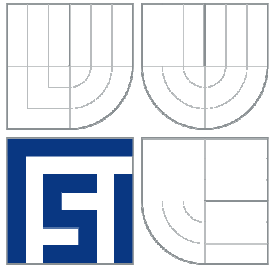


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## APLIKACE CAD/CAM TECHNOLOGIE PRO VÝROBU PREZENTAČNÍHO TĚŽÍTKA

APPLICATION OF CAD/CAM TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF  
PRESENTATION PAPERWEIGHT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

PETR BUKOVSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JOSEF SEDLÁK, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Petr Bukovský

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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 bakalářské práce:

### **Aplikace CAD/CAM technologie pro výrobu prezentačního těžítka**

v anglickém jazyce:

### **Application of CAD/CAM technology for production of presentation paperweight**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod
2. Problematika technologie frézování
3. Popis frézovacích strojů
4. Tvorba modelu prezentačního těžítka v programu Autodesk Inventor
5. Výroba prezentačního těžítka na konzolové vertikální frézce FV 25 CNC
6. Závěr

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je realizace a výroba prezentačního těžítka s využitím technologie CAD/CAM. Prezentační těžítko bude vymodelováno v programu Autodesk Inventor. Pro vytvoření obráběcích strategií se využije CAM program PowerMILL. Výroba prezentačního těžítka bude provedena na konzolové vertikální frézce FV 25 CNC s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530.

Seznam odborné literatury:

1. FOREJT, M; PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vydání. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
2. HEIDENHAIN: Příručka pro uživatele DIN/ISO. Programování iTNC 530. 533 188–Co-SW01.1.5/2005, Německo, Traunreut, 1.vyd., 576 s
3. HEIDENHAIN: Příručka pro uživatele. Popisný dialog-Heidenhain iTNC 530. 533 190–81-SW01.3.1/2005, Německo, Traunreut, 1.vyd., 652 s.
4. KOČMAN, K; PROKOP, J. Technologie obrábění. 2. vydání. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
5. ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje. 2. dotisk 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2008. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
6. LUKEŠ, M. Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMILL pro tvorbu NC programu: Diplomová práce. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2007. 60 s, 4 přílohy. Ing. Aleš Polzer.
7. Delcam plc. PowerMILL Training Course. Birmingham, c2005. 266 s.
8. Delcam plc. PowerMILL 9.0 : Getting Started. Release Issue 1. Birmingham, 2008. 101 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací výroby prezentačního těžítka. K výrobě modelu byl využit CAD software Autodesk Inventor a CAM software PowerMill v. 6.0. Výroba těžítka byla provedena na frézce FV 25 CNC.

**Klíčová slova**

Autodesk Inventor, CAD/CAM, PowerMill, frézování, obrábění

**ABSTRACT**

This Bachelor thesis describes the design and implementation of the presentation paperweight production. For the production model Autodesk Inventor CAD software and PowerMill v. 6.0 CAM software were used. The paperweight was manufactured using the FV 25 CNC milling machine.

**Key words**

Autodesk Inventor, CAD/CAM, PowerMill, Milling, Machining

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BUKOVSKÝ, P. *Aplikace CAD/CAM technologie pro výrobu prezentačního těžítka*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 41 s. příloh 3. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

**PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Aplikace CAD/CAM technologie pro výrobu prezentačního těžítka vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

24. května 2013

-----  
Datum

-----  
Petr Bukovský

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto svému vedoucímu Ing. Josefu Sedlákoví, Ph.D. za cenné připomínky, rady a čas který mi věnoval při vypracování bakalářské práce. Poděkování patří také zaměstnancům dílen Ústavu strojírenské technologie, jmenovitě Jiřímu Čechovi, za pomoc při obrábění.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodičům a také celé své rodině za podporu a trpělivost, kterou mi věnovali po celou dobu mého bakalářského studia.

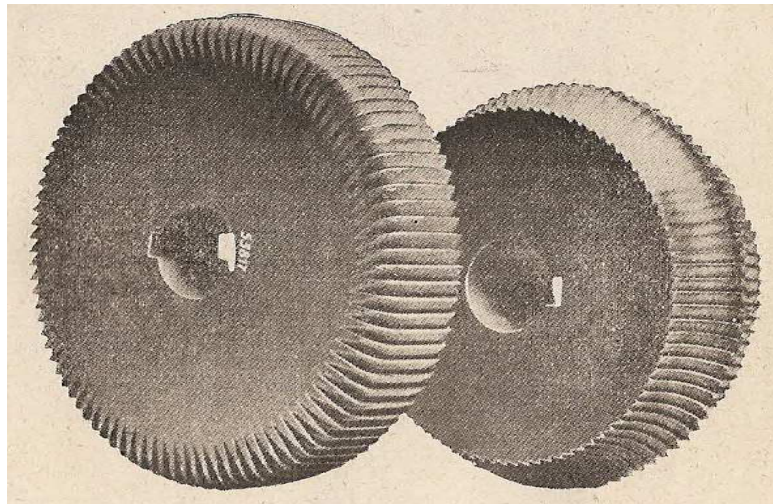
**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 Problematika technologie frézování .....	12
1.1 Kinematika obráběcího procesu.....	12
1.1.1 Sousledné frézování.....	13
1.1.2 Nesousledné frézování.....	13
1.2 Průřez třísky při frézování .....	14
1.3 Nástroje pro frézování .....	16
1.4 Řezné síly.....	17
2 Popis frézovacích strojů.....	19
2.1 Rozdělení frézovacích strojů .....	19
2.1.1 Konzolové frézky.....	19
2.1.2 Stolové frézky .....	20
2.1.3 Rovinné frézky.....	20
2.2 Příslušenství konzolových frézek .....	20
3 Tvorba modelu presentačního těžitka v programu Autodesk Inventor .....	22
3.1 Popis pracovního prostředí programu Autodesk Inventor 2008.....	22
3.2 Základní postup práce při tvorbě modelu .....	23
3.3 Tvorba modelu presentačního těžitka.....	24
4 Výroba presentačního těžitka na konzolové vertikální frézce FV 25 CNC .....	26
4.1 Program PowerMill v. 6.0.....	26
4.1.1 Popis pracovního prostředí programu PowerMill v. 6.0.....	27
4.2 Charakteristika materiálu polotovaru.....	28
4.3 Způsob definování polotovaru .....	28
4.4 Volba nástrojů, řezných podmínek a tvorba jednotlivých obráběcích strategií.....	29
4.4.1 Volba nástroje a řezných podmínek pro hrubování offsetem .....	29
4.4.2 Volba nástroje a řezných podmínek pro dokončení 3D offsetem.....	31
4.5 Frézka FV 25 CNC .....	33
4.5.1 Popis stroje.....	33
4.5.2 Parametry stroje .....	33
4.6 Výroba presentačního těžitka na konzolové frézce FV 25 CNC.....	34

4.6.1 Příprava stroje .....	34
4.6.2 Upnutí obrobku a stanovení nulového bodu obrobku.....	34
4.7 Výroba součástí.....	35
ZÁVĚR .....	37
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	38
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	39
SEZNAM PŘÍLOH.....	41

## ÚVOD

První frézy byly vyrobeny v druhé polovině 18. století. Tyto frézy měly kotoučový tvar a svým ozubením připomínaly pilníky. Většího upotřebení se jim dostalo teprve po pařížské výstavě pořádané v roce 1867, zde byly poprvé vystavovány americkou strojárnou Brown & Sharpe. Břity těchto fréz byly vytvořeny mělkými záseky, tyto záseky byly umístěny hustě vedle sebe Obr. 1. Později se začala zvětšovat obvodová vzdálenost mezi jednotlivými zuby, prohlubovala se hloubka zubových mezer, čímž vznikla větší mezera mezi zuby důležitá k správnému odvádění třísek<sup>1</sup>.

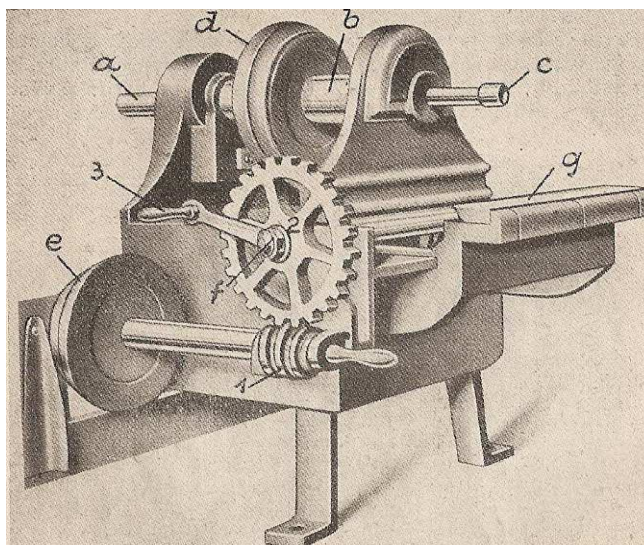


Obr. 1 Frézy z první poloviny 19. století. Kotoučová (vlevo), profilová (vpravo)<sup>1</sup>.

První frézovací stroj sestrojil Američan Eli Whitney, kolem roku 1818. Jeho vynález nebyl na tehdejší dobu náležitě oceněn a nedošlo také k jeho použití. Celkové vyobrazení Whitneova frézovacího stroje je na Obr. 2.

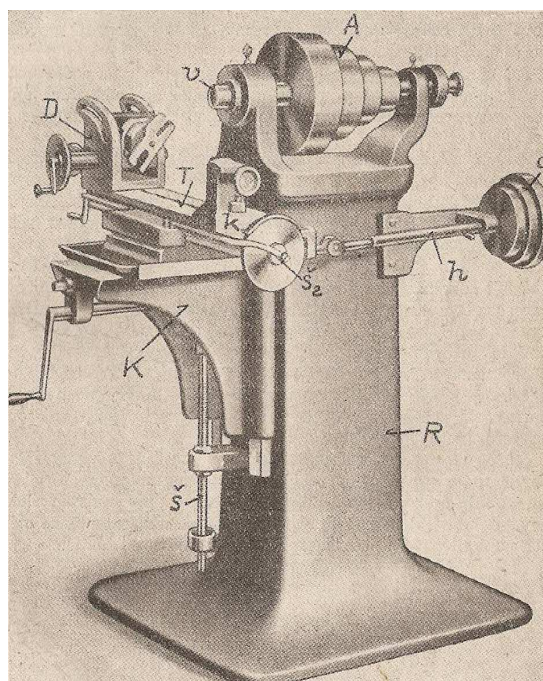
Na vřeteno *b* byl přiváděn pohyb v místě *a*, kde se nasazoval příslušný hnací řemenový kotouč, na pozici *c* se upevňovala fréza. Strojní posuv byl odvozen od otáček vřetena. Z kotouče *d* byl řemenem převáděn pohyb na kotouč *e*, z něj se pomocí šroubového soukolí převáděl pohyb na podávací šroub *f*, ten posouval stolem na vedení *g*. Stůl není na obrázku vyobrazen. Při práci s ručním posuvem otáčením klikou *3*, byl přerušen záběr šroubu *1* se šroubovým kolem *2* snížením ložiska, ve kterém byl šroub uložen<sup>1</sup>.

Většího využití se dostalo až universální frézce Obr. 3, jejímž konstruktérem byl americký inženýr J.R. Brown, která vznikla roku 1862. Stroj byl postaven pro dílny továrny na obráběcí stroje a nástroje firmy Brown & Sharp a byl určen především pro výrobu šroubových vrtáků. Tento frézovací stroj již měl podstatné znaky novodobých strojů a vyznačoval se na tehdejší dobu účelnou a úhlednou konstrukcí. Byl opatřen dělicím přístrojem a širokým příslušenstvím<sup>1</sup>.

Obr. 2 Whitneův frézovací stroj<sup>1</sup>.

Stroj se skládal ze skříňového stojanu *R*. Nahoře byl vřeteník, ten byl zařízen stejně jako u tehdejších hrotových soustruhů. Na vřeteno *v* se přiváděl pohyb od transmise řemenem přes stupňovité řemenové kotouče *A*. Stůl *T* spočíval na konzole *K*. Poloha konzoly se dala výškově nastavit ve vedeních na boční stěně stojanu. Strojní posuv se odvozoval od otáček vřetene a prováděl se přes stupňované řemenice nejdříve na výstupní hřídel *h*, umístěný po straně stojanu, a pak dále až na podávací šroub obstarávající podélný posuv stolu. Dělicí přístroj *D* obsahoval již všechny hlavní mechanismy novodobých dělicích přístrojů<sup>1</sup>.

Frézovací stroje se postupně zdokonalovaly. Na jejich celkovou konstrukci měla rozhodující vliv rychlořezná ocel, která byla zavedena do výroby v roce 1900<sup>1</sup>.

Obr. 3 Brownův univerzální frézovací stroj<sup>1</sup>.

Nelze pochybovat o tom, že frézám a frézám patří mezi obráběcími nástroji a stroji nejpřednější místo. S rozvojem průmyslu se staly v posledních desetiletích nepostradatelnými v naprosté většině průmyslových odvětví.

Hlavní příčinou rozvoje frézování je velká rozmanitost nástrojů a obráběcích strojů.

Frézky dosahují vysoké výrobní přesnosti i při vysokých výkonech. Frézováním se dosahuje vysoké jakosti povrchů.

Jedním z důvodů velkého rozšíření frézek je také jejich snadná odsluha.

Podle průmyslových statistik připadá na frézovací operace 25% ze všech obráběcích prací<sup>2</sup>.

Cílem bakalářské práce bylo provést rešerši problematiky frézování a frézovacích strojů s následným návrhem a tvorbou modelu prezentačního těžítka pomocí programu Autodesk Inventor. Pro tvorbu obráběcích strategií byl použit program PowerMill v. 6.0. Vlastní výroba modelu prezentačního těžítka byla realizována na konzolové vertikální frézce FV 25 CNC s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530.

## 1 PROBLEMATIKA TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ

Frézování je metoda obrábění, při níž je materiál obrobku odebírán vícebřítým nástrojem. Hlavní rotační pohyb je u všech druhů frézování vykonáván nástrojem, vedlejší posuvový pohyb je většinou přímočarý a koná jej obrobek, u planetového nebo okružního frézování může posuv vykonávat jak nástroj, tak obrobek. Pohyby u moderních frézovacích strojů se dají plynule měnit a lze je realizovat i ve více osách současně. Proces odebírání materiálu je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky, které mají proměnou tloušťku. Frézováním lze vyrábět:

- rovinné plochy,
- tvarové plochy,
- pravouhlá osazení,
- drážky (stopková, kotoučová fréza),
- tvarová vybrání a zahloubení,
- vnější a vnitřní závity,
- vnější a vnitřní ozubení<sup>3</sup>.

Z hlediska technologie a podle použitého nástroje se rozlišuje frézování válcové, kdy je materiál odebírán obvodem frézy a frézování čelní, kdy je materiál odebírán čelem frézy. Od těchto základních způsobů frézování se odvozují další způsoby, jako je frézování okružní nebo planetové<sup>3</sup>.

Válcové frézování se převážně uplatňuje pro práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby jsou u těchto nástrojů vytvořeny jen po jejich obvodu, hloubka odebírané vrstvy se nastavuje kolmo na osu nástroje a na směr posuvu. Z hlediska kinematiky obráběcího procesu se rozlišuje frézování sousledné a nesousledné<sup>3</sup>.

Čelní frézování se uplatňuje při práci s čelními frézami, jenž mají břity vytvořeny na obvodě i čele nástroje. Podle polohy osy frézy vzhledem k frézované ploše se rozlišuje frézování symetrické (osa nástroje je totožná s osou frézované plochy) a nesymetrické frézování (osa nástroje je mimo střed frézované plochy). U čelního frézování pracuje fréza současně sousledně i nesousledně<sup>3</sup>.

### 1.1 Kinematika obráběcího procesu

Hlavní pohyb je konán nástrojem, tento pohyb je definován řeznou rychlostí  $v_c$  [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]. Je závislý na otáčkách  $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] a průměru použité frézy  $D$  [mm].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.1)$$

Vedlejší pohyb  $v_f$  [ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ] koná obrobek, je závislý na druhu frézy, počtu zubů  $z$  [-] a hodnotě posuvu na zub  $f_z$  [mm].

$$v_f = \frac{f_z \cdot z \cdot n}{1000} \quad (1.2)$$

Vektorovým součtem těchto dvou pohybů vzniká výsledný pohyb  $v_e$  [m.min<sup>-1</sup>]<sup>4</sup>.

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (1.3)$$

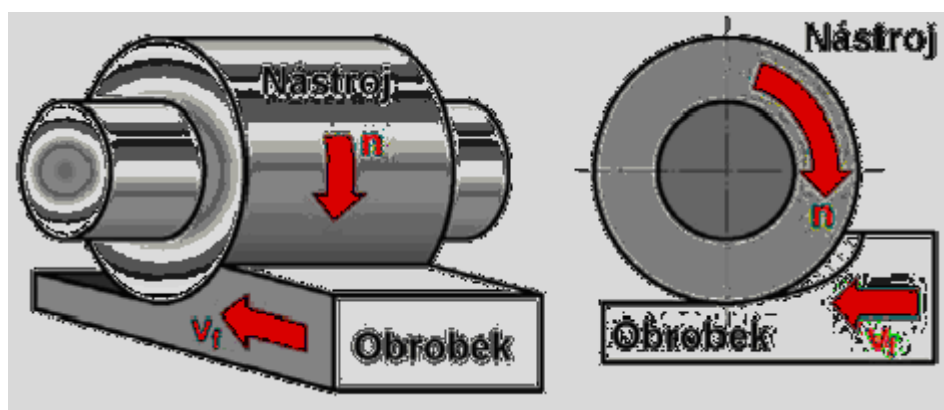
Válcové frézování se převážně uplatňuje při výrobě rovinných a tvarových ploch. Zuby frézy jsou vytvořeny jen po obvodu nástroje, hloubka záběru  $H$  se nastavuje kolmo na směr posuvu a osu frézy. Při frézování se rozlišují tři základní plochy, těmito plochami jsou obráběná, přechodová a obrobená plocha. V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozlišuje frézování sousledné a nesousledné<sup>5,6</sup>.

### 1.1.1 Sousledné frézování

Při sousledném způsobu frézování Obr. 1.1 se nástroj otáčí ve směru posuvu obrobku. Tříska o maximální tloušťce vzniká při kontaktu zubu frézy s obrobkem, průřez třísky se postupně zmenšuje. Obrobená plocha vzniká při odchodu zubu ze záběru. Řezné síly působí směrem dolů, tedy do upínacího přípravku. Sousledné frézování lze použít jen na stroji, jenž má vymezeny vůle a přepětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky. V opačném případě způsobuje vůle nestejný posuv a rázy, při nichž může dojít k poškození nástroje nebo stroje.

Hlavní výhody sousledného frézování:

- vyšší trvanlivost břitů, což umožňuje použít vyšších řezných rychlostí a posuvů,
- řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu, takže lze použít jednodušší upínací přípravky,
- menší sklon ke chvění,
- menší potřebný řezný výkon,
- menší drsnost obrobeného povrchu,
- menší sklon k tvorbě nárůstku<sup>5,6</sup>.



Obr. 1.1 Sousledné frézování<sup>6</sup>.

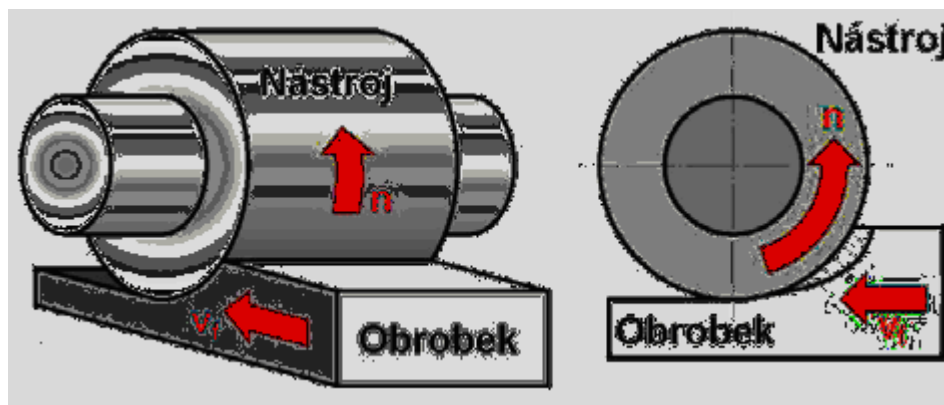
### 1.1.2 Nesousledné frézování

Při nesousledném frézování Obr. 1.2 se nástroj otáčí proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Hodnota průřezu třísky se postupně mění od nulové hodnoty po hodnotu maximální. K oddělení třísky nedochází

v okamžiku, kdy je hodnota jejího průřezu nulová, ale po určitém skluzu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Při tomto způsobu obrábění vznikají silové účinky a deformace, které způsobují zvýšené opotřebení břitu. Řezná síla při nesousledném frézování má složku síly, která působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od stolu.

Hlavní výhody nesousledného frézování:

- trvanlivost nástroje nezáleží na okujích, písčitém povrchu obrobku,
- není třeba vymezovat vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje,
- menší opotřebení šroubu a matice,
- záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu<sup>5,6</sup>.



Obr. 1.2 Nesousledné frézování<sup>6</sup>.

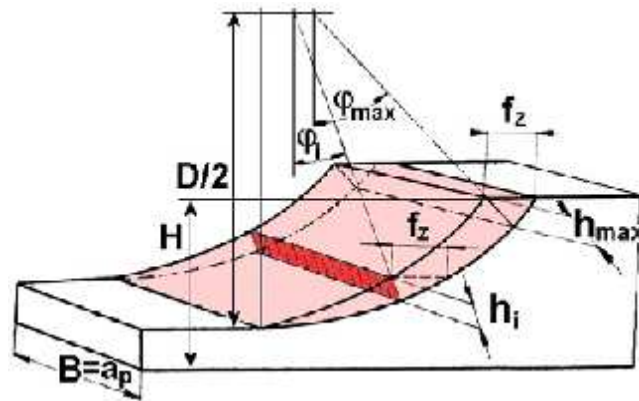
## 1.2 Průřez třísky při frézování

Tloušťka odřezávané třísky nemá při frézování konstantní hodnotu Obr. 1.3, její průběh je také závislý na způsobu obrábění. Nesousledné obrábění je charakteristické tím, že tříska je odebrána od nulové hodnoty po maximální. U sousledného frézování se tříska odebrá od největší hodnoty po minimální<sup>5,6</sup>.

Jmenovitá tloušťka třísky  $h_i$  [mm] se vyjádří v libovolné fázi jejího odebrání vztahem:

$$h_i = f(\varphi_i) = f_z \cdot \sin(\varphi_i) \quad (1.4)$$

Úhel posuvového pohybu  $\varphi_i$  se mění nejen v závislosti na poloze zubu, ale u fréz se šikmými zuby nebo zuby ve šroubovici také v podél příslušného ostří<sup>5,6</sup>.

Obr. 1.3 Průřez třísky při válcovém frézování<sup>6</sup>.

Další úvahy a dílčí závěry se budou pro určité zjednodušení odvozovat pro válcovou frézu s přímými zuby.

Maximální velikost jmenovité třísky  $h_{\max}$  [mm]:

$$h_{\max} = f_z \cdot \sin \varphi_{\max} = f_z \cdot \frac{D}{2} \cdot \sqrt{D \cdot H - H^2} \quad (1.5)$$

Jmenovitý průřez třísky  $A_{Di}$  [mm<sup>2</sup>]:

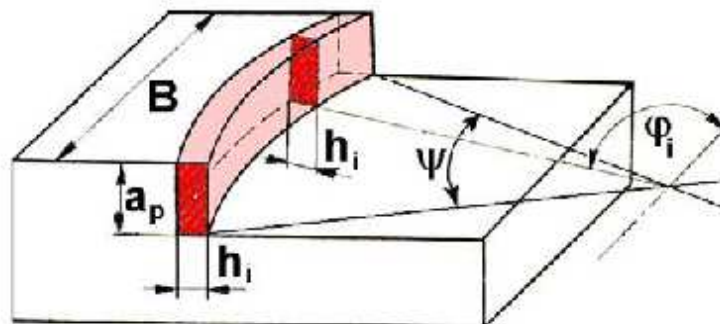
$$A_{Di} = h_i \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_i \quad (1.6)$$

Šířka záběru ostří  $a_p$  [mm] je pro válcovou frézu s přímými zuby rovna šířce obráběné plochy.

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky  $A_{D\max}$  [mm<sup>2</sup>]:

$$A_{D\max} = h_{\max} \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_{\max} \quad (1.7)$$

Pro výpočet průřezu třísky při čelním frézování Obr 1.4 se využije následujících vzorců.

Obr. 1.4 Průřez třísky při čelním frézování<sup>6</sup>.

Jmenovitá tloušťka třísky  $h_i$  [mm] nabývá hodnoty:

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_r \quad (1.8)$$

Jmenovitá šířka třísky  $b$  [mm] je pro libovolné  $\varphi_i$  [°] konstantní a její hodnota je:

$$b_i = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (1.9)$$

Jmenovitý průřez třísky  $A_{Di}$  [mm<sup>2</sup>):

$$A_{Di} = h_i \cdot b_i = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_i \quad (1.10)$$

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky  $A_{Dmax}$  [mm<sup>2</sup>] je při  $\varphi = 90^\circ$ , z toho plyne:

$$A_{Dmax} = f_z \cdot a_p \quad (1.11)$$

### 1.3 Nástroje pro frézování

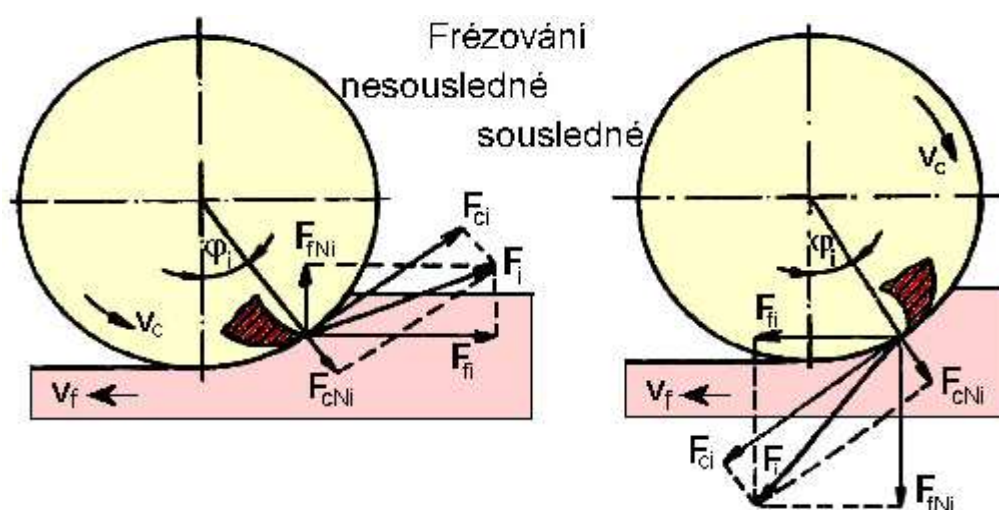
Vzhledem k rozsáhlému uplatnění frézování ve strojírenství a k velkému rozšíření technologie frézování se dnes používá mnoho druhů fréz. Frézy jsou vícebřité, mnohdy i tvarově složité nástroje, které lze z hlediska technologického uplatnění rozdělit do jednotlivých skupin z různých hledisek podle:

- umístění zubů na těle nástroje se rozlišují frézy válcové (zuby jsou pouze na válcové ploše), čelní (zuby jsou na čele) a čelní válcové (zuby jsou na čele i na válcové ploše),
- typu materiálu zubů se rozlišují frézy z rychlořezných ocelí, slinutých karbidů, cermetů, řezné keramiky, polykrystalického kubického nitridu boru a polykrystalického diamantu,
- podle provedení zubů se rozlišují frézy se zuby podsoustruženými nebo frézovanými. U frézovaných zubů jsou čelo i hřbet tvořeny rovinnými plochami, fazetka o šířce 0,5 – 2 mm na hřbetě zpevňuje břit, ostření se provádí na hřbetě nástroje. Zuby podsoustružené mají hřbetní plochu tvořenou částí Archimédovy spirály, čelo zubu tvoří rovinná plocha, ostření je prováděno na čele. Předností nástrojů s podsoustruženými zuby je to, že se při ostření na čele mění jejich profil jen nepatrně, proto se využívají především pro tvarové nástroje,
- směru zubů se nástroje vzhledem k jeho ose rotace rozlišují frézy se zuby přímými a zuby ve šroubovici, pravé nebo levé. Výhodou zubů ve šroubovici je to, že do záběru vnikají postupně, to činí řezný proces plynulým a klidnějším. Sklon šroubovice bývá obvykle mezi 10° až 45°,
- počtu zubů vzhledem k průměru frézy se rozlišují frézy jemnozubé (velký počet zubů), polohrubozubé a hrubozubé (malý počet zubů). Aby byl chod frézy klidný a plynulý měly by být společně v záběru alespoň dva zuby,
- konstrukce se rozlišují frézy celistvé, kdy tělo i zuby jsou z jednoho materiálu (rychlořezné oceli, slinutého karbidu) a frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami, které jsou mechanicky připevněny k tělesu frézy,

- tvaru funkční části se nástroje dělí na válcové, kotoučové, drážkovací, úhlové, rádiusové, na výrobu ozubení,
- způsobu upnutí se nástroje rozlišují na nástřčné (upínají se za díru ve středu nástroje) a stopkové (upínají se za válcovou nebo kuželovou stopku),
- smyslu otáčení se frézy dělí na pravořezné a levořezné<sup>6</sup>.

#### 1.4 Řezné síly

Pro specifikaci řezných sil při frézování Obr. 1.5 se vychází ze silových poměrů na jednom břitu, poloha tohoto břitu je dána úhlem  $\varphi_i$  [°]. Při válcovém frézování s nástrojem s přímými zuby se celková řezná síla  $F_i$  působící na břitu rozkládá na složky  $F_{ci}$  [N] a  $F_{cNi}$  [N] respektive na složky  $F_{fi}$  [N] a  $F_{fNi}$  [N]<sup>5,6</sup>.



Obr 1.5 Řezné síly při frézování<sup>6</sup>.

Řezná síla  $F_{ci}$  [N] se vyjadřuje na základě měrné řezné síly  $k_{ci}$  [MPa] a průřezu třísky  $A_{Di}$  [mm<sup>2</sup>]:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad (1.12)$$

Měrná řezná síla  $k_{ci}$  [MPa] se vyjádří ze vztahu:

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} \quad (1.13)$$

Po dosazení a úpravě se získá vztah:

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi \quad (1.14)$$

Při čelním frézování se řezná síla  $F_{ci}$  [N] určí obdobným způsobem, po dosazení a úpravách se dostane vzorec:

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \cdot \sin \varphi_i \quad (1.15)$$

Jelikož jsou frézy v převážné většině vícebřité nástroje, je při frézování v záběru vždy několik zubů současně. Výsledná síla je pak závislá na počtu zubů, které jsou v záběru a na okamžité poloze zubů vzhledem k obrobku. Z hlediska potřebného kroutícího momentu a výkonu na vřetenu frézky je důležitá celková řezná síla  $F_c$  [N]<sup>6</sup>.

Celková řezná síla  $F_c$  [N] pro válcové frézování se vypočte ze vztahu:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \quad (1.16)$$

Celková řezná síla  $F_c$  [N] pro čelní frézování se vypočte ze vztahu:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \quad (1.17)$$

Počet zubů  $n_z$  [-] v záběru pro válcové frézování se vypočte ze vztahu:

$$n_z = \frac{\varphi_{\max}}{360} \cdot z \quad (1.18)$$

Počet zubů  $n_z$  [-] v záběru při čelním frézování se vypočte ze vztahu:

$$n_z = \frac{\psi}{360} \cdot z \quad (1.19)$$

Po spočtení počtu zubů v záběru je nutné spočtené hodnoty zaokrouhlit vždy směrem nahoru<sup>6</sup>.

## 2 POPIS FRÉZOVACÍCH STROJŮ

Frézky jsou vyráběny a dodávány v širokém spektru modelů, velikostí a variant, často i s příslušenstvím.

Velikost frézky je určena velikostí upínací plochy stolu a velikostí kužele ve vřetenu stroje, do kterého se upíná nástroj. Dalším technickým parametrem je velikost maximální délky pohybu stolu v jednotlivých osách. Maximální vzdálenost mezi vřeteníkem a pracovním stolem. Rozsah strojních posuvů a otáček vřetena, výkon elektromotoru pro pohon vřetena a kvalitativní parametry dosahované u obrobených ploch<sup>5,6</sup>.

### 2.1 Rozdělení frézovacích strojů

Zpravidla jsou tyto stroje děleny do čtyř základních skupin na rovinné, stolové, konzolové a speciální.

#### 2.1.1 Konzolové frézky

Tento typ frézek je charakteristický svojí výškově přestavitelnou konzolou, která se pohybuje po vedení stojanu. Po konzole se pohybuje příčný stůl s podélným pracovním stolem. Tento typ konstrukce umožňuje přestavit obrobek, který je upnut na pracovním stole ve třech pravoúhlých souřadnicích vzhledem k nástroji, který je upnut ve vřetenu stroje.

Konzolové frézky jsou vhodné pro výrobu rovinných a tvarových ploch u menších a středně velkých obrobků v kusové a malosériové výrobě. Vyrábějí se ve třech základních variantách a to jako konzolové frézky svislé (vertikální), konzolové frézky vodorovné (horizontální) a konzolové frézky univerzální<sup>5,6</sup>.

#### Konzolové frézky svislé

Osa pracovního vřetena je kolmá k upínací ploše stolu. Pracovní vřeteno je uloženo ve svislé hlavě, která je připevněna na stojanu frézky, nebo přímo ve stojanu. Svislá hlava se dá natáčet o 45° na obě strany. Vřeteno bývá svisle přestavitelné. Na svislých konzolových frézách bývají frézovány převážně rovnoběžné rovinné plochy. K tomuto účelu jsou používány čelní frézy upnuté na krátkém trnu, nebo frézy s kuželovou stopkou ty se upínají přímo do kužele vřetena, nebo s válcovou stopkou upínané do sklíčidla. Na větších svislých konzolových frézách se používají též frézovací hlavy<sup>5</sup>.

#### Konzolové frézky vodorovné

Osa pracovního vřetena je vodorovná, rovnoběžná s plochou podélného stolu. Frézují se na nich převážně plochy, které jsou rovnoběžné s plochou stolu, drážky a tvarové plochy. Pracuje se na nich většinou válcovými, kotoučovými frézami a frézami tvarovými. Frézovací trn lze použít letmo nebo jej podepřít v opěrném ložisku. Jen omezeně se používají frézy s kuželovou stopkou a frézovací hlavy upnuté do kužele pracovního vřetena<sup>5</sup>.

#### Konzolové frézky univerzální

Univerzální konzolové frézky jsou podobné konstrukce jak vodorovné konzolové frézky. Hlavní rozdíl mezi těmito stroji je ten, že univerzální konzolová frézka má otočný podélný pracovní stůl, který se dá natáčet ve vodorovné rovině kolem svislé osy kolmé k upínací ploše v rozmezí  $\pm 45^\circ$ <sup>5</sup>.

### **2.1.2 Stolové frézky**

Tento druh frézek nemá konzolu, ale v jeho konstrukci zůstává příčný a podélný stůl. Pohyb ve svislém směru je zajišťován výškově přestavitelným vřeteníkem, který se pohybuje ve vedení stroje. Na stolových frézách lze díky jejich konstrukci kvalitně a produktivně obrábět rozměrnější a těžší součástky<sup>5</sup>.

### **2.1.3 Rovinné frézky**

Patří mezi nejvýkonnější druhy frézek. Pracovní stůl se pohybuje jen v jednom směru a to vodorovném, ostatní posuvy, příčný a svislý jsou zajišťovány nástrojovými hlavami. Jsou robustní konstrukce a umožňují obrábět velmi těžké obrobky. Jsou vhodné hlavně pro kusovou a malosériovou výrobu, dobře se však uplatní také v sériové výrobě. Nejčastějšími nástroji na tomto typu frézek jsou frézovací hlavy pro obrábění vodorovných, svislých a šikmých ploch a stopkové frézy při obrábění úzkých ploch a drážek<sup>5</sup>.

## **2.2 Příslušenství konzolových frézek**

Ke konzolovým frézám se dodává zvláštní příslušenství, které značně rozšiřuje univerzálnost jejich použití.

### **Univerzální hlava**

Hlava se připevňuje na čelní plochu stojanu univerzální nebo vodorovné frézky. Dá se natáčet kolem dvou os, tím lze dosáhnout libovolného nastavení frézy vůči obrobku. Pohon frézovacího vřetena hlavy je odvozen od hlavního vřetena stroje. Univerzální hlava je využívána pro frézování těžko přístupných, zejména šikmých ploch<sup>5</sup>.

### **Svislá frézovací hlava**

Tato frézovací hlava je využívána na vodorovných a univerzálních frézách. Hlava je otočná kolem osy pracovního vřetena. Od pracovního vřetena je odvozen pohon frézovací hlavy. Při použití svislé frézovací hlavy lze na vodorovných frézách pracovat se stopkovými frézami a provádět práce, které by jinak vyžadovaly použití svislé frézky<sup>5</sup>.

### **Otočný stůl**

Připevňuje se na pracovní stůl frézky. Otáčení stolu je odvozeno od podélného pohybu pracovního stroje šroubovitým teleskopickým hřídelem, nebo je možné otáčet stolem ručně. Na otočných stolech je možné frézovat různé rotační tvary, vačky a drážky stopkovými frézami<sup>5</sup>.

### **Obrážecí hlava**

Hlava se upíná na vřeteno stroje, z vřetena je přenášen pohyb na klikový mechanismus. Obrážecí hlavy se používají pro výrobu vnitřních průchozích drážek<sup>5</sup>.

### **Jednoduché dělicí přístroje**

Pro rozdělení odvodu obrobku u tohoto typu dělicích přístrojů slouží dělicí kotouč, který má na svém obvodu zářezy nebo díry. Vlastní dělení probíhá metodou přímého dělení, to spočívá v pootočení vřetena dělicího přístroje o požadovaný díl obvodu a zajištění západkou do zářezu dělicího kotouče. Kotouče pro přímé dělení se vyrábějí s 24, 36 nebo 48 zářezy. Odvod obrobku lze rozdělit na takový počet dílů, kterým jde dělit celkový počet zářezů beze zbytku. Uplatňují se při obrábění drážek a zubů. Obrobky se upínají do univerzálního sklíčidla<sup>5</sup>.

## Univerzální dělicí přístroje

Používají se pro přímé, nepřímé a diferenciální dělení. Kotouč pro přímé dělení je umístěn na předním konci dělicího vřetena. Kotouč má 24, 36 nebo 48 otvorů, do nich zapadá odpružený kolík, který je uložen v těle dělicího přístroje. Pro nepřímé a diferenciální dělení slouží kotouč na jehož obvodu je vyvrtáno několik soustředných kružnic s různým počtem děr např. 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 27, 31, 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49. Vřeteno přístroje se pootáčí klikou přes ozubené soukolí s převodem 1:1 a přes šnek se šnekovým kolem s převodem 1:40<sup>5</sup>.

### *Nepřímé dělení*

Při nepřímém dělení pracujeme s převodem šroubového soukolí a jednou kružnicí dírek dělicí desky. Nejčastější převod šnekového soukolí je 1:40. Z toho vyplývá, že pro jedno otočení vřetene musíme klikou otočit čtyřicetkrát. Má-li být obvod rozdělen na 26 částí je

třeba klikou otočit o  $\frac{40}{26} = 1 + \frac{14}{26}$ . Protože 26 děr na dělicím kotouči není, upraví se zlomek

$\frac{14}{26}$  na  $\frac{21}{39}$ . Klika se zajistí kolíkem v některé z děr na kruhu s 39 dírami. Dělení pak

probíhá tak že klikou otočíme jednou dokola a ještě o 21 roztečí<sup>1,5</sup>.

### *Diferenciální dělení*

Diferenčního způsobu dělení využijeme v případě kdy je třeba rozdělit obvod na počet dílů daný některými prvočísly, nebo když si nevystačíme s nepřímým dělením. K tomuto účelu je dělicí přístroj opatřen výměnnými převodovými koly  $z_1$  až  $z_4$ . Otáčením dělicí kliky se pootáčí vřeteno dělicího přístroje přes šnek a šnekové kolo stejně jako při nepřímém dělení. Současně se však otáčí převodem přes ozubená kola  $z_1$  až  $z_4$  dělicí kotouč, který je odjištěn a může se volně otáčet na hřídeli. Je-li převod z dělicí kliky na pracovní vřeteno uskutečněn jen koly  $z_1$  až  $z_4$ , otáčí se dělicí klika s dělicím kotoučem ve stejném smyslu. Při vložení dalšího mezikola se bude dělicí kotouč otáčet v opačném smyslu jak dělicí klika<sup>5,6</sup>.

Při diferenciálním způsobu dělení se zvolí nejbližší číslo, pro které by šlo použít nepřímého dělení. Takto vzniklá odchylka se dorovná pomocí diferenciálního převodu  $i$ <sup>5</sup>.

$$i = \frac{40(z' - z)}{z'} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \quad (2.1)$$

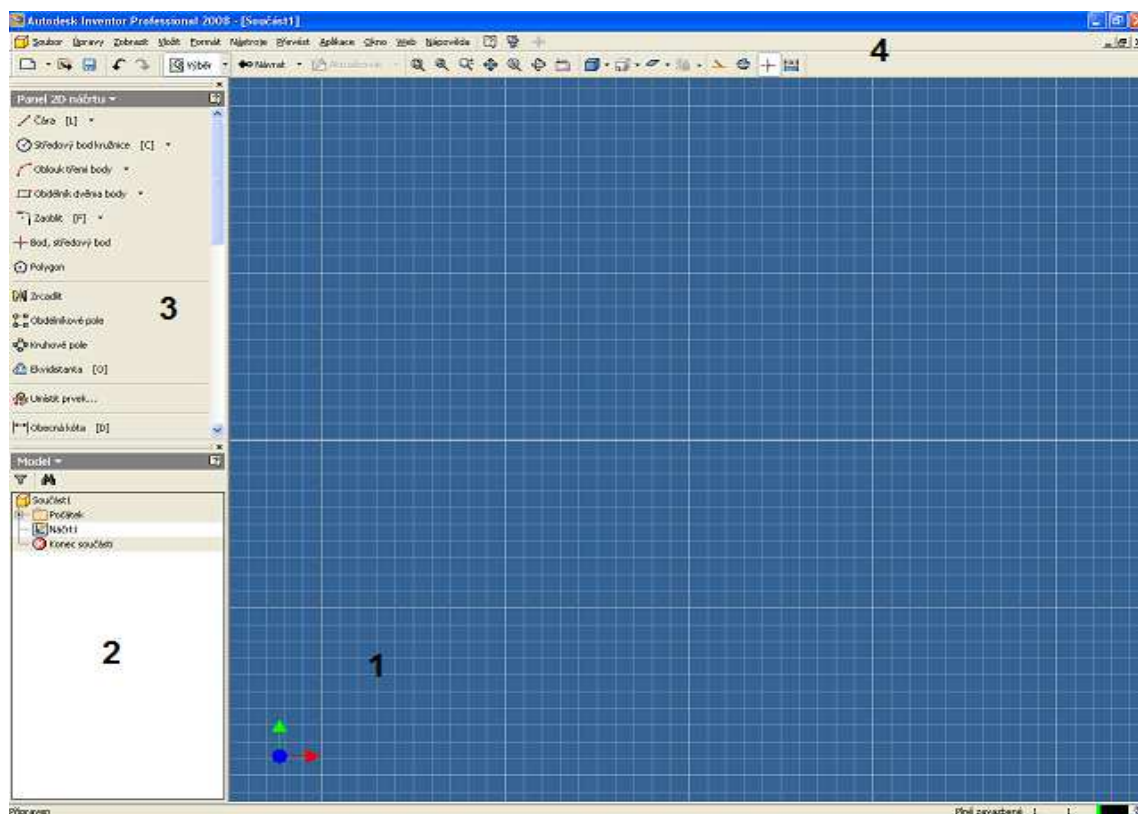
### 3 TVORBA MODELU PREZENTAČNÍHO TĚŽÍTKA V PROGRAMU AUTODESK INVENTOR

Model prezentačního těžítka, na kterém má být provedena aplikace CAD/CAM systému byl nejprve vymodelován. K vyrobení modelu bylo použito programu Autodesk Inventor 2008.

Autodesk Inventor zapadá svým určením do předvýrobní fáze nových případně inovovaných výrobků. Lze modelovat jednotlivé součásti, součásti z plechů, svařence a také sestavy. Součásti v sestavě lze opatřit vazbami a to omezením stupňů volnosti nebo zadáním vazeb mezi jednotlivými součástmi v sestavě<sup>7</sup>.

#### 3.1 Popis pracovního prostředí programu Autodesk Inventor 2008

Pracovní prostředí je navrženo tak, aby ovládání modelovacích operací bylo co nejvíce intuitivní. Je však nutné podotknout, že parametrické a adaptivní modelování je velkou změnou oproti klasickým kreslicím programům. Vzhled pracovní plochy je uveden na Obr. 3.1<sup>7</sup>.



Obr. 3.1 Pracovní prostředí programu Autodesk Inventor.

Pracovní plocha je rozdělena do několika základních částí. Těmito částmi jsou:

**Pracovní plocha** (Obr. 3.1, pozice 1)

- zde se zobrazuje modelovaná součást nebo sestava.

**Prohlížeč součástí** (Obr. 3.1, pozice 2)

- zobrazuje jednotlivé operace které byly na modelu provedeny,

- tyto operace jsou seřazeny ve skupinách pro každý prvek součásti zvlášť, což usnadňuje pozdější úpravy modelu.

#### **Panely nástrojů** (Obr. 3.1, pozice 3)

- zobrazuje jednotlivé úkony, které lze v daný okamžik provést.

#### **Roletové nabídky** (Obr. 3.1, pozice 4)

- pro aktivaci a nastavení některých prvků<sup>7</sup>.

### **3.2 Základní postup práce při tvorbě modelu**

Prvním krokem při konstrukci modelu je tvorba náčrtu. Náčrt by měl být jednoduchý, a měl by vystihovat základní tvar a velikost budoucího modelu. Po nakreslení hrubého náčrtu se provede jeho vyhodnocení, při vyhodnocení jsou doplněny předpokládané rozměry a geometrické vazby. Náčrty se mohou rozdělit především podle stupně jejich parametrizace do tří základních skupin.

- náčrty plně parametrické, jsou plně geometricky určené,
- náčrty částečně parametrické, jsou částečně geometricky určené,
- náčrty adaptivní, částečně parametrické náčrty řízené geometrií v sestavě.

Náčrty jsou využitelné pro modelování součásti a tvorbu pomocné geometrie. Autodesk Inventor podporuje modelování ve všech uvedených typech náčrtů. Při tvorbě modelu těžítka bylo použito náčrtu plně parametrického<sup>7</sup>.

Po vytvoření náčrtu následuje tvorba 3D modelu. Model lze zhotovit několika různými způsoby. Název každého z těchto způsobů říká, jakého principu bude použito pro vytvoření modelu.

#### **Vysunout**

- tvar prvku je dán tvarem náčrtu, velikostí vysunutí a úhlem zúžení,
- prvek lze vysunout jako objemové těleso nebo jako plochu,
- vysouvaný předmět můžeme také rozšířit nebo zúžit. Rozsahu zúžení volíme od +90 do -90 stupňů pro vysunutí kolmo k rovně náčrtu<sup>7</sup>.

#### **Rotovat**

- tvar prvku je dán tvarem náčrtu a otočením profilu o zadaný úhel kolem osy,
- lze určit, zda bude prvek vysunut jako objemové těleso nebo jako plocha<sup>7</sup>.

#### **Tažení**

- tvar prvku je dán tvarem náčrtu vytaženého podél trajektorie,
- nejprve je nutné vytvořit trajektorii, poté se vytvoří rovina pro umístění taženého profilu a načrtne se profil<sup>7</sup>.

#### **Spirála**

- tímto příkazem lze vytvořit spirály, pružiny a různá vinutí,
- prvním krokem je vytvoření rotovaného profilu a osy rotace<sup>7</sup>.

Takto zhotovený model lze dále upravovat, srážet a zaoblovat hrany, přidávat další prvky jako neprůchozí díry, drážky a vnořené kapsy. Z takto vytvořených prvků mohou být vytvořeny sestavy. Posledním krokem výroby modelu či sestavy je zhotovení výkresové dokumentace<sup>7</sup>.

### 3.3 Tvorba modelu prezentačního těžítka

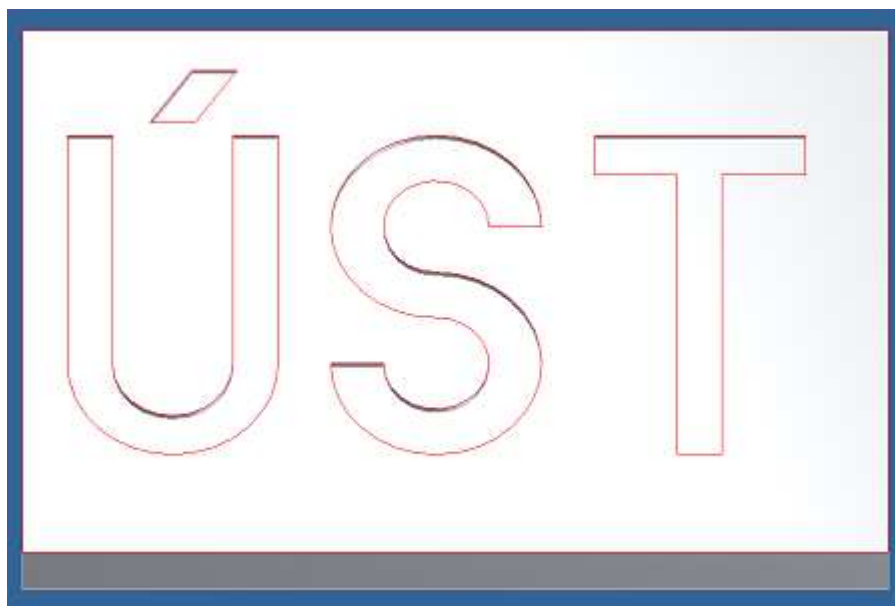
Pro tvorbu modelu prezentačního těžítka byla při výběru nového projektu zvolena Norma.ipt, v tomto typu souboru lze vytvářet součásti pomocí objemů a ploch.

Nejprve byl zhotoven obdélníkový náčrt, o rozměrech 80 x 115 mm. Z tohoto 2D náčrtu byl pomocí příkazu *Vysunout* vytvořen 3D model. Náčrt byl vysunut do výšky 10 mm. Na horní straně takto zhotoveného modelu byly postupně vytvořeny dvě skici. Jako první byla zhotovena skica tvořící nápis ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE Obr. 3.2. Rozměry jednotlivých písmen byly voleny s ohledem na průměr nástroje. Šířka písmen u první skici byla zvolena 2,4 mm a výška 14,4 mm. Písmena byla vytvořena za použití základních konstrukčních prvků. Takto vytvořená písmena byla zakótována a doplněna o vazby. Náčrt byl poté vysunut do hloubky 2 mm.



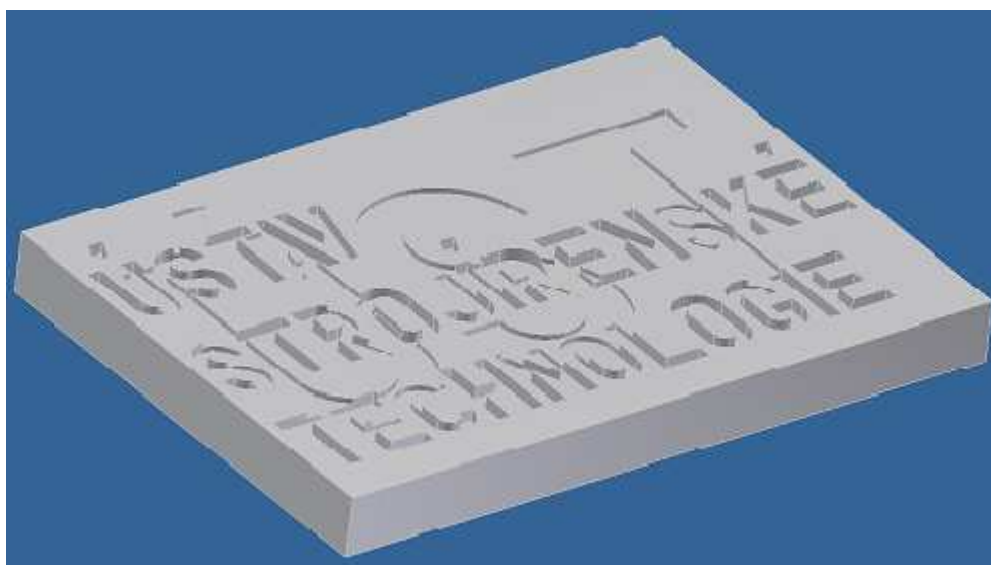
Obr 3.2 První část prezentačního těžítka.

Poté byly prvky nápisu které vznikly vysunutím pomocí příkazu *Vypnout prvky* zneviditelněny, aby nepřekážely při tvorbě další skici na této ploše. Dalším krokem bylo vymodelování písmen ÚST Obr. 3.3, jejichž šířka je 6 mm a výška 49 mm. Obrys byl *Vysunut* od hloubky 1 mm.



Obr. 3.3 Druhá část prezentačního těžítka .

Každý ze dvou takto vytvořených prvků byl samostatně uložen ve formátu \*.ipt, což je standardní přípona souborů programu Autodesk Inventor. Další práce budou pokračovat v programu PowerMill v. 6.0, proto byly soubory uloženy také ve formátu \*.stl. Tímto krokem je usnadněna práce s tímto souborem v programu PowerMill v. 6.0.



Obr. 3.4 Celkový pohled na model prezentačního těžítka.

## **4 VÝROBA PREZENTAČNÍHO TĚŽÍTKA NA KONZOLOVÉ VERTIKÁLNÍ FRÉZCE FV 25 CNC**

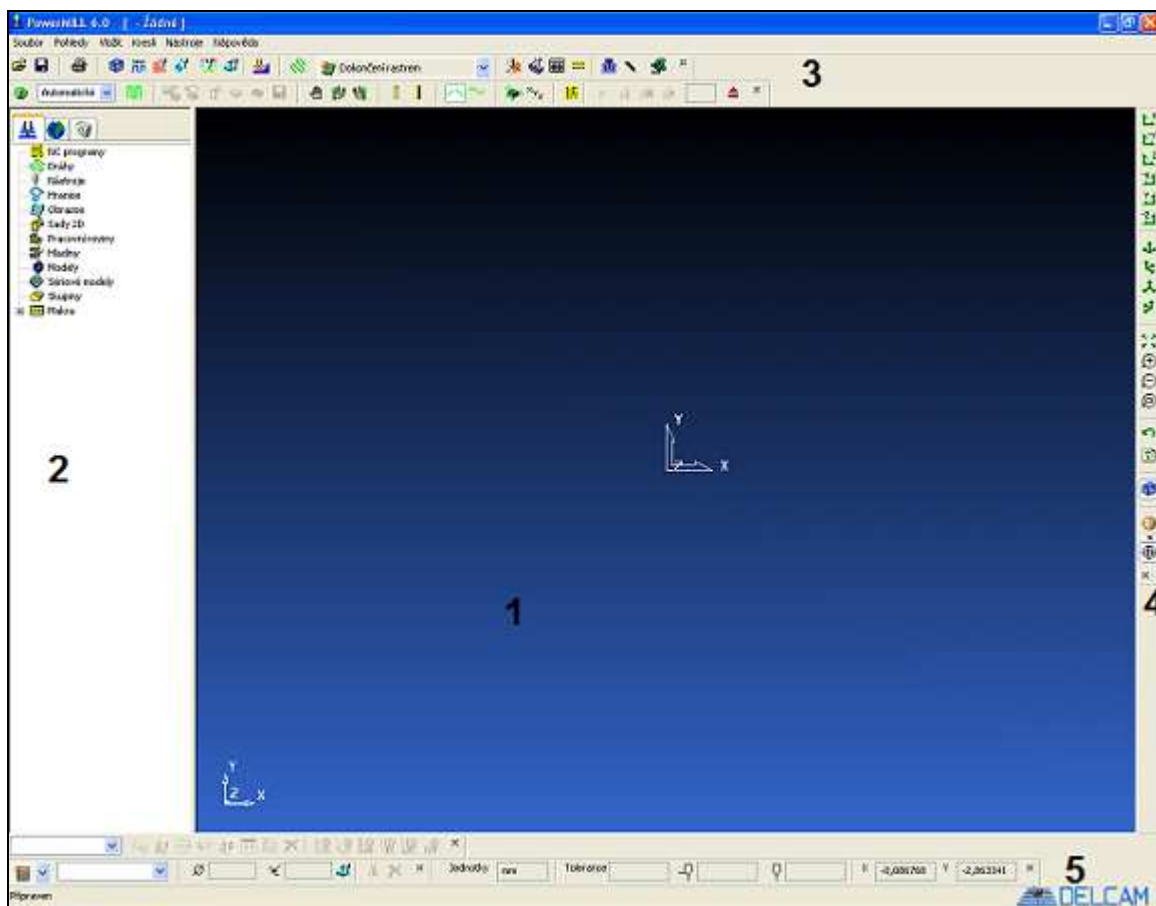
Následující kapitoly budou věnovány simulaci výroby v programu PowerMill v. 6.0, převedení CL dat pomocí postprocesoru do NC-kódu a následné výrobě na stroji FV 25 CNC.

### **4.1 Program PowerMill v. 6.0**

Program PowerMill v. 6.0 je CAM software určený pro programování obráběcích operací na CNC frézovacích strojích a centrech. Je zvláště vhodný pro obrábění částí forem a komponentů užívaných v širokých odvětvích průmyslu. Je také bez problémů použitelný pro jakoukoli součást v rozpětí od 2,5D až po 5D souvislé obrábění. Je kompatibilní s podstatnou většinou CAD programů. Při komunikaci a převodu grafických modelů do vlastních formátů využívá např. externí překladač PowerExchange. Výstup NC programu a transformace do podoby kódu obráběcího stroje je zajištěna např. programem PMPost. Import a export však lze provést i přímo z prostředí PowerMillu<sup>8,9,10</sup>.

Ovládání programu je obdobné jako ve většině podobných programů pracujících pod systémem Windows. K dispozici je jak roletové menu, tak nabídka ikon, které mají přesně zavedenou posloupnost. Průběh práce je tak usnadněn metodou postupného výběru a postupným zadáváním požadovaných hodnot ve směru zleva do prava<sup>10</sup>.

### 4.1.1 Popis pracovního prostředí programu PowerMill v. 6.0



Obr. 4.1 Pracovní prostředí Programu PowerMill v. 6.0.

#### **Pracovní plocha** (Obr. 4.1, pozice 1)

- pracovní plocha je hlavní částí okna programu PowerMill v. 6.0,

#### **Panel vlastností** (Obr. 4.1 pozice 2)

- v tomto panelu lze nastavit a editovat prvky vznikající během tvorby projektu,

#### **Horní lišta** (Obr.4.1 pozice 3)

V horní liště se nachází:

##### Panel nabídky

- tento panel umožňuje stejně jako u většiny programů provádět základní operace (otevírání, ukládání projektů, vkládání ...).

##### Panel hlavního nastavení

- nacházejí se zde nejpoužívanější ikony. Jejich posloupnost se řídí jejich vzájemnou návazností. Ikony se vyplňují postupně zleva do prava.

##### Panel simulace

- panel simulace umožňuje verifikaci jednotlivých drah nástrojů, zobrazuje také odebírání materiálu.

**Panel zobrazení** (Obr. 4.1 pozice 4)

- v tomto panelu je možné zvolit orientaci modelu.

**Spodní lišta** (Obr. 4.1 pozice 5)

Ve spodní liště se nachází:

Panel nástrojů,

- umožňuje snadnější vytváření nástrojů, definování řezných podmínek pro daný nástroj.

Stavový řádek

- zobrazuje informace o probíhajících operacích<sup>11</sup>.

**4.2 Charakteristika materiálu polotovaru**

Vzhledem ke své finanční nenáročnosti byl zvolen pro obrábění materiál z hliníku. Chemické složení zvoleného materiálu je uvedeno v Tab. 4.1. Označení tohoto materiálu dle EN 573-3 je EN AW-1350A<sup>12</sup>.

Tento typ materiálu je použitelný téměř ve všech odvětvích průmyslu (elektrotechnický, chemický, letecký, strojírenský, automobilní aj.). Používá se pro konstrukční prvky, které jsou mechanicky málo namáhané, ale vyžadují vysokou trvanlivost, dobrou svařitelnost, odolnost vůči korozi, dobrou tepelnou a elektrickou vodivost. Příkladem charakteristických výrobků jsou: výměníky chemických zařízení, chladiče automobilů, kryty, nádrže a mnoho dalších<sup>12</sup>.

Tab. 4.1 Chemické složení<sup>12</sup> (hm. %).

	Si	Fe	Cu	Zn	Ti	Al
min.	-	-	-	-	-	99,50
max.	0,30	0,40	0,05	0,07	0,05	-

**4.3 Způsob definování polotovaru**

Polotovar lze definovat několika rozdílnými způsoby. Polotovar je definován na základě geometrické podobnosti vyráběné součásti a polotovaru. PowerMill v. 6.0 umožňuje definovat polotovar pěti způsoby:

- min/max (krajní limity) – jsou definovány maximální rozměry na jednotlivých osách,
- válec – je definován středem, průměrem a výškou,
- obraz – definován 2D křivkou,
- model – definován 3D křivkou,
- hranice – definován hranicí<sup>10,11</sup>.

Volba polotovaru pro součást těžítka byla provedena zadáním maximálních rozměrů kvádrů, což je v tomto případě nejjednodušší.

Následným krokem bylo určení výchozího a koncového bodu programu. Navolení posuvových a přejezdových rychlostí, rychloposuvu a otáček.

#### 4.4 Volba nástrojů, řezných podmínek a tvorba jednotlivých obráběcích strategií

Aby nedocházelo ke kolizím mezi nástrojem a obrobkem a zbytečným přejezdům vzduchem, které vedou k prodloužení strojního času, je nutné nadefinovat nastavení přejezdů rychloposuvy.

Je vhodné také nadefinovat počáteční a koncový bod programu. Po nastavení těchto parametrů je možné přistoupit k vytváření jednotlivých obráběcích strategií.

##### 4.4.1 Volba nástroje a řezných podmínek pro hrubování offsetem

Pro vyhrubování profilu velkých písmen byla zvolena dvoubřitá drážkovací fréza o průměru 3 mm z rychlořezné oceli HSS Obr. 4.2



Obr. 4.2 Drážkovací dvojbřitá fréza.

Předchozí nástroj nemůže být vzhledem ke své velikosti použit pro vyhrubování malých písmen. K tomuto účelu byl zvolen nástroj Micro-N-Cut průměru 1,8 mm z produkce nástrojů Micro & Mini od firmy Emuge Franken.



Obr. 4.3 Micro-N-Cut.

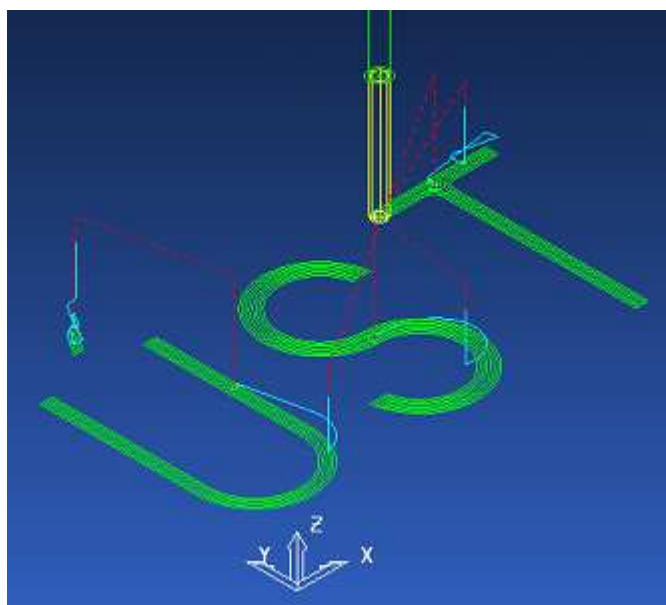
#### Hrubování offsetem

Úkolem hrubování je odebrat velké množství materiálu v co nejkratším čase. K tomuto účelu se používá strategie hrubování offsetem. Nástroj se během tohoto způsobu obrábění pohybuje kolem profilu součásti v konstantní hloubce. Po vyhrubování profilu v dané výšce se nástroj přesune o krok ve směru osy Z a pokračuje v obrábění na této hladině. Nástroj je během tohoto způsobu obrábění celou dobu v záběru, čímž dochází k eliminaci přejezdů a zkrácení doby obrábění<sup>11,13</sup>.

Volbu řezných podmínek lze provést dle katalogových parametrů, které jsou výrobcem definovány pro zvolené řezné nástroje. K dispozici je obvykle doporučená řezná rychlost, kterou lze přepočítat na otáčky vřetene. Parametry obrábění pro hrubování offsetem jsou uvedeny v Tab. 4.2 a Tab. 4.3.

Tab 4.2 Parametry obrábění: Hrubování offsetem.

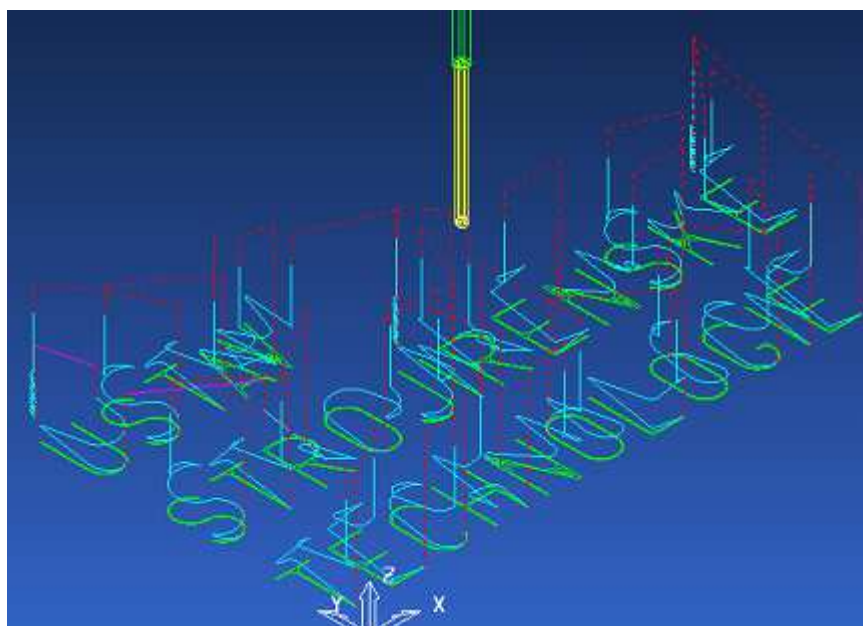
Referenční dráha	Hrubování offsetem
Nástroj	Drážkovací fréza Ø 3 mm
Axiální přídavek	0,2 mm
Radiální přídavek	0,2 mm
Krok	0,5 mm
Způsob obrábění	Sousledný
Otáčky vřetene	4800 min <sup>-1</sup>
Řezná rychlost	45,24 m.min <sup>-1</sup>
Posuvová rychlost	211,2 m.min <sup>-1</sup>
Sjezdová rychlost	50 mm.min <sup>-1</sup>
Posuv na zub	0,022 mm



Obr. 4.4 Strategie hrubování offsetem.

Tab. 4.3 Parametry obrábění: Hrubování offsetem.

Referenční dráha	Hrubování offsetem
Nástroj	Mikro-N-Cut fréza Ø 1,8 mm
Axiální přídavek	0,2 mm
Radiální přídavek	0,2 mm
Krok	0,5 mm
Způsob obrábění	Sousledný
Otáčky vřetene	5500 min <sup>-1</sup>
Řezná rychlost	31,10 m.min <sup>-1</sup>
Posuvová rychlost	200 mm.min <sup>-1</sup>
Sjezdová rychlost	50 mm.min <sup>-1</sup>
Posuv na zub	0,018 mm



Obr. 4.5 Strategie hrubování offsetem.

#### 4.4.2 Volba nástroje a řezných podmínek pro dokončení 3D offsetem

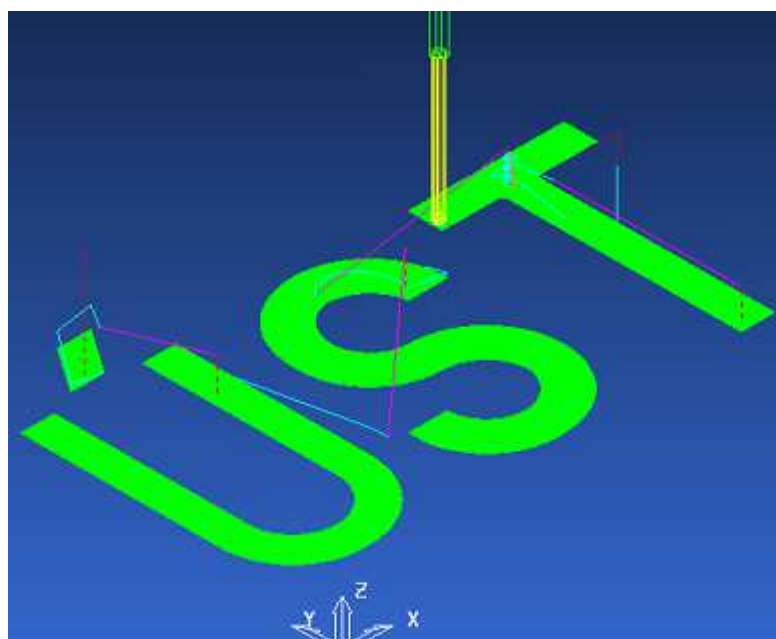
Pro dokončení obou profilů byla použita dvoubřitá fréza o průměru 1,8 mm ze slinutého karbidu (SK).

##### Dokončení 3D offsetem

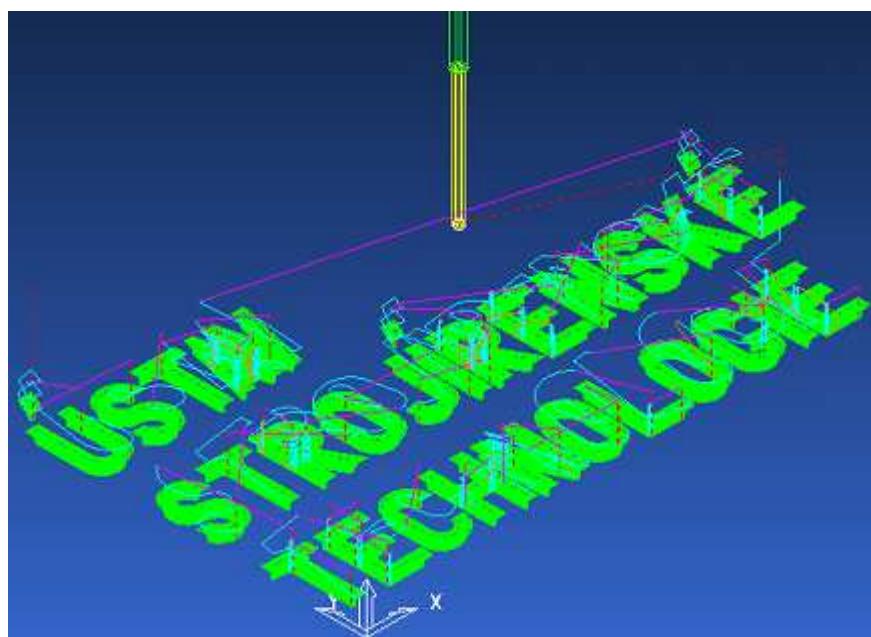
Tento typ obráběcí strategie slouží k dokončení rovinných ploch, je vhodný pro obrábění dutin. Parametry pro dokončení offsetem jsou uvedeny v Tab. 4.4.

Tab. 4.4 Parametry obrábění: Dokončení offsetem.

<b>Referenční dráha</b>	Dokončení offsetem
<b>Nástroj</b>	Mikro-N-Cut fréza Ø 1,8 mm
<b>Axiální přídavek</b>	0,0 mm
<b>Radiální přídavek</b>	0,0 mm
<b>Krok</b>	0,1 mm
<b>Způsob obrábění</b>	Sousledný
<b>Otáčky vřetene</b>	5900 min <sup>-1</sup>
<b>Řezná rychlost</b>	33,36 m.min <sup>-1</sup>
<b>Posuvová rychlost</b>	307 mm.min <sup>-1</sup>
<b>Sjezdová rychlost</b>	50 mm.min <sup>-1</sup>
<b>Posuv na zub</b>	0,026 mm



Obr. 4.6 Strategie dokončení offsetem.



Obr 4.7 Strategie dokončení offsetem.

## 4.5 Frézka FV 25 CNC

Pro výrobu prezentačního těžítka se použila konzolová vertikální frézka FV 25 CNC, s řídicím systémem Heidenhaim iTNC 530, pro kterou se vytvořil řídicí program v softwaru PowerMill v. 6.0, který byl uložen s příponou .h.

### 4.5.1 Popis stroje

Frézka FV 25 CNC Obr. 4.4 je souvisle říditelná vertikální konzolová frézka, jednou z její hlavní součástí je výškově přestavitelná konzola, pohybující se po vedení stojanu. Na konzole je uložen příčný pracovní stůl s podélným pracovním stolem. Uspořádání jednotlivých pohybů umožňuje přestavení obrobku, který je upnut na pracovním stole ve třech pravouhlých osách vzhledem k nástroji. Nástroj je upnut ve vřetenu stroje. Svislý pohyb je vykonáván pinolou, která se nachází ve vřetenu stroje. Konzola a vřeteno jsou spojeny se stojanem, který je ustaven na základně stroje. Na pravé straně je otočně umístěno rameno s ovládacím panelem. V zadní části je rozvodová skříň s elektronikou.



Obr. 4.4 Konzolová vertikální frézka FV 25 CNC.

### 4.5.2 Parametry stroje

Frézka FV 25 CNC je osazen řídicím systémem Heidenhaim iTNC 530. Tímto systémem jsou řízeny všechny pracovní pohyby. Stroj je vybaven přenosným ručním kolečkem u kterého lze nastavit dráhu, kterou ovládaná osa ujede na jednu otáčku kolečka<sup>14</sup>. Jako příslušenství lze použít otočný stůl, dělicí přístroj a různé druhy upínek, kterými by byl obrobek upnut přímo na pracovní stůl stroje.

Technické parametry stroje:

Stůl		
Rozměry pracovní plochy	[mm]	300x1300 (350x1300)
Počet upínacích drážek	[ks]	5
Šířka a rozteč upínacích drážek	[mm]	14x50
Maximální zatížení stolu	[kg]	200
Pracovní zdvih		
Podélný - osa X	[mm]	760
Příčný - osa Y	[mm]	355
Svislý - osa Z	[mm]	152
Svislé přestavení konzoly	[mm]	420
Pracovní posuv	[mm·min <sup>-1</sup> ]	2,5÷3000
Rychloposuv	[mm·min <sup>-1</sup> ]	9000
Vřeteno		
Upínací kužel		ISO40
Otáčky n	[min <sup>-1</sup> ]	50÷6000
Výkon P	[kW]	5,5
Vzdálenost osy vřetene od vedení stojanu	[mm]	373
Stroj		
Celkový výkon P	[kW]	22
Hmotnost m	[kg]	1500
Zastavěná plocha	[mm]	2750x2385
Výška	[mm]	2030

#### 4.6 Výroba prezentačního těžítka na konzolové frézce FV 25 CNC

Pro výrobu prezentačního těžítka byl použit hliníkový polotovar o rozměrech 120x80x10 mm.

##### 4.6.1 Příprava stroje

Po zapnutí obráběcího stroje a spuštění řídicího systému je nutné provést najetí referenčního bodu stroje R. Tento bod je realizován koncovými spínači. Vzájemná vzdálenost referenčního bodu R a nulového bodu stroje M, který je pevně stanoven výrobcem, jsou přesně odměřeny v souřadnicové soustavě stroje a jejich vzájemná vzdálenost je vložena do paměti řídicího systému jako strojní konstanta.

##### 4.6.2 Upnutí obrobku a stanovení nulového bodu obrobku

Ke zhotovení obrobku, u kterého bude dosaženo všech požadovaných parametrů, kterými jsou např. drsnost povrchu, tvarové a rozměrové tolerance, je třeba tuhé, jednoznačné a spolehlivé upnutí polotovaru. K tomuto účelu bylo využito univerzálního upínacího přípravku. Ke stanovení nulového bodu byla použita měřicí sonda Obr. 4.5. Řídicí systém stroje Heidenhaim iTNC 530 disponuje cykly pro dotykovou sondu, což vede ke zkrácení času nutného k určení nulového bodu obrobku. Program byl odladěn na panelu stroje a nasimulován, následně byla realizována fyzická realizace součásti.



Obr 4.5 Určení nulového bodu obrobku pomocí dotykové sondy.

#### 4.7 Výroba součásti

Po zrealizování všech přípravných operací bylo přistoupeno k vlastnímu obrábění součásti. Ukázka procesu obrábění je na Obr. 4.6. Pohled na obrobenou součást je na Obr. 4.7.



Obr. 4.6 Ukázka dokončování pomocí Mikro-N-Cut.



Obr. 4.7 Výsledná podoba prezentačního těžítka.

## ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce se zabývá návrhem a výrobou modelu prezentačního těžitka. Popisuje problematiku frézování, uvádí základní rozdělení frézovacích strojů a nástrojů. K výrobě těžitka bylo použito programů Autodesk Inventor a PowerMill v. 6.0. Práce rešeršním způsobem seznamuje s jejich základním ovládním.

Dosažené cíle bakalářské práce jsou shrnuty v následujících bodech:

- Byla provedena rešerše problematiky frézování a frézovacích strojů.
- Byl vytvořen model součásti v programu Autodesk Inventor.
- Byl vytvořen návrh obráběcích strategií pro výrobu prezentačního těžitka v CAM programu PowerMill v. 6.0, který byl následně převeden do NC kódu stroje.
- Byla provedena realizace obrábění na konzolové vertikální frézce FV 25 CNC.

Všech cílů bakalářské práce bylo dosaženo.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DEJMEK, J. Frézy a frézování. 1. vydání. Praha: Ústav pro učební pomůcky průmyslových a odborných škol, 1942. ISBN není.
2. TumliKovo, Metal Cutting Technologies, Z historie vývoje fréz, frézovacích strojů a frézování, [online] 2010 [vid. 11. května 2013]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/z-historie-vyvoje-frez-frezovacich-stroju-a-frezovani/>.
3. HUMÁR, A. *Technologie I: Základní metody obrábění – 1. část* [online]. Brno: VUT, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2004 [vid. 19. února 2013]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/zakl\\_met\\_obr/zakl\\_met\\_obr\\_1.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/zakl_met_obr/zakl_met_obr_1.pdf).
4. FOREJT, M; PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vydání. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
5. KOČMAN, K; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vydání. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
6. HUMÁR, A. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část* [online]. Brno: VUT, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 2003 [cit. 19. února 2013]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf).
7. FOŘT, P; KLETEČKA, J. Autodesk Inventor: Funkční navrhování v průmyslové praxi. 2. aktualizované vydání. Brno: Computer Press a.s., 2007. 318 s. ISBN 978-80-251-1773-6.
8. DELCAM BRNO, s.r.o. Delcam | CAD CAM software pro frézování soustružení a edm [online]. Brno: c2008 [vid. 1. března 2013]. Dostupné z: <http://www.delcam.cz/uvod/>.
9. DVOŘÁK, J. CAD/CAM & CNC Technologie [online]. [vid. 12. března 2013]. PowerMill. Dostupné z: <http://cadcam.fme.vutbr.cz/?page=powermill>.
10. POLZER, A. 4. Výukový modul: CAD/CAM: Obrábění součástí s názvem Plovák [online]. Brno: VUT, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie – Odbor technologie obrábění, 2006 [vid. 10. března 2013]. Dostupné z: [http://esf.fme.vutbr.cz/inter\\_prikklady/cadcam/inter\\_cv/3\\_powermill/01\\_priklad.pdf](http://esf.fme.vutbr.cz/inter_prikklady/cadcam/inter_cv/3_powermill/01_priklad.pdf).
11. KAFKA, L. Využití CAD/CAM technologie pro výrobu formy čerpadlového kola. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 62 s., příloha 6. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
12. PROPAL. *Hliníkové profily, hliníkové plechy, hliníkové systémy* [online]. 2009 [vid. 15. března 2013]. Hliník Al99,5 – ČSN 424005. Dostupné z: <http://www.proal.cz/info/424005.htm>.
13. VINKLER, T, Aplikace CAD/CAM softwaru PowerMill 6.0 při obrábění. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 57 s., 41 příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.
14. HEIDENHAIN Příručka pro uživatele DIN/ISO programování iTNC 530, 576 s.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

symbol	jednotka	význam
$A_{Di}$	[mm <sup>2</sup> ]	Jmenovitý průřez třísky
$A_{Dmax}$	[mm <sup>2</sup> ]	Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky
$C_{Fc}$	[-]	Konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu
$D$	[mm]	Průměr nástroje
$F_c$	[N]	Celková řezná síla
$F_{ci}$	[N]	Řezná síla
$H$	[mm]	Hloubka záběru
$a_p$	[mm]	Šířka záběru ostří
$b_i$	[mm]	Jmenovitá šířka třísky
$f_z$	[mm]	Posuv na zub
$h_i$	[mm]	Jmenovitá tloušťka třísky
$h_{max}$	[mm]	Maximální velikost jmenovité tloušťky třísky
$i$	[-]	Převodový poměr
$k_{ci}$	[MPa]	Měrná řezná síla
$n$	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky nástroje
$n_z$	[-]	Počet zubů v záběru
$v_c$	[m.min <sup>-1</sup> ]	Řezná rychlost
$v_e$	[m.min <sup>-1</sup> ]	Výsledný pohyb
$v_f$	[mm.min <sup>-1</sup> ]	Vedlejší pohyb
$x$	[-]	Exponent vlivu tloušťky třísky
$z$	[-]	Počet zubů
$z_1$	[-]	Počet zubů 1. kola
$z_2$	[-]	Počet zubů 2. kola
$z_3$	[-]	Počet zubů 3. kola
$z_4$	[-]	Počet zubů 4. kola
<b>Řecký symbol</b>		
	<b>jednotka</b>	<b>význam</b>
$\varphi$	[°]	Úhel posuvového pohybu
$\psi$	[°]	Úhel záběru frézy
$\kappa$	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří
$\pi$	[-]	Ludolfovo číslo

<b>zkratka</b>	<b>popis zkratky</b>
<b>2,5D</b>	Two and half dimensional
<b>2D</b>	Two and dimensional
<b>3D</b>	Three dimensional
<b>5D</b>	Five dimensional
<b>CAD</b>	Computer Aided Design
<b>CAM</b>	Computer Aided Manufacturing
<b>CL data</b>	Cutting Location Data
<b>CNC</b>	Computer Numeric Control
<b>HSS</b>	High speed steel
<b>NC</b>	Numerical Control
<b>SK</b>	Slinutý karbid

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1      Autodesk Inventor – model prezentačního těžítka  
Příloha 2      PowerMill – strategie obrábění písmen o hloubce 1 mm  
Příloha 3      PowerMill – strategie obrábění písmen o hloubce 2 mm