FH 580	1 325	87,5	1 932,3
CNC VERSA 645	1 500	50,57	1 264,3

Pro přehlednost je spočítán náklad na nejčastěji objednávané výrobní dávky 5, 50 a 100 kusů. To zahrnuje jak nejmenší tak i největší objednávku pro jednu dávku.

Tabulka 5.3: Výpočet nákladu na dávku.

Počet kusů v dávce [ks]	Náklad na výrobu CNC FH 580 [Kč]	Náklad na výrobu VERSA 645 [Kč]
5	9661,5	6 321,5
50	96 615	63 215
100	193 230	126 430

Z výpočtu je vidět že úspora na nákladech stroje u nejčastěji objednávané dávky 50 kusů činí 33 400 Kč.

K nákladům stroje musí být zahrnuty i náklady na obsluhu daného stroje. V rámci zachování firemních tajemství bude počítáno s přibližným finančním ohodnocením pracovníka. Kvůli novějšímu systému na stroji VERSA 645 je počítáno s vyšší kvalifikací obsluhy a tudíž vyššímu finančnímu ohodnocení. Výpočet je proveden pro dříve zmíněnou dávku 50 kusů.

Tabulka 5.4: Výpočet nákladů operátora stroje.

Operátor stroje	Hrubá hodinová mzda [Kč]	Čas operace [h]	Náklad na operátora při výrobě 50 ks [Kč]
CNC FH 580	200	72,92	14 584
CNC VERSA 645	230	42,15	9 695

Finanční úspora na operátorovi stroje pro výrobní dávku 50 kusů činí 4 889 Kč.

Celková úspora financí na změně stroje z CNC FH 580 na CNC VERSA 645 při výrobní dávce 50 ks je 38 289 Kč.

5.2 Náklady na zámečnické pracoviště

Na zámečnickém pracovišti se očekává finanční úspora především kvůli zkrácení času této operace. To je zapříčiněno již zmíněnou změnou nástrojů. V tabulce 5.5 je vidět výpočet nákladů na zámečnické pracoviště při výrobní dávce 50-ti kusů. Superhrubá mzda v tabulce je přibližná pro zachování firemních údajů.

Tabulka 5.5: Výpočet nákladů na zámečnické pracoviště.

Zámečnický při výrobě dílu na stroji	Hrubá hodinová mzda [Kč]	Čas operace [h]	Náklad na operátora při výrobě 50 ks [Kč]
CNC FH 580	200	20	4 000
CNC VERSA 645	200	12,5	2 500

Kvůli zkrácení potřebného času na zámečnické pracoviště o 9 min činí náklad novější varianty o 1 500 Kč méně než u varianty staré.

5.3 Náklady na nástroje

Vzhledem k návržení nového nástrojového listu je potřeba spočítat cenu za všechny nástroje. Ač při výběru nástrojů byly vybírány nástroje na skladě, ve finančním zhodnocení je počítáno, jako by byly koupeny nové. V rámci zachování firemního tajemství je cena nástrojů vynásobena koeficientem známým pouze autorovi. Ceny jsou vidět v tabulce 5.6.

Tabulka 5.6: Náklady na nástroje.

Nástroje pro CNC FH 580			
Nástroj	Cena [Kč]	Nástroj	Cena [Kč]
T1	360	T18	1 300
T2	253	T19	540
T3	253	T20	750
T4	620	T21	320
T5	1 014	T22	480
T6	980	T23	400
T7	765	T24	502
T8	1 575	T25	1 500
T9	1 320	T26	355
T10	1 180	T27	620
T11	980	T28	438
T12	880	T29	870
T13	900	T30	355
T14	950	T31	1 200
T15	680	T32	842
T16	700	T33	620
T17	900	T34	380
		T35	460
		Celkem	26 242 Kč

Nástroje pro CNC VERSA 645	
Nástroj	Cena [Kč]
T1	2 650
T2	1 643
T3	260
T4	700
T5	716
T6	2650
T7	981
T8	1 246
T9	1 484
T10	981
T11	1 219
T12	1 219
T13	1 193
T14	683
T15	520
T16	410
T17	502
T18	410
T19	410
T20	643
T21	740
T22	608
T23	608
T24	684
T25	530
T26	795
T27	949
T28	410
T29	100
Celkem	25 944 Kč

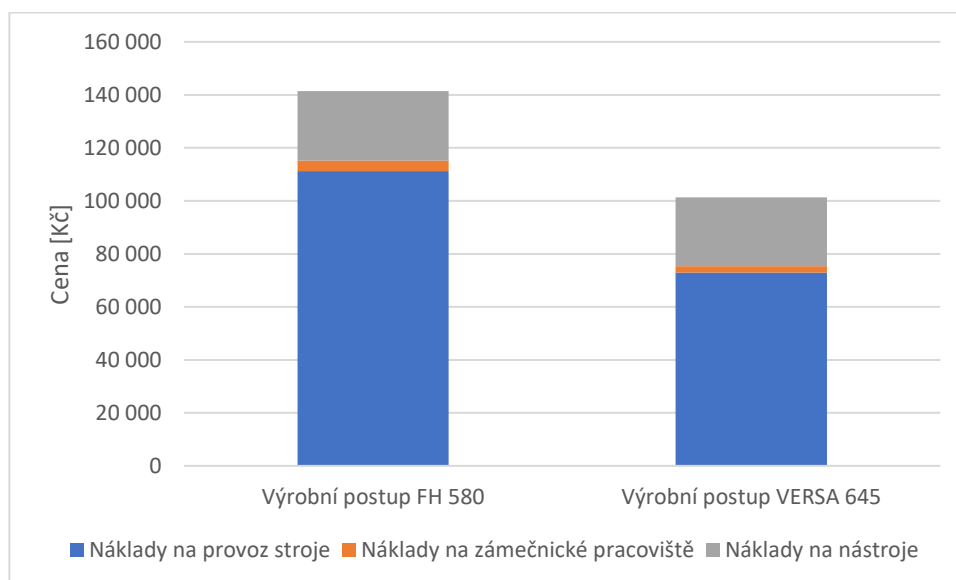
Nově navržený nástrojový list disponuje dražšími nástroji, nicméně kvůli snížení počtu potřebných nástrojů je celkový náklad na nástroje o 298 Kč levnější. Je potřeba ovšem podotknout, že závitník T26 v novém nástrojovém listu se při nedostatečném mazání má tendenci zalamovat do výrobku. Druhý postup je proto levnější jen při správném použití nástrojů.

5.4 Celkové náklady

Celkové ekonomické zhodnocení obou variant je shrnuto v tabulce 5.6. Ta udává náklady pro nejčastěji vyráběnou dávku 50-ti kusů. V grafu na obrázku 5.1 je znázorněna vypočítaná finanční úspora nové varianty.

Tabulka 5.7: Celkové náklady obou postupů.

Výrobní postup na stroji	Náklady na provoz stroje [Kč]	Náklady na zámečnickou operaci [Kč]	Náklady na nástroje [Kč]	Celkové náklady
CNC FH 580	111 199	4 000	26 242	144 441
CNC VERSA 645	72 910	2 500	25 944	101 354



Obrázek 5.1: Ekonomické vyhodnocení výrobních variant.

Finanční úspora nového výrobního postupu při dávce 50 kusů je 43 087 Kč. Vzhledem k této částce je velice pravděpodobné že firma upřednostní nový výrobní postup.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo analyzovat výrobní postup pro zadaný díl TC-Zelle a navrhnout jeho zlepšení za využití strojového parku firmy Frentech Aerospace.

Po teoretickém rozebrání použitých technologických procesů a analýze firemního strojového parku, byl vytvořen nový výrobní postup pro zadaný díl, který má oproti starému postupu následující výhody:

- změna výrobního stroje na modernější obráběcí centrum CNC VERSA 645,
- snížení potřebného počtu nástrojů z 35 kusů na 29 kusů,
- zrychlení výroby dílu z času 87,5 minuty na 50,57 minut,
- usnadnění zámečnické operace a její zrychlení z 24 minut na 15 minut,
- uvolnění kapacity zámečnického pracoviště pro další firemní projekty.

Při výrobní dávce 50 kusů pak byla vypočítána finanční úspora 43 087 Kč. Vzhledem dlouholetému objednávání dílu TC-Zelle je vypracovaná varianta výhodnější.

Všechny stanovené cíle práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Frentech Aerospace s.r.o.* [online]. Brno [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <http://frentech.eu/frenetech-aerospace/obchodni-zamereni/>
- [2] *Inerez.cz* [online]. [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://www.inerez.cz/jakosti-nerezovych-materialu/>
- [3] *Aalco* [online]. 2020 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: http://www.aalco.co.uk/datasheets/Stainless-Steel-14571-Bar_40.ashx
- [4] *MM Spektrum* [online]. 2015 [cit. 2020-08-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrobitelnost-a-vlastnosti-obrabenych-materialu.html>
- [5] Příručka pro technology - Obrobitelnost nerezových ocelí. *MM Spektrum* [online]. 2012 [cit. 2020-08-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-obrobitelnost-nerezovych-oceli.html>
- [6] *Technologie II - 2.díl* [online]. Ostrava: VŠB [cit. 2020-08-19]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
- [7] HUMÁR, Anton. *Technologie I technologie obrábění – 1. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia*. Brno, 2004.
- [8] HUMÁR, Anton. *Technologie I technologie obrábění – 2. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia*. Brno, 2004.
- [9] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [10] *Obrábění hliníkových slitin*. Brno, 2018. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Ing. Karel Osíčka, Ph.D.
- [11] *Machine Tools* [online]. [cit. 2020-08-19]. Dostupné z: <https://www.machinetools.com/en/for-sale/440424-mazak-fh-580-slash-40-horizontal-machining-centers>
- [12] *PRAMARK s.r.o.* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://www.pramark.cz/mikrouderove-stroje/stojanove-verze-multi4e>
- [13] *Stimzet s.r.o.* [online]. [cit. 2020-08-19]. Dostupné z: https://www.stimzet.cz/data/povlakovani_cz.html
- [14] *Mitutoyo.cz* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/CRYSTA-APEX%20S900%20Series/CRYSTA-Apex%20V544%20CMM%20CNC/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/191-121/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/CRYSTA-APEX%20S900%20Series/CRYSTA-Apex%20V544%20CMM%20CNC/$catalogue/mitutoyoData/PR/191-121/index.xhtml)
- [15] *Fehlmann.com* [online]. [cit. 2020-09-01]. Dostupné z: <https://www.fehlmann.com/en/products/machining-centres-in-portal-design/versar-645-linear>
- [16] OSÍČKA, Karel. *Technologické a ekonomické aspekty provozu CNC obráběcích strojů* [přednáška]. In: Brno [cit. 2020-06-06].

- [17] NĚMEC, Dobroslav. *Strojírenská technologie III.:Strojní obrábění*. Praha, 1982.
In: Brno [cit. 2020-06-06].
- [18] *MM Spektrum* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z:
[https://www.mmspektrum.com/clanek/
prvni-vbd-dle-normy-iso-s-pvd-povlakem-oxidu-hlinitého.html](https://www.mmspektrum.com/clanek/prvni-vbd-dle-normy-iso-s-pvd-povlakem-oxidu-hlinitého.html)

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
C	[-]	uhlík
Cr	[-]	Chrom
Mb	[-]	Molybden
Si	[-]	Křemík
P	[-]	Fosfor
S	[-]	Síra
Ni	[-]	Nikl
Ti	[-]	Titan
Mg	[-]	Horčík
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
R_{p0,2}	[MPa]	Smluvní mez skluzu
CNC	[-]	Computer numerical control
v_c	[mm·min ⁻¹]	Řezná rychlost
v_f	[mm·min ⁻¹]	Posuvová rychlost
D	[mm]	Průměr obrobené plochy
n	[min ⁻¹]	Otáčky nástroje
Z	[-]	Počet zubů frézy
v_f	[mm·min ⁻¹]	Posuvová rychlost
f_n	[mm]	Posuv na otáčku
f_z	[mm]	Posuv na zub
h_i	[mm]	Tloušťka třísky
φ_i	[°]	Úhel posuvového pohybu
A_{Di}	[mm ²]	Jmenovitý průřez třísky
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
A_{Dmax}	[mm ²]	Maximální jmenovitý průřez třísky
κ_r	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří
b	[mm]	Šířka třísky
F_c	[N]	Řezná složka síly
k_{ci}	[N]	Měrná řezná síla

C_{Fc}	[-]	Konstanta obráběného materiálu
x	[-]	Exponent vlivu tloušťky třísky
L	[mm]	Dráha nástroje
F_f	[N]	Posuvová síla
F_p	[N]	Pasivní síla
x_{Ff}	[-]	Exponent průměru vrtáku
x_{Fc}	[-]	Exponent průměru vrtáku
y_{Ff}	[-]	Exponent posuvu na otáčku
x_{Fc}	[-]	Exponent posuvu na otáčku
C_m	[-]	Zavedená konstanta
P_c	[kW]	Řezný výkon
t_{as}	[min]	Strojní čas
l_n	[mm]	Délka náběhu vrtáku
l_p	[mm]	Délka přeběhu vrtáku
m	[kg]	Hmotnost
ρ	[kg·m ⁻³]	Hustota
V	[m ⁻³]	Objem