

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# **VYUŽITÍ SOFTWAREVÝCH PRODUKTŮ CAD/CAM V TPV MALÉ FIRMY**

**USAGE OF SW CAD/CAM IN CONDITION A SMALL COMPANY**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**PAVEL MIKEL**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. MILAN KALIVODA**

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Pavel Mikel

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:

### **Využití softwarových produktů CAD/CAM v TPV malé firmy**

v anglickém jazyce:

#### **Usage of SW CAD/CAM in condition a small company**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obecné představení SW CAD/CAM z hlediska malé firmy. Vytipování vhodné součástkové základny. Návrh vzorové technologie pro představitele součástí. Uvážení možnosti rozšíření produkce firmy. Celkové posouzení a doporučení.

Cíle bakalářské práce:

Začlenění softwarové podpory CAD/CAM do TPV v souladu s výrobním sortimentem malé firmy. Řešení technologií s progresivními nástroji. Zastupitelnost nástrojů. Definování přínosů z rozšiřování produkce firmy.

Seznam odborné literatury:

1. CIHLÁŘOVÁ, P., HILL, M. and PÍŠKA, M. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cnc.fme.vutbr.cz>>.
2. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
5. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. KOČMAN, K. Speciální technologie obrábění. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 24.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Bakalářská práce obsahuje souhrnné informace o CAD/CAM v oblasti výroby. Dále pak řešení součásti ze součástkové základny malé firmy ve vybraném softwaru. V řešení je popis volby jednotlivých nástrojů, výrobních operací a následné vygenerování NC kódu.

**Klíčová slova**

CAD/CAM, frézování, vyměnitelné břitové destičky, CNC centrum

**ABSTRACT**

Bachelor thesis includes summary information about CAD/CAM in production. Furthermore also solution of part from component base of small company in selected software. In solution there is a description of choice of particular tools, manufacturing operations and then generation NC code.

**Key words**

CAD/CAM, milling, changeable cutter, CNC center

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MIKEL, Pavel. *Využití softwarových produktů CAD/CAM v TPV malé firmy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 41 s.,3 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Využití softwarových produktů CAD/CAM v TPV malé firmy* vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 27. 5. 2011

.....  
Pavel Mikel

**Poděkování**

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

**OBSAH**

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| Abstrakt.....                                      | 4  |
| Prohlášení.....                                    | 5  |
| Poděkování.....                                    | 6  |
| Obsah.....                                         | 7  |
| Úvod .....                                         | 8  |
| 1 CAD/CAM SYSTÉMY .....                            | 9  |
| 1.1 Způsoby programování .....                     | 9  |
| 1.1.1 Struktura programu .....                     | 10 |
| 1.2 Základní funkce CAM softwaru.....              | 12 |
| 1.3 Metody obrábění .....                          | 13 |
| 1.4 Popis softwaru .....                           | 14 |
| 1.5 Software EdgeCAM .....                         | 14 |
| 2 SOUČÁSTKOVÁ ZÁKLADNA .....                       | 17 |
| 2.1 Odlitek.....                                   | 17 |
| 2.2 Výkovek .....                                  | 18 |
| 2.3 Ostatní produkty malých firem .....            | 20 |
| 2.4 Vybraná součást .....                          | 20 |
| 3 NÁSTROJE.....                                    | 21 |
| 3.1 Nejpoužívanější nástroje ve frézování.....     | 21 |
| 3.2 Upínání nástrojů .....                         | 21 |
| 3.2.1 Stopkové frézy .....                         | 22 |
| 3.2.2 Nástrčné frézy.....                          | 22 |
| 3.3 Břitové destičky (VBD) .....                   | 23 |
| 3.3.1 Slinuté karbidy .....                        | 23 |
| 3.4 Aplikace nástrojů při výrobě .....             | 23 |
| 3.4.1 Volba rohové frézy a břitových destiček..... | 23 |
| 3.4.2 Volba vrtáku .....                           | 24 |
| 3.4.3 Volba válcové frézy .....                    | 24 |
| 3.4.4 Volba rohové frézy .....                     | 25 |
| 4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY V CAM SYSTÉMU.....      | 26 |
| 4.1 Importování modelu.....                        | 26 |
| 4.2 Designová část.....                            | 26 |
| 4.3 Návrh technologického postupu .....            | 27 |
| 5 NÁVRH ROZŠÍŘENÍ PRODUKCE .....                   | 30 |
| 5.1 Návrh přípravku.....                           | 30 |
| 6 PARAMETRY STROJE, FOTOGALERIE .....              | 32 |
| Závěr .....                                        | 35 |
| Seznam použitých zdrojů .....                      | 36 |
| Seznam použitých zkratk a symbolů.....             | 37 |
| Seznam příloh.....                                 | 38 |

## ÚVOD

V současné moderní době je již pro každou firmu, ať už malou či velkou, téměř nezbytné využití produktů CAD/CAM softwaru. Používáním těchto softwarů se dostane k větší produktivitě výroby, zároveň šetří výrobní i přípravný čas, který by jistě při ručním programování stál, a také peníze. Jedná se o zefektivnění výroby, což je v dnešní konkurenci na strojním trhu důležité, vždyť dříve abstraktní pojmy jako jsou produktivita, efektivnost, přesnost, již nejsou pouhými slovy, ale často rozhodují o další budoucnosti firmy. Cena softwaru není tak velká, jako by mohly být ztráty vzniklé odchodem zákazníka ke konkurenci.

V této bakalářské práci je popsána součástková základna, která se u malých firem vyskytuje. Z této základny je také vybrán dílec, pro který je názorně tvořen NC program výrobního postupu obrábění pro zvolenou součást – opěrka.

K návrhu výroby je použit produkt společnosti Planit software, Ltd, systém EdgeCAM, což je jeden z nejrozšířenějších programovacích softwarů ve strojírenství.

## 1 CAD/CAM SYSTÉMY

Úvodem k softwarům CAD/CAM je třeba říci, že je důležitý výběr. Vybraný produkt by měl být lehce ovladatelný, snad naučitelný a hlavně přehledný k rychlejší práci.

Nabídka na trhu poskytuje CAD/CAM systémy pro stejnou operaci výroby od různých softwarových firem v různém prostředí a složitosti ovládání. Panely nabídky softwaru jsou řešeny různým způsobem, protože neexistuje žádná norma ani příkaz, který by nařizoval mít stejnou pracovní nabídku a technologický postup. Příkazy jsou jasně definovány a popsány na obrazovce jedním nebo dvěma slovy. Softwary obsahují různé strojírenské technologie výroby, které lze automatizovat. V modulech CAM, také mohou být řešeny sdružené technologie obrábění, tzn. na jednom stroji možnost více druhů operací, např. frézování a soustružení.<sup>3</sup>

### 1.1 Způsoby programování

CAD/CAM – termín označující využití počítače při projektování a zhotovení produktů. Jedná se o tzv. offline programování. Metoda CAD/CAM je založena na principu návrhu v CAD programu (2D, Solid model 3D) a konečný tvar se transformuje do souhrnu povelů, které lze přenést jako program do zpravidla číslicově řízených obráběcích strojů, jež podle něj daný výrobek vyrobí.<sup>3,6</sup>

Programování CNC strojů je možno provádět těmito způsoby:<sup>6</sup>

- Systém online – stav, při němž je zařízení spuštěné a připravené na komunikaci s počítačem, tzn. tvoření postupu přímo na CNC stroji, nebo – li dílenské programování (SFP)
- Offline programování – zařízení nekomunikuje s počítačem, nemusí to ale znamenat fyzické odpojení od počítače – tvorba part programu mimo řídicí systém

Důvody pro zavedení offline programování :<sup>6</sup>

- Složitost a kvalifikovanost programování NC strojů – vyžadována přesnost tvoření kódu
- Požadovány praktické znalosti technologa, a to hlavně s tvořením technologických postupů obrábění
- Modernizace a větší složitost technologií vede k vyšším nárokům na přesnější návrh postupů, proto je kladen důraz na vyšší proškolenou a zkušenost programátora
- Orientace na možnost tvorby NC programů zejména pro číslicově řízené obráběcí stroje v prostředí CAD/CAM, které se váže na tvorbu CNC programů ze zadaného výkresu součásti v CAD programu (2D nebo 3D)

Tímto postupem je možné řešit chyby vzniklé tvorbou řídicího programu při návrhu automatizovaného technologického postupu obrábění v CAD/CAM softwarech následným generováním řídicích programů pro výrobní stroj.<sup>6</sup>

Programování lze rozdělit i podle způsobu zadávání souřadnic:<sup>1,3,6</sup>

**Absolutní programování** – určí se nulový bod a k němu se uvažují dráhy nástroje

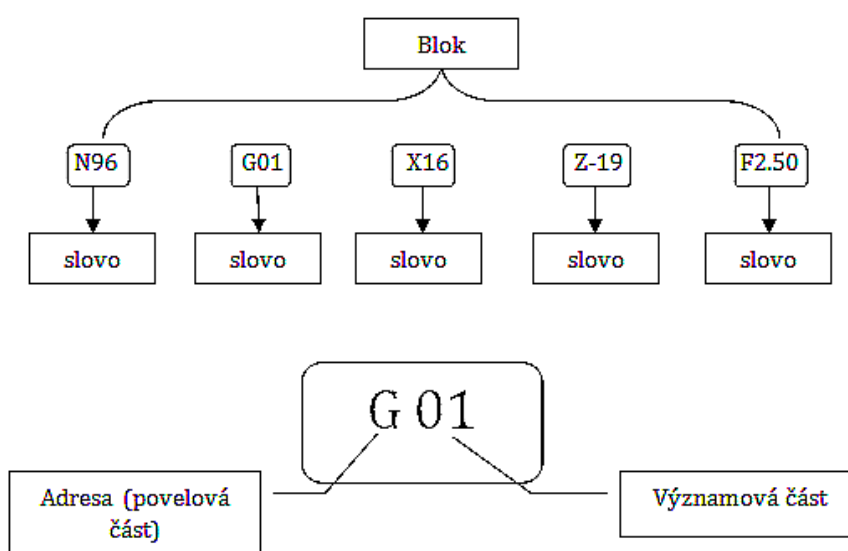
**Přírůstkové (inkrementální) programování** – každý předchozí bod je nulový a od něj se zapisují souřadnice

Dále pak: <sup>1,3,6</sup>

- Programování v kartézských souřadnicích
- Programování v polárních souřadnicích
- Programování pomocí parametrů
- Programování konturové

### 1.1.1 Struktura programu

„Řídicí program (obr. 1.1) NC stroje je soubor vyčerpávajících, číselně vyjádřených informací o činnosti NC stroje, uložených na nositeli informací, ze kterého jsou postupně tyto informace předávány stroji v průběhu operace.“<sup>6</sup>



Obr. 1.1 Schéma bloku programu <sup>6</sup>

Normy určují tabulky, ve kterých lze najít význam jednotlivých znaků. Zde (tab. 1.1) je uvedena tabulka základních symbolů a co znamenají, dále existují i další normované tabulky, které vypovídají o adrese a významové části, např. G00 – rychloposuv, G01 – lineární interpolace, G02 a 03 rádiusy, M06 – zapnutí mazání apod. Tyto tabulky nejsou v práci uvedeny a nemá smysl je uvádět, protože pro práci nejsou až tak důležité a lze je najít.

Tab. 1.1 Nejpoužívanější adresy CNC strojů (dle ISO 646 a ČSN 6983/1) <sup>2</sup>

| Znak | Význam                    |
|------|---------------------------|
| A    | Úhlový rozměr kolem osy X |
| B    | Úhlový rozměr kolem osy Y |

|   |                                                                                                                   |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C | Úhlový rozměr kolem osy Z                                                                                         |
| D | Úhlový rozměr kolem speciální osy nebo posuvové funkce nebo pro volbu korekce nástroje                            |
| E | Úhlový rozměr kolem speciální osy nebo druhá posuvová funkce                                                      |
| F | Posuvová funkce                                                                                                   |
| G | Přípravná funkce                                                                                                  |
| H | Neurčeno, užívá se ke specifikaci čísla korekčního přepínače                                                      |
| I | Interpolační parametr nebo stoupání závitu rovnoběžně s X                                                         |
| J | Interpolační parametr nebo stoupání závitu rovnoběžně s Y                                                         |
| K | Interpolační parametr nebo stoupání závitu rovnoběžně se Z                                                        |
| L | Volání podprogramu                                                                                                |
| M | Pomocná funkce                                                                                                    |
| N | Číslo bloku                                                                                                       |
| O | Neurčeno                                                                                                          |
| P | Rozměr terciálního pohybu rovnoběžně s X nebo parametr korekce nástroje                                           |
| Q | Rozměr rovnoběžný s Y nebo parametr korekce nástroje                                                              |
| R | Rozměr rychloposuvu rovnoběžně se Z nebo rozměr terciálního pohybu rovnoběžně se Z nebo parametr korekce nástroje |
| S | Otáčková funkce včetně                                                                                            |
| T | Nástrojová funkce                                                                                                 |
| U | Rozměr sekundárního pohybu rovnoběžně s X                                                                         |
| V | Rozměr sekundárního pohybu rovnoběžně s Y                                                                         |
| W | Rozměr sekundárního pohybu rovnoběžný se Z                                                                        |
| X | Rozměr primárního pohybu X                                                                                        |
| Y | Rozměr primárního pohybu Y                                                                                        |
| Z | Rozměr primárního pohybu Z                                                                                        |

### Význam jednotlivých adres: <sup>3,6</sup>

- N – číslování vět (bloku) – je výhodné číslovat po desítkách, aby bylo možné dodatečně vložit dalších vět, například při opravě programu. Řídicí systém obvykle řadí bloky podle čísel vzestupně a v tomto pořadí jsou čteny strojem vykonávající tyto příkazy. Vzestupnost čísel slouží též pro lepší orientaci technologa nebo programátora v programu. Pokud by následující věta obsahovala některé stejné instrukce, nemusí se psát a jsou platné do doby, než budou změněny. Tato možnost je nazývána jako modální funkce.
- G – přípravné funkce – instrukce zpracovávající geometrické informace. Některé systémy umožňují vložení více G funkcí do jedné věty. Zpravidla dvojčíslné číslo, avšak nemusí být použito, pokud je první číslo 0.
- M – pomocné funkce – zadávají se jimi technologické příkazy mechanismu stroje. Některé z nich se také mohou týkat řídicího systému.
- X, Y, Z – rozměrové funkce – určují polohu cílového bodu v souřadnicích absolutně (G90) nebo přírůstkově (G91).
- T – funkce nástroje – T a D (korekce nástroje) se udávají obvykle dvojčíslným číslem vzájemně souvisejícím. Určuje nástroje, kterými se má obrábět, D upravuje jejich korekce.

- F – posuvová funkce – velikost posuvů se zadává v: mm za otáčku u soustruhu [ $\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ], mm za minutu u frézky [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]
- S – otáčkové funkce – má obvykle 4 až 6 desítkových číslic. Velikost otáček je zadána, za minutu [ $\text{mm}^{-1}$ ], řezné rychlosti [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]

## 1.2 Základní funkce CAM softwaru

Následně bude uvedeno rozdělení nabídky CAM modulu, rozdělení je zde bodově a často je i v jiném pořadí, což ovlivňuje druh použitého softwaru:<sup>3</sup>

1. Celková strategie obrábění, to znamená vytvoření technologického postupu pro obrobení dílce – tzn. volení správných operací a volit jejich pořadí (např. hrubování, dokončování, řezání závitu atd. u výroby forem pak např. rampování, rastrování, ofsetování).
2. Výběr nástroje (tvar i rozměry) a bod výměny nástroje. Dále se určí řezné podmínky pro danou strategii obrábění a její nástroj. Podmínky na daný stroj jsou upravovány v dílně.
3. Podmínky vlastního obrábění (při ručním programování obvykle užívány funkce G, M):
  - strategie obrábění daného operačního úseku vztažená na jeden nástroj;
  - poloha obrábění ke kontuře (G41, G42);
  - způsob obrábění (podél kontury, lineárně atd.);
  - chlazení, mazání nástroje;
  - případně další (ochrana proti možné kolizi s držákem nástroje atd.);
4. Následuje vyhotovení CL dat procesorem pro simulaci programu. Simulaci vytvořeného programu je nutné udělat pro to, aby bylo možné zjistit místa, kde se vyskytují chyby, např. neobrobené plochy, kolize nástroje s obrobkem. Poté programátor zhotovený program opraví a doplní, tak aby byl správně.
5. Volba postprocesoru, který přeloží daný program pro řídicí systém CNC stroje.
6. Následně se vygeneruje NC program v CAM modulu, jenž je zapisován ve větách v ISO kódu, který je stejný jako při ručním programování ve specificky daném řídicím systému. Zhotovený program se poté přenesení na daný stroj.
7. Program je přenesen do stroje v ISO kódu. Je možné ho na stroji upravovat.

Na kvalitě programu lze vidět zkušenost programátora a typ použitého programu.<sup>3</sup>

- Z pohledu programátora jsou dány:<sup>3</sup>
  - Znalost daného software, který poskytuje celou řadu možností řešení a její správné aplikování do daného programu.
  - Znalost technických parametrů obráběcího stroje, pro který se zhotovuje program a znalost jeho technického stavu.

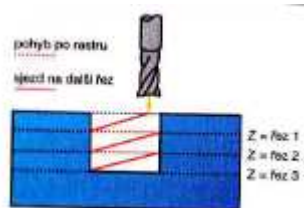
- Technologie výroby, aplikování optimálních řezných podmínek na použitý nástroj a stroj atd.
- Z pohledu použitého softwaru jsou dány: <sup>3</sup>
  - Spolehlivost („padání“ softwaru, bourání nástrojem do obráběné plochy, zbytečné přejezdy rychloposuvem), příjemnost a jednoduchost obsluhy softwaru.
  - Možnosti školení a doškolení, servisu, doplňování znalostí v oblasti vyšších verzí daného softwaru.

### 1.3 Metody obrábění

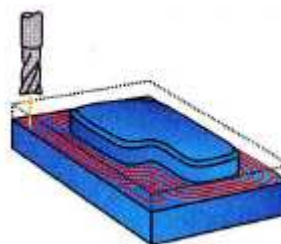
Softwaru CAD/CAM nabízí různé možnosti technologického postupu při obrábění. Správným výběrem operací z této nabídky může dojít k úspoře strojního času, zlepšení jakosti obrobene plochy a použití moderních progresivních nástrojů. Lze pracovat s již vytvořenými drahami nástrojů, které je možné upravovat. <sup>2,3</sup>

Neustálý rozvoj nástrojů přinutil výrobce softwarů na tento trend reagovat, tvořit a upravovat jednotlivé pracovní cykly, jenž jsou schopny snížit výrobní čas a další užitečné věci. <sup>2,3</sup>

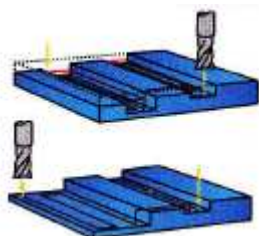
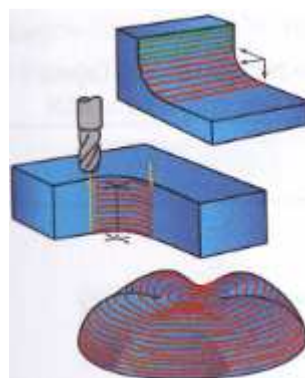
- Frézování sousledné – nesousledné
- Rampování – (obr. 1.2)
- Drážkovací fréza
- Předvrtání otvorů pro zaboření frézy
- Frézování kontury (ofsetování, paralelní frézování) – (obr. 1.3)
- Rastrování k profilu
- Nastavení úhlu pohybu nástroje
- Drážkování, přejezdy – (obr. 1.4)
- Minimalizování záběru plnou šířkou frézy
- Dokončení lze provádět rastrem, v konstantních „Z“ výškách
- Obrábění v hranicích
- Frézování ve spirále, radiální
- Frézování projekcí: rovinou, přímkou, bodem – (obr. 1.5)
- Zbytkové obrábění, rohů, perem
- Rotační obrábění: kruh, spirála, lineární
- Editace drah nástroje: Náběhy a propojení, transformace, limitování, spojení, odstranění a úpravy drah nástroje
- Systémy kontrolují kolize nástroje a držáku



Obr. 1.2 Rampování <sup>3</sup>



Obr. 1.3 Frézování kontury <sup>3</sup>

Obr. 1.4 Drážkování<sup>3</sup>Obr. 1.5 Frézování projekcí<sup>3</sup>

### 1.4 Popis softwaru

V dnešní době již máme celou řadu CAD/CAM softwaru, každý je dobrý na něco jiného, např. řezání drátovou elektrodou, frézování na 5-ti osé frézce, soustružení, atd. Neexistuje však žádný, který by měl v sobě zakomponované všechny druhy operací, proto při výběru je potřeba volit ten nejvíce vhodný pro daný druh obrábění. Je třeba taky rozlišit druh obráběného materiálu, např. dřevo, kámen a kov.

Příklady softwaru CAD/CAM:

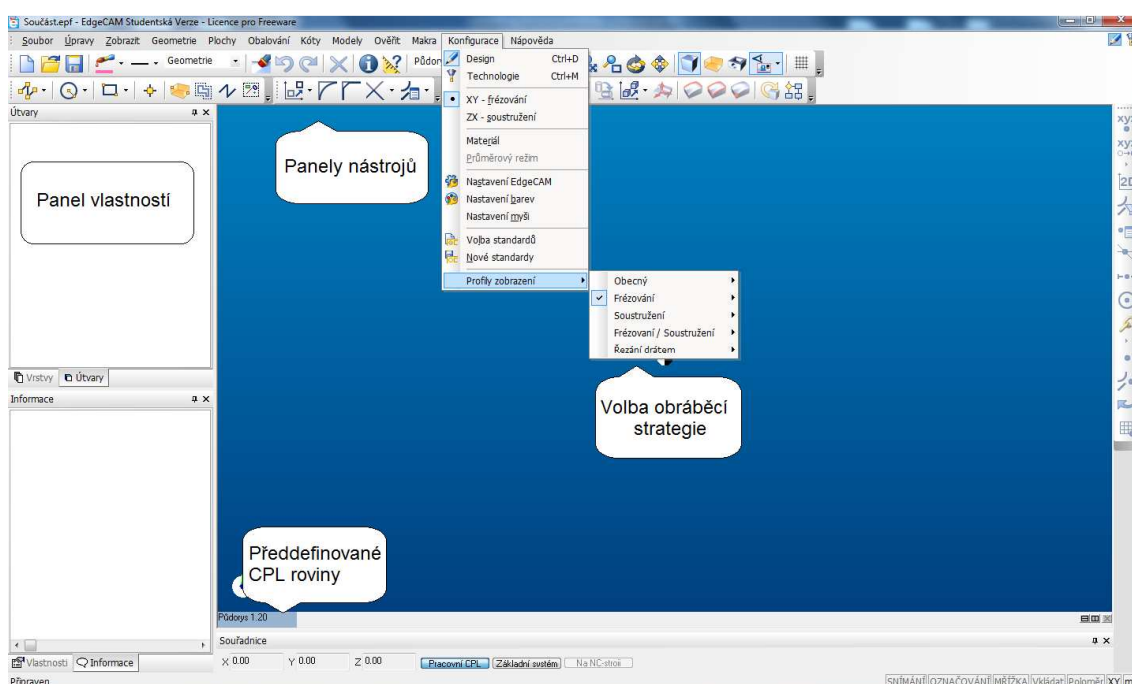
- PowerMill
- SolidCAM
- EdgeCAM
- Featurech
- DelCAM
- BobCAM
- MasterCAM
- AlphaCAM
- Radan
- SprutCAM
- SpaceClaim
- a mnoho dalších

V práci si uvedeme blíže pouze jeden vybraný softwar, na všechny není dostatek prostoru. Tím vybraným softwarem bude EdgeCAM.

### 1.5 Software EdgeCAM

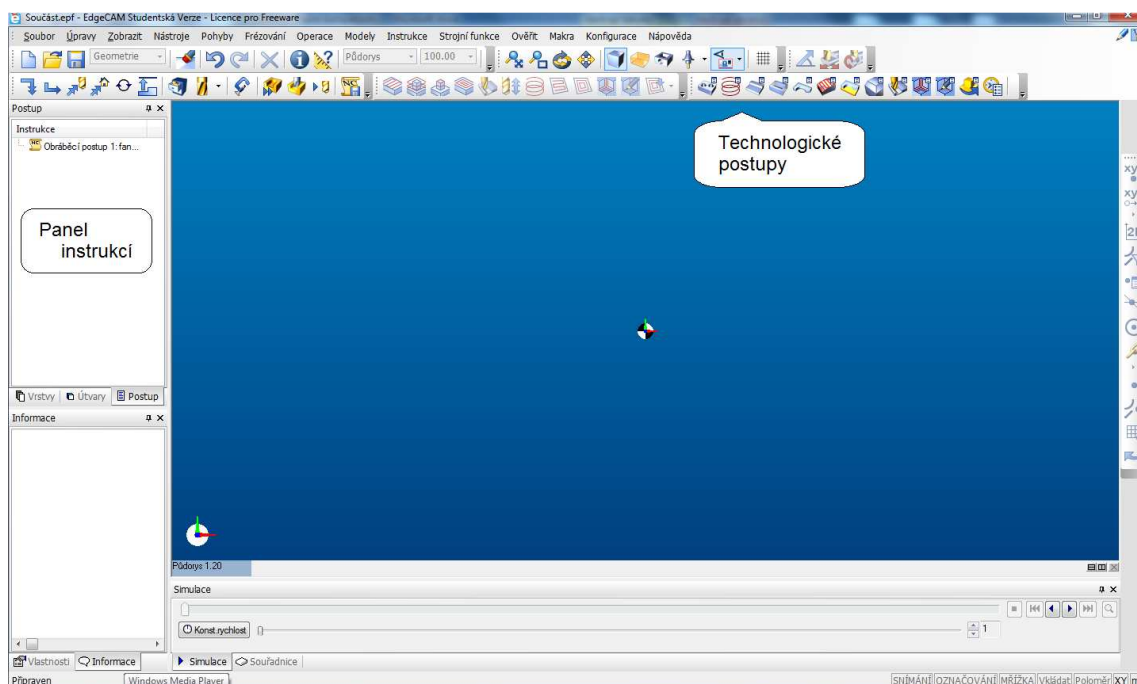
EdgeCAM je komplexně řešený software umožňující programování soustružnických strojů, frézovacích strojů a jejich kombinací. Na českém trhu je software zastoupen firmou NEXNET a.s., která zajišťuje i technickou podporu.<sup>8</sup>

Systém EdgeCAM je vhodný jak pro klasické 2D, 2,5D frézování, tak i pro pětiosé frézování. V programu je také modul pro drátové řezání.<sup>8</sup>



Obr. 1.6 Prostředí CAD v EdgeCAM

EdgeCAM je speciální v tom, že má dva výrobní moduly. Modul designu (obr. 1.6) a modul technologie (obr. 1.7). V modulu designu se vytváří vlastní konečná součást po obrobení a poté se navrhuje polotovar součásti. Pak je tady již zmiňovaný modul technologie, ve kterém se tvoří pracovní postup výroby.



Obr. 1.7 Prostředí CAM v EdgeCAM

Mezi velké výhody EdgeCAMu patří importace CAD modelů z aplikací SolidWorks, AutoCAD, Inventor, aj. Jde o tzv. step modely a solid modely.

Další výhodou je automatické rozpoznání prvků při frézování modelů, případně jejich manuální určení.

Volba vhodné předdefinované CPL roviny, případně definování nové, pomocí jednoduchých kroků.

Možnost vidět obráběcí nástroj a stroj včetně upínacích prvků při simulaci. Automatické počítání strojního času.

Jednoduché vybírání nástrojů ze zásobníku a snadné měnění jejich parametrů.

Optimalizace výšek přejezdů, odměřovacích rovin, hloubky záběru a řezných podmínek (posuv, otáčky,...).

V softwaru, je také část konstruktér postprocesorů, kde se vytváří procesor pro konkrétní stroj s jeho parametry, maximální rychlostí posuvu, typem frézování (2-5 osé). Uvažuje se při konstrukci také zastupitelnost nástrojů v zásobníku stroje, které se příslušně opozicují.

Do systému patří i manažer zakázek, kde se definují jednotlivé zakázky a poté stačí jen vybrat tu, kterou technolog potřebuje.

V modulu výroby jsou většinou podobné výrobní strategie ve všech verzích EdgeCAM:

- Profilování 2D a 3D ploch
- Hrubování 2D a 3D ploch
- Frézování 3D ploch řádkováním
- Dokončování rovinných ploch
- Obrábění děr
- Plynulé obrábění závitů
- Frézování zbytků
- Jednoduché příkazy pro 5-ti osé obrábění

## 2 SOUČÁSTKOVA ZÁKLADNA

Jako součástková základna se v technologickém procesu výroby malé firmy považují odlitky, výkovky či vlastní výrobky a zakázky firmy (svařování, vrtání, řezání) a jiné.

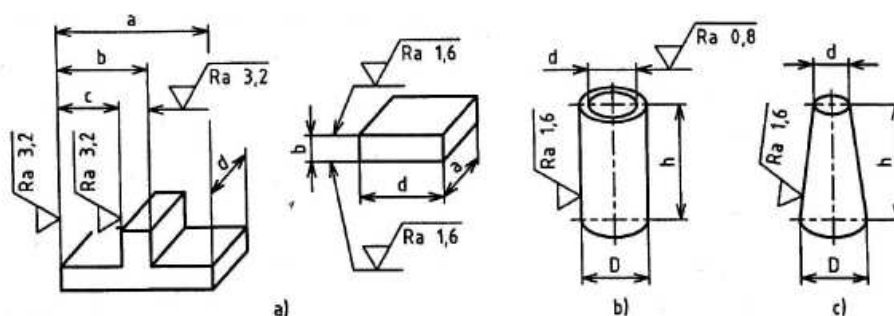
### 2.1 Odlitek

Odlitek je vlastně napodobenina budoucího výrobku. Jeho technologie výroby spočívá v tom, že se roztavený kov, železný či neželezný lije do nějakých forem, nejčastěji pískových. Forma obsahuje vtokovou a výfukovou soustavu. Tyto soustavy se musí po ztuhnutí odlitku a následném rozbití formy z odlitku odstranit, teprve potom je odlitek připraven na převoz do firmy, která jej bude dále zpracovávat (obrábět).



Obr. 2.1 Ukázka odlitku – skříň převodovky<sup>10</sup>

U odlitku jsou pro obrábění důležité navržené přídavky na obrábění, s nimiž musí počítat technolog při návrhu odlitku. Tyto přídavky jsou normovány dle ČSN 014980. „Norma platí pro odlitky ze slitin železa, mědi a slitin mědi, hliníku a slitin hliníku, neplatí pro odlitky ze slitin hořčíku a odlitky neželezných kovů litých pod tlakem“. <sup>7</sup> Dále závisí přídavky „stupni přesnosti odlitku, základním a směrodatným rozměru, materiálu odlitku a na poloze plochy při lití“, (obr. 2.1). Níže jsou uvedené tabulky pro přídavky na obrábění pro ocel a litiny (tab. 2.1 a tab. 2.2). <sup>7</sup>

Obr. 2.2 Základní a směrodatné rozměry odlitků <sup>7</sup>

a) Rovinné plochy:  $Z=b$ ,  $S=d$ ; b) válcové plochy:  $Z=D$ ,  $S=h$ ; c) kuželové plochy:  $Z=D$ ,  $S=h$

„**Základní rozměr** je určen vzdáleností nejvzdálenější obráběné plochy nebo čáry, rovnoběžné s danou plochou nebo vzdáleností dvou nejvzdálenějších protilehlých bodů na obráběném povrchu“. <sup>7</sup>

„**Směrodatný rozměr** je největší kótovaný rozměr nebo součet kót největšího rozměru odlitku v rovině kolmé na základní rozměr“. <sup>7</sup>

Tab. 2.1 Přidavky na obrábění stupně velikosti 3 pro ocelové odlitky stupně přesnosti 3 <sup>7</sup>

| Základní rozměr |     | Poloha plochy při lití | Směrodatný rozměr S |     |     |     |     |     |
|-----------------|-----|------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                 |     |                        | nad                 |     |     |     |     |     |
|                 |     |                        | 30                  | 80  | 180 | 315 | 500 |     |
| nad             | do  |                        | do                  |     |     |     |     |     |
|                 |     |                        | 30                  | 80  | 180 | 315 | 500 | 800 |
|                 | 30  | horní                  | 2,5                 | 3   | 3   | 4   | 4,5 | 4,5 |
|                 |     | boční                  | 1,5                 | 2   | 2   | 2,5 | 3   | 3   |
|                 |     | spodní                 |                     |     |     |     |     |     |
| 30              | 80  | horní                  | 3                   | 3   | 3   | 4   | 4,5 | 4,5 |
|                 |     | boční                  | 2                   | 2   | 2   | 2,5 | 3   | 3   |
|                 |     | spodní                 |                     |     |     |     |     |     |
| 80              | 180 | horní                  | 3                   | 3   | 4   | 4   | 4,5 | 5   |
|                 |     | boční                  | 2                   | 2   | 2,5 | 2,5 | 3   | 3,5 |
|                 |     | spodní                 |                     |     |     |     |     |     |
| 180             | 315 | horní                  | 3                   | 4   | 4   | 4,5 | 5   | 5   |
|                 |     | boční                  | 2                   | 2,5 | 2,5 | 5   | 3,5 | 3,5 |
|                 |     | spodní                 |                     |     |     |     |     |     |
| 315             | 500 | horní                  | 3                   | 4   | 4,5 | 4,5 | 5   | 6   |
|                 |     | boční                  | 2                   | 2,5 | 3   | 3   | 3,5 | 4   |
|                 |     | spodní                 |                     |     |     |     |     |     |

## 2.2 Výkovek

Výkovkem rozumíme polotovár, který vzniká tvářením za tepla. Kování může být zápusťkové (sériová či hromadná výroba) nebo volné (kusová výroba). Výkovky ve srovnání s odlitky z litiny se používají zejména pro značně dynamicky namáhané součásti (např. ojnice, klikové hřídele, ozubená kola, vahadla ventilů apod.). Jedná se o tzv. objemové tváření. Objemové

tváření je definováno jako deformační proces, u něhož se dosahuje požadované změny tvaru změnou průřezu výchozího polotovaru.<sup>7</sup>



Obr. 2.3 Ukázka výkovku – výkovek podvozku<sup>11</sup>

Výkovek dostaneme tak, že je zadán jakýkoliv výchozí materiál, který má větší objem než konečný požadovaný polotovar, tento materiál se vloží do zápustky a „vykove“ se. Zápustka má v sobě tzv. výronkovou drážku, do které přeteče přebytečný objem materiálu a vznikne výronek. Výronek se po vychladnutí odstříhne, odstraní se švy a následují další úpravy. Po té se výkovek může převést do firmy a dále obrábět na konečný tvar.

Jak u odlitku, tak i u výkovku se musí uvažovat s přídávky na obrábění (tab. 2.3), které „se určí podle největšího rozměru hotového výrobku ve směru kolmo k rázu a podle největší výšky hotového výrobku“. <sup>7</sup> U nerotačních tvarů je největší rozměr ve směru kolmo k rázu definován střední hodnotou součtu největší šířky a délky výrobku.<sup>7</sup>

Tab. 2.2 Přídávky na obrábění pro obvyklé provedení<sup>7</sup>

| Největší průměr, nebo hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu |     | Největší výška součástí    |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                                                           |     | přes                       | 25  | 40  | 63  | 100 | 160 | 250 |
|                                                                           |     | do 25                      | 40  | 63  | 100 | 160 | 250 | 400 |
| přes                                                                      | do  | Přídávky na obrábění ploch |     |     |     |     |     |     |
|                                                                           | 25  | 1,5                        | 1,5 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |     |     |
| 25                                                                        | 40  | 1,5                        | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,5 |     |
| 40                                                                        | 63  | 2,0                        | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |     |
| 63                                                                        | 100 | 2,0                        | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 3,5 |
| 100                                                                       | 160 | 2,0                        | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 3,5 |
| 160                                                                       | 250 | 2,5                        | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 3,5 | 4,0 |
| 250                                                                       | 400 | 2,5                        | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 3,5 | 4,0 | 4,5 |

### 2.3 Ostatní produkty malých firem

Dalším produktem obráběcí firmy mohou být svařované součástky nebo výrobky, které celé zpracují zaměstnanci. Jsou to výrobky například svařované. U svařovaných součástí (obr. 2.3) se jedná o nerozebíratelné spojení s materiálovým stykem. Mnohdy nahrazuje odlitky či výkovky. Pro jednoduché a rychlé svařování je třeba mít jednotlivé kusy budoucího svarku (celek svařovaných součástí) opracovány v místech, kde dojde k navaření dalšího kusu. Po dokončení a vychladnutí, neboť svary dosahují vysokých teplot, celého svarku mohou nastat další operace. Tou první by mělo být odstranění návarových kuliček, které vznikají po svaření. Někdy se tato operace nedělá, záleží na použití různých svářečských přípravků. Dále už se může postupovat podle navrhnutého technologického postupu, tzn. frézování funkčních ploch, vrtání přesných děr nebo závitů, broušení, zaoblení hran, zkosení hran apod.

Nejčastější metodou svařování je obloukové svařování, v poslední době se však již stále více svařuje v ochranné atmosféře plynu (např. CO<sub>2</sub>).



Obr. 2.4 Svarek – Schodišťová noha<sup>12</sup>

### 2.4 Vybraná součást

Vybranou součástí, na které se demonstrují technologické operace, zejména frézování, bude produkt výkovku. Tento dílec je nazýván českým názvem – opěrka.



Obr. 2.5 Výkovek opěrky – přední strana



Obr. 2.6 Opěrka – zadní strana

### 3 NÁSTROJE

Vysoká životnost, velká produktivita a nízké náklady, to jsou z hlediska nástrojů v TPV malé firmy zcela zásadní požadavky. Protože nástroje jsou nejdůležitějšími věcmi, budou v této kapitole popsány trochu více.

V dnešní době CNC obráběcích center se celistvé nástroje používají čím dál méně. V aplikacích se v současné době používají hlavně vyměnitelné destičky ze slinutých karbidů, které pokrývají asi 80% použitelnosti. Zbývající procenta se pak soustředí na nástroje z HSC, jako například vrtáky, výhrubníky, tvarové frézy, atd.<sup>2,5</sup>

#### 3.1 Nejpoužívanější nástroje ve frézování

Nejpoužívanějšími frézovacími nástroji u obráběcích center jsou:

**Kulová fréza** – je to tzv. kopírovací fréza, patří do tvarovacího frézování, podle toho má i své specifické použití. Mají velký úběr materiálu. Jejich využití je univerzální a mohou se používat jak pro hrubovací, tak polodokončovací práce, používají se na výrobu lopatek turbín či výrobu rotorů.

**Válcová fréza** – úběr materiálu může být na rovinných plochách, tak i na čelních plochách (v případě čelní válcové frézy).

**Kotoučové frézy** – specializace použití je především na výrobu drážek nebo vybrání.

**Rovinné frézy** – cenné pro frézování rovinných ploch, jak pro hrubovací, tak i pro dokončovací operace.

U frézovacích center jsou nezbytnými nástroji také **vrtací nástroje**.

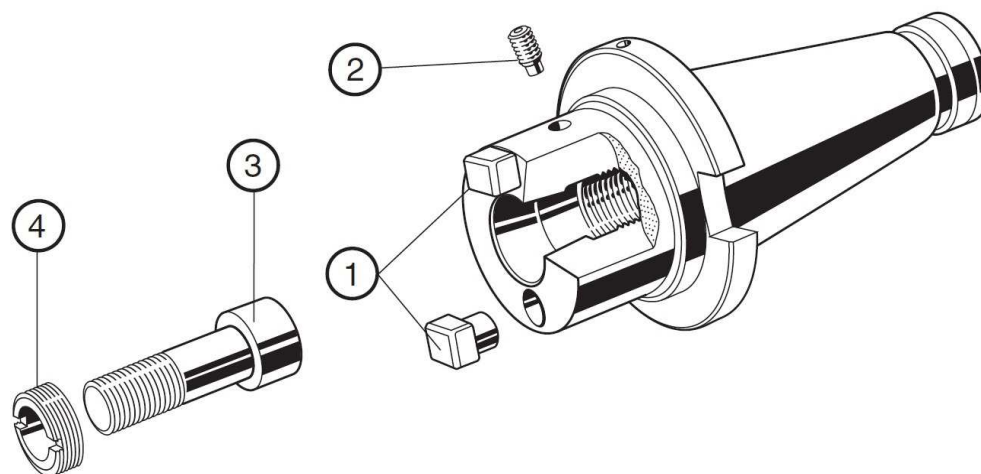
#### 3.2 Upínání nástrojů

Dále je třeba si u frézovacích nástrojů vysvětlit, jakým způsobem jsou drženy v nástrojových systémech.

Nástroje jsou vkládány do kuželů (obr. 3.1), které se vkládají do zásobníku. Kužely mají na větším kruhovém průměru přesazenou válcovou vložku, kde je asi v půlce drážka, která slouží pro držení v zásobníku. Na této vložce jsou také po obvodu tři trojúhelníkové výřezy, které zajišťují, aby se v zásobníku pouzdra neotáčely a poté ve vřetenu nedošlo k prokluzu pouzdra, které by nejspíše vedlo k nevratnému poškození nástroje možná i k nabourání stroje.

Za válcovou vložkou následuje válcová upínka, zakončená dvěma krychlovými čepy (1) po stranách, které jsou vsazeny do dvou děr po obvodu upínky, 180° vzdálených po kružnici od sebe. Do dutiny se vloží protikus v podobě hlavy nástrčné frézy. Díky zmiňovaným krychlovým čepům nebude docházet k prokluzu.

V dutině držáku je závitová část, do které se zašroubuje šroub (3) se závitovým kroužkem (4), který bude držet šroub v dutině. Závitový kroužek bude ještě pojištěn červíkem (2), proti případnému vyšroubování. Celá šroubová sestava slouží jako doraz po nastrčení nástroje či nástrčné hlavy.



Obr. 3.1 Sestava držáku<sup>13</sup>

Závěrem k držákům nástrojů lze říct, že je dnes již široký výběr na trhu, všechny typy držáků pro různé nástroje a použití lze najít v katalogích firem dodávajících břitové destičky.

### 3.2.1 Stopkové frézy

Klasické stopkové frézy s kuželovou stopkou se upínají přímo do vřetena, případně se nejprve vloží do redukčního pouzdra a poté do dutiny vřetena. Nástroje drží v redukčním kuželu či dutině vřetena pomocí tření a jedná se tedy o třecí spoj. Stopky nástroje musí tedy být řádně očištěny od jakéhokoli maziva či chladicí kapaliny, jinak by se mohlo stát, že řezný nástroj v průběhu operace vypadne, a to by mohlo způsobit obrovské škody na stroji. To platí i pro vrtací nástroje, které mohou mít i válcovou stopku a ty se upínají do kleštin Morse kuželů.

### 3.2.2 Nástrčné frézy

Nástrčné frézy se upínají na trn vybíhající z Morse kužele nebo do dutiny držáku a poté se vloží do dutiny vřetena či otevřeného zásobníku.

Na hlavách nástrčných fréz jsou tzv. lůžka, do kterých se připínají VBD. Občas se na lůžko vkládá ještě podložka pro menší namáhání VBD. Nástrčné tvary mohou být různého typu, podle potřeb frézování (válcové frézy, rohové aj.).

### 3.3 Břitové destičky (VBD)

Nejpoužívanější břity jsou ze slinutých karbidů. Dále se destičky zhotovují z cermetů, řezné keramiky a supertvrdých řezných materiálů.

#### 3.3.1 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy dělíme na nepovlakované a povlakované.

Nepovlakované jsou pak, jednodokarbidové (K) – obrábění šedé litiny, neželezných a nekovových materiálů. Dvoukarbidové (P) – obrábění uhlíkových, slitinových a korozivzdorných ocelí. Trojkarbidové (M) – mají inverzální využití. Nepovlakované karbidy se používají spíše pro hrubování.<sup>5</sup>

Povlakované karbidy jsou děleny vývojově do čtyř generací, jsou používanější.<sup>5</sup>

### 3.4 Aplikace nástrojů při výrobě

Při návrhu nástrojů, které se budou používat při obrábění výkovku je třeba se nejprve zamyslet nad tím, jaké plošky se budou obrábět a kolik se bude muset odebrat materiálu.

V řešeném případě použijeme rohovou frézu, další rohovou frézu, válcovou frézu, vrták a záhlubník.

Řezné podmínky budou počítány dle následujících vzorců:

Otáčky:

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

Rychlost posuvu:

$$v_f = n \cdot z \cdot f_n \quad (1.2)$$

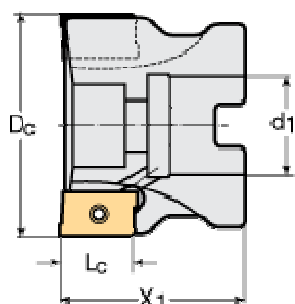
#### 3.4.1 Volba rohové frézy a břitových destiček

Vyhovující rohová fréza je od firmy WALTER. Její katalogové označení je Xtra-tec F4042R (obr. 3.2). Na fréze budou univerzální řezné destičky od Walter technologie Tiger s katalogovým označením ADKT1204PER-F56 WKP25. Posuv na zub  $f_z = 0,08 \text{ mm}$  a řezná rychlost  $v_c = 250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  jsou doporučeny výrobcem.<sup>13</sup>

Výpočet řezných podmínek:

$$\text{otáčky : } n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d_1} = \frac{1000 \cdot 250}{\pi \cdot 40} = 1989 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{posuvová rychlost: } v_f = n \cdot z \cdot f_z = 1989 \cdot 4 \cdot 0,08 = 636 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Obr. 3.2 Sestava držáku<sup>13</sup>Tab. 3.1 Parametry frézy<sup>13</sup>

| Dc | Lc | X <sub>1</sub> | d <sub>1</sub> | z |
|----|----|----------------|----------------|---|
| 40 | 10 | 40             | 16             | 4 |

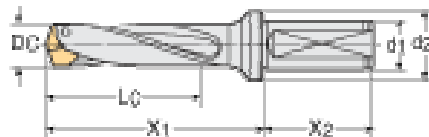
### 3.4.2 Volba vrtáku

Vhodným vrtákem pro operaci bude vrták do plna od firmy Walter s katalogovým číslem Xtra-tec B4013 (obr. 3.3). Ve vrtáku bude vložen jeden plátek, který je veden číslem P6001-D18,00R WXP45 (obr. 3.4). Řezná rychlost  $v_c = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a posuv na otáčku  $f_n = 0,1 \text{ mm}$ .<sup>13</sup>

Výpočet řezných podmínek:

$$\text{otáčky: } n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d_1} = \frac{1000 \cdot 240}{\pi \cdot 18} = 4244 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{posuv: } v_f = n \cdot z \cdot f_n = 4244 \cdot 1 \cdot 0,1 = 424 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Obr. 3.3 Sestava držáku vrtáku<sup>13</sup>Obr. 3.4 Vrtací VBD<sup>13</sup>Tab. 3.2 Parametry frézy<sup>13</sup>

| Dc | Lc | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> |
|----|----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 18 | 57 | 92             | 50             | 20             | 30             |

Součástí bude také záhlubník, ten se navrhovat nebude, protože ho najdeme v každém podniku, proto nemusí být žádný speciální.

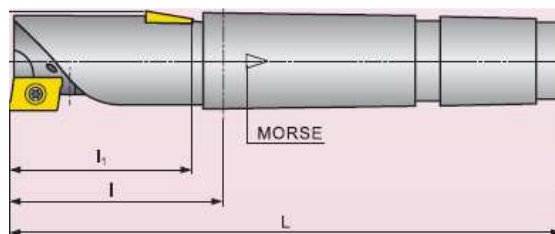
### 3.4.3 Volba válcové frézy

Válcová fréza nemusí být nijak speciálně volena, stačí jakákoliv válcová fréza, která je v podniku, neboť bude sloužit pouze k malému zarovnání dosedací plochy. Vybrán je tedy nástroj od firmy Pramet, který má katalogové označení SAP11D35 (obr. 3.5). Fréza bude osázena destičkami, jejichž číslo je APKX 1103PDER-F. Řezná rychlost je pak  $v_c = 295 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a posuv  $f_z = 0,1 \text{ mm}$ , řezná hloubka  $a_p \leq 2 \text{ mm}$ .<sup>15</sup>

Výpočet řezných podmínek:

$$\text{otáčky: } n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d_1} = \frac{1000 \cdot 295}{\pi \cdot 20} = 4695 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{posuv: } v_f = n \cdot z \cdot f_z = 4695 \cdot 1 \cdot 0,1 = 469 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Obr. 3.5 Válnová fréza<sup>15</sup>Tab. 3.3 Parametry frézy<sup>15</sup>

| D  | L   | l  | l <sub>1</sub> | z |
|----|-----|----|----------------|---|
| 20 | 110 | 40 | 35             | 1 |

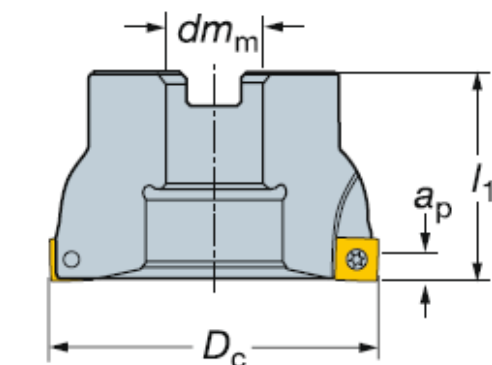
### 3.4.4 Volba rohové frézy

Rohová fréza pro zadní stranu podpěry může být volena jiná než předchozí rohová, protože se neočekává velký úběr, a navíc jde o téměř čtvercové plochy. Proto fréza bude volena z katalogu firmy Sandvik Coromant s katalogovým označením Coromill 490 (obr. 1.1). Fréza bude osázena čtyřmi břitovými destičkami, katalogu je lze nalézt pod číslem 490R-140408M-PL 1030. Jejich řezná rychlost pak bude  $v_c = 290 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a velikost posuvu  $f_z = 0,1 \text{ mm}$ . Řezná hloubka je  $a_p = 5,5 \text{ mm}$ .<sup>14</sup>

Výpočet řezných podmínek:

$$\text{otáčky: } n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d_1} = \frac{1000 \cdot 290}{\pi \cdot 40} = 2308 \text{ min}^{-1}$$

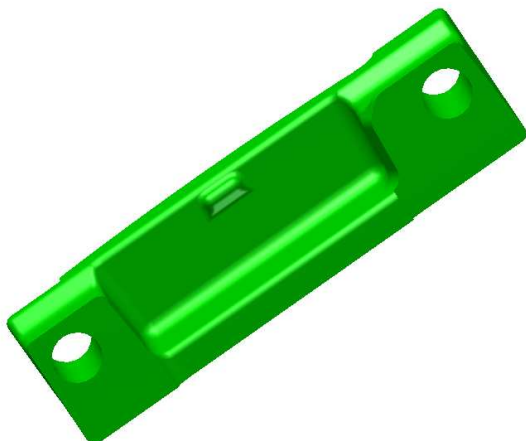
$$\text{posuv: } v_f = n \cdot z \cdot f_n = 2308 \cdot 4 \cdot 0,1 = 923 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Obr. 3.6 Sestava držáku<sup>14</sup>Tab. 3.4 Parametry frézy<sup>14</sup>

| Dc | l <sub>1</sub> | dm <sub>n</sub> | n <sub>max</sub> |
|----|----------------|-----------------|------------------|
| 40 | 40             | 16              | 29300            |

## 4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY V CAM SYSTÉMU

Tato nejobsáhlejší kapitola bude patřit návrhu součásti a jejímu technologickému postupu výroby. Pro názornou ukázkou bude stačit jednoduchý obrobek výkovku (obr. 4.1 a obr. 4.2), kde budou demonstrovány jednoduché technologické úkony.



Obr. 4.1 Model obrobku



Obr. 4.2 Model výkovku

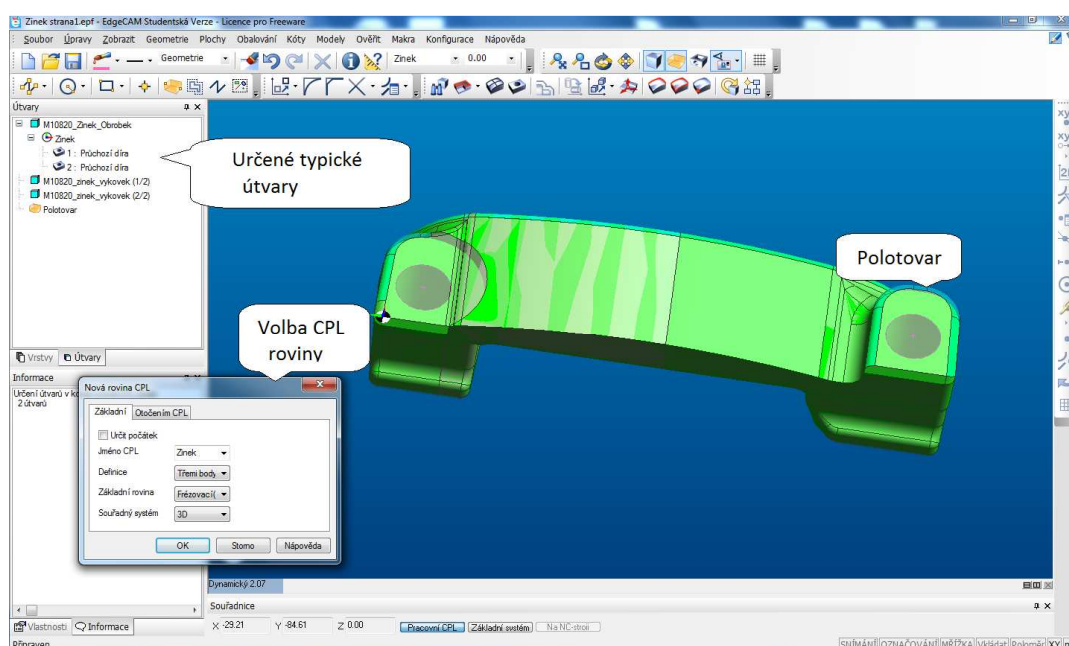
Vzhledem k tomu, že součást nejde upnout tak, aby se mohly obrábět obě strany, se bude muset vyrábět z každé strany jednotlivě. Díry stačí vrtat z jednoho upnutí (z jedné strany), jen do určité hloubky, nemusí být skrz, protože při odfrézování rovinných ploch se stejně dostane na díry. Postup tedy bude následující. Výkovek se upne nejprve z jedné strany, obrobí se. Po dokončení se uvolní a upne z druhé strany.

### 4.1 Importování modelu

Nejjednodušší cesta jak do CAM softwaru dostat model obrobku je si ho vytvořit v aplikaci CAD, nejlépe pak ve 3D, např. v Autodesk Inventoru, či SolidWorksu.

### 4.2 Designová část

Po importování modelu je nutné si určit vhodnou CPL rovinu, ke které se budou uvažovat frézovací útvary a posléze i technologie výroby. Dále je vhodné si najít nebo označit prvky, které se budou obrábět. V tomto případě jde dvě díry (obr.4.3).

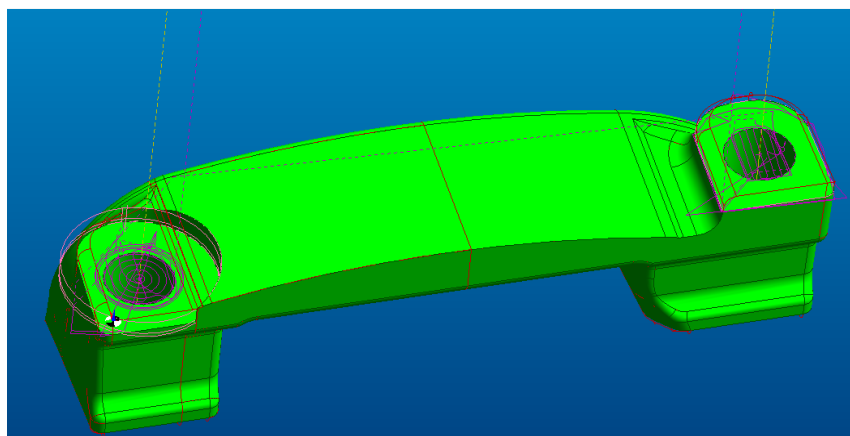


Obr. 4.3 Definování polotovaru, typických útvarů a CPL roviny

### 4.3 Návrh technologického postupu

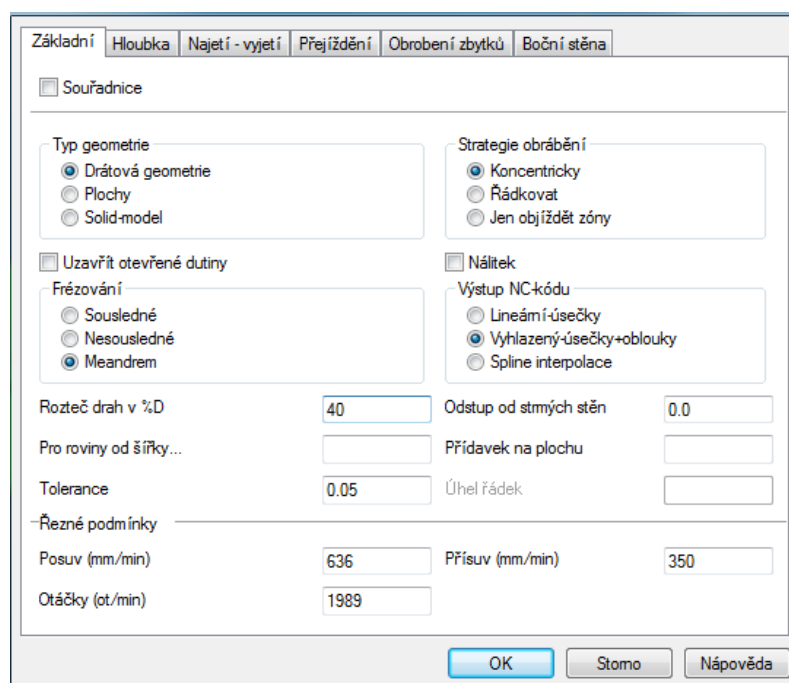
Ve výrobní části se vytvoří technologický postup součásti. V prvním kroku při přepnutí do modulu technologie bude software chtít vědět, pro jaký stroj se bude postup psát. To se určí postprocesorem. V tomto případě to bude pro tříosé vertikální centrum s řídicím systémem Heidenhain iTNC530.

Nyní se ve výrobním prostředí mohou začít definovat jednotlivé operace. Při první pohledu na součást lze vidět, že se budou frézovat rovinné plochy a vrtat díry. Jako první operace postupu bude zvoleno obrábění dvou rovinných plošek výkovku. Vzhledem k tomu, že jedna plocha bude vybrána tak, že se odebere materiál po kružnici do určité hloubky, bude volena rohová fréza. Touto frézou se bude frézovat i druhá plocha, protože je součást jednoduchá a úběr nebude velký, není třeba vyměňovat nástroj. Ušetříme tím strojní čas.



Obr. 4.4 Dráhy řezných nástrojů přední strany

Vzhledem k tomu, že se neoznačil „nálitek(y)“, je nutné si nadefinovat plochy, které se budou obrábět. U kruhového vybrání se musí nakreslit kruh o stejném poloměru a ten se poté pomocí tlačítka „Projekce – zdvih na úroveň“ posune na výškovou úroveň, která je potřebná. Získá se vlastně takový válec (obr. 4.4). Tím bude plocha definována a může se použít frézovací operace. Tohle však není jediná operace. Protože kružnice má jen určitý průměr, nezasahuje až do rohu, zůstane po kraji určitý procento materiálu, jenž je třeba odebrat, to se naprogramuje pracovním posuvem. Frézovací hloubka se volí alespoň o 0,3mm menší, jak výsledná, kvůli tomu, aby bylo co dokončovat. Je to tak proto, aby výsledná plocha měla lepší vlastnosti (drsnost, apod.). Frézovat se bude podle výše volené rohové frézy v kapitole 3.4.1. V programu ji budeme volit ze zásobníku nástrojů. Nastaví se posuv, řezná rychlost a otáčky (obr. 4.5).



Obr. 4.5 Nastavení obráběcích parametrů

Druhá plocha této strany se už označí snadno. Po definování operace se označí hrany plochy. Také tady se volí přídavek pro dokončování několik desetin milimetrů. Po procesu se nástroj odešle do výměny.

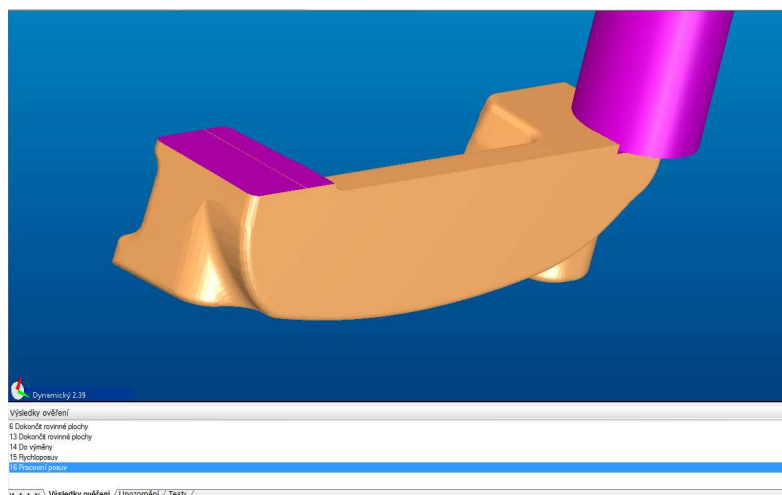
Po výměně nástroje se pomocí operace „Vrtání děr“ označí a vyvrtají díry do té hloubky, která se navolí. Tuto operaci je nutné udělat dvakrát, protože středy děr jsou každá v jiné výšce a je nutné nastavit odměřovací roviny. Nástroj se odešle do výměny. Jako poslední se kuželově zahloubí okraje děr. Také nadvakrát. Vrták i záhlubník se taktéž vyhledává v zásobníku nástrojů a nastaví se otáčky a posuv

Nakonec se bude frézovat profil dosedací plochy, odebraný materiál bude mít hodnotu 0,3 mm. Jde pouze o zarovnání nepřesností, které mohou

vzniknout při kování výkovku. Funkcí profilovat se bude navrhnutou válcovou frézou z kapitoly 3.4.1.

Součást se po obrobení uvolní, otočí nebo upne na další stůl. Proto se bude psát další program pro obrobení zadní strany.

Při návrhu postupu obrobení součásti z druhé strany se bude postupovat stejně jako v předchozím případě. Takže se zvolí frézovací operace a označí se plocha, která bude obráběna, v tomto případě přechínající ploška od dělicí roviny. Nejprve se bude hrubovat s přídkem na dokončení 0,3 mm. Hrubovací operace se bude provádět řádkováním a s roztečí mezi řádky 40%. Celkově se ubere 2,7 mm materiálu. Potom se proces zopakuje a odeberou se zbývající desetiny milimetrů. Frézovat se bude rovinnou frézou, která je navrhnutá výše v kapitole 3.4.1 a vepíše se řezné podmínky.



Obr. 4.6 Simulace procesu zadní strany

Druhá ploška se nebude označovat pomocí definovaného nálitku, ale bude se programovat ručně pomocí pracovního posuvu. A to z důvodu chybného definování nálitku, tím se odebral materiál i tam kde je to nevyžadováno. Vzhledem k malé obráběné plošce to nebude složité a možná to ještě ušetří strojní čas, který by jinak byl asi delší po navrhnutí procesu softwarem. Opět to bude s přídkem na obrábění 0,3 mm. Následně pojede do výměny.

Ve výměně si ze zásobníku nástrojů se do vřetena uchytí záhlubník, pro kuželové zahloubení děr, které jsou po předchozím vrtání.

Na závěr se spustí simulace programů (obr. 4.5), zjistí se chyby a může se přejít k vygenerování NC kódu.

Po celém procesu naprogramování technologické strategie se přejde k praktické výrobě součásti. NC program je zanesen do řídicí jednotky stroje, ten kód čte a vyrábí dle psaných instrukcí.

Po celém dokončení se dílec zapraví (zabrousí) a putuje k dalšímu zpracování, v tomto případě na zinkování.

## 5 NÁVRH ROZŠÍŘENÍ PRODUKCE

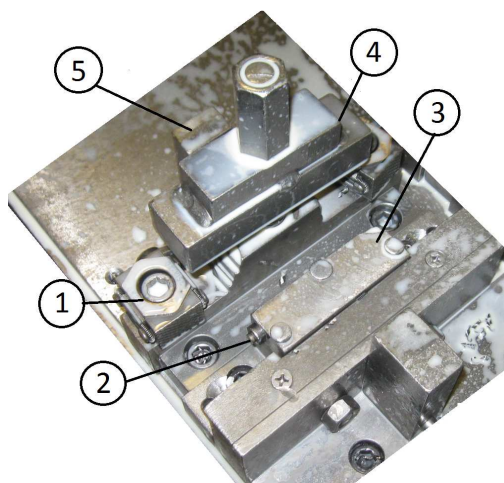
Protože výroba dílce bude sériová a celková výroba součásti je časově poměrně rychlá i s otočením kusu, při uvažování toho, že postačí jednoduchých přípravků na upnutí, trvá celá výrobní operace kolem 5-ti minut, je dobré se zamyslet nad tím, jak by se dala produkce rozšířit.

Nejlepší volbou proto je navrhnutí přípravku, na který se upne více kusů najednou. Poté by se musel poupravit program tak, aby celá operace zahrnovala i obrobení ostatních dílců v přípravku. Avšak při možnostech vertikálního obráběcího centra, který obsahuje dva pracovní stoly a možnost přimontování mobilní stěny mezi stoly, aby stroj mohl pracovat, zatím co bude obsluha vyměňovat kusy v přípravku, je žádoucí mít připravené přípravky dva. Tímto způsobem by se ušetřilo spoustu výrobního času a CNC by bylo v neustálém provozu.

### 5.1 Návrh přípravku

Nejprve se při návrhu musí vzít v potaz, kolik dílců se bude zhotovovat. Vzhledem k délce, šířce stolu a uvažování mezer pro upnutí dílců, tak aby bylo možno vyrobít, co největší počet dílců. Po tomto zvážení vychází volba na 8 dílců. Přípravky budou použity dva, vzhledem k možnosti využití CNC. Každý z nich však bude jiný, aby pokryl různé výšky dílce a získali tím jednotnou odměřovací výšku a také tuhé upnutí.

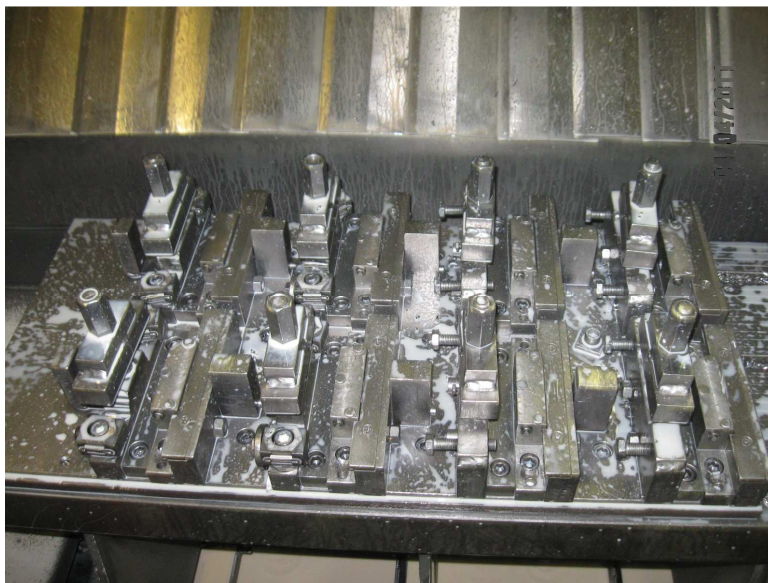
Při zhotovování upínacího zařízení pro přední stranu dílce opěrky je dobré si zhotovit takový „přípravek na upnutí“ (obr. 5.1). Dílec se do něj vloží vybráním na doraz pro vybrání (3), ten také zajistí to, že se dílec nebude dotýkat desky a tím se nemusí na přípravku dělat žádné další úpravy (vybrání, apod.). Pak se součást natáhne tak, aby byl zajištěn odměřovací nulový bod, tzn. na doraz (2), poté se otočí horní úchytkou (4), která se opírá o opěrku (5). Úchytka se trochu přitáhne a zašroubují se upínky (1), Poté se vše pořádně utáhne.



1. upínka
2. doraz
3. doraz pro vybrání
4. uchycení
5. opěrka

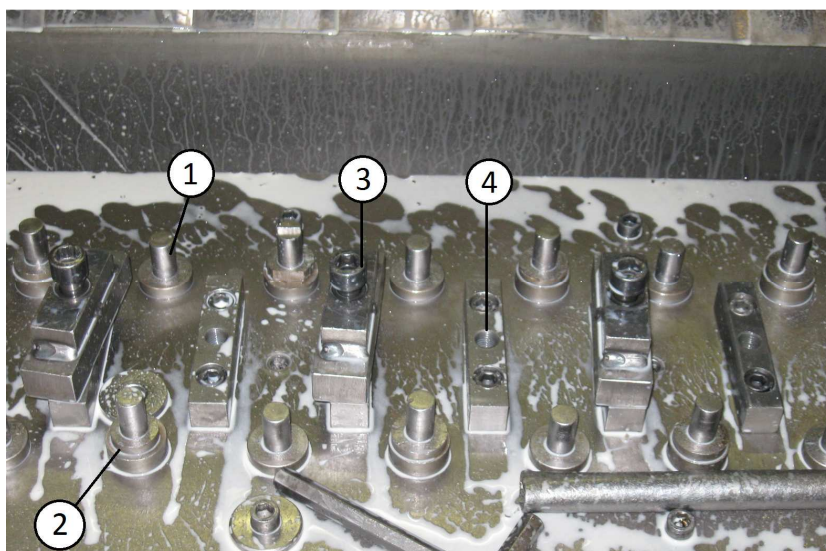
Obr. 5.1 Přípravek na upnutí

Tento mechanismus je pak aplikován na celou desku, zahrnující mezery pro třísky a manipulaci (obr. 5.2).



Obr. 5.2 Přípravek

Při tvorbě druhého přípravku (obr. 5.3) pro druhou stranu se získá navíc další plocha na upnutí a tou jsou díry. Ty se dostanou po předchozím obrábění. Tento přípravek bude řešen tak, že se využijí díry a nasadí se na kolíky (1), vyrovnání odměřovacích výšek se provede pomocí kroužků (2), které jsou nasazeny na kolících, upnutí pak bude řešeno jen pomocí šroubů s podložkami (3) a držáků (4).



Obr. 5.3 Přípravek 2

Nevýhodou těchto přípravku je jejich velká hmotnost.

## 6 PARAMETRY STROJE, FOTOGALERIE

Dílec se bude vyrábět na tříosém vertikálním obráběcím centru HEDELIUS MC 40 (obr. 6.1). Stroj má univerzální využití v obrábění. Výhodné u tohoto centra je, že mezi stoly se může dát zástěna a díky tomu se získají dva pracovní stoly. Je to podobný princip jako CNC s automatickým výměníkem palet. Tento způsob je vhodný zejména pro sériovou výrobu.



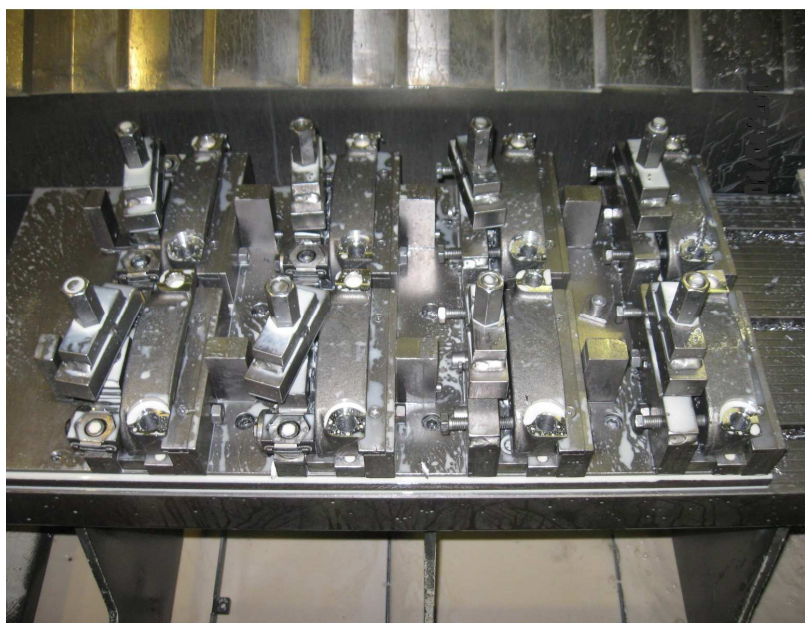
Obr. 6.1 CNC centrum <sup>16</sup>

Tab.6.1 Technické parametry Hedelius MC 40 <sup>16</sup>

| Pojezdy                           |                        |
|-----------------------------------|------------------------|
| X (pracovní stůl)                 | 1800 mm                |
| Y (saňe)                          | 420 mm                 |
| Z (vřeteník)                      | 480 mm                 |
| Vzdálenost čela vřetena od stolu  | 150 – 910 mm           |
| Kyvadlový provoz                  | 2 x 575 x 420 mm       |
| Rychloposuvy                      |                        |
| X                                 | 40 m/min               |
| Y                                 | 40 m/min               |
| Z                                 | 40 m/min               |
| Stůl                              |                        |
| Upínací plocha                    | 2000x500 mm            |
| Počet T – drážek x šířka x rozteč | 5 x 18 x 100 mm        |
| Maximální zatížení                | 1800 kg                |
| Vřeteno                           |                        |
| Rychlost vřetena                  | 8000 min <sup>-1</sup> |
| Výkon vřetena                     | 18.5 kW                |
| Nástrojový kužel                  | SK 40                  |
| Další parametry                   |                        |
| Řídicí systém                     | Heidenhaim iTNC530     |
| Krouticí moment                   | 111 Nm                 |
| Hmotnost stroje                   | 11000kg                |
| Elektrická energie                |                        |
| Jmenovité napětí sítě             | 3 x 400 x 230 V        |

|                                           |              |
|-------------------------------------------|--------------|
| Proud při plném zatížení stroje           | 50A          |
| <b>Zásobník nástrojů</b>                  |              |
| Počet nástrojů v zásobníku                | 20           |
| Maximální délka nástroje                  | 330 mm       |
| Maximální průměr nástroje                 | 80 – 100 mm  |
| Čas výměny nástroje                       | 6,5 – 10,5 s |
| Maximální hmotnost nástroje včetně držáku | 12 kg        |
| Maximální hmotnost celková                | 110 kg       |

Nyní fotografická ukázka postupu výroby dílce. Nejprve upnutí pro obrobení přední části dílce. (obr. 6.2), následná výměna dílců a obrobení zadní strany (obr. 6.3). Konečný výrobek z obou stran (obr. 6.4 a obr. 6.5).



Obr. 6.2 Obrobené dílce v přípravku



Obr. 6.3 Obrobené dílce v přípravku 2



Obr. 6.4 Detail výrobku z přední strany + detaily



Obr. 6.5 Zadní strana + detaily

## ZÁVĚR

Cílem práce bylo obecné představení softwarů CAD/CAM z hlediska výroby malé firmy a jejich využití. Pro exemplární ukázkou vytvoření NC programu, byla vybrána součást – opěrka z výrobního sortimentu firmy. Tato součást přímo představuje pracovní náplň malého podniku, tzn. frézování či soustružení odlitků nebo výkovků.

Řešením dílce v softwaru se vygenerovaly NC kódy dvojího provedení. Pro přední a zadní stranu dílce. Na výrobu součásti z přední strany byla navržena rohová fréza s VBD a vrták s VBD, oba komponenty jsou prodávány společností Walter. Dále pak válcová fréza s VBD, tento nástroj je produkt firmy Pramet. Celkový čas výroby přední strany  $t_1 = 2:50$  min. Pro zhotovení zadní strany byla volena rohová fréza od firmy Sandvik Coromant a čas pro zhotovení součásti byl stanoven  $t_2 = 1:51$  min.

V práci je také uvažována rozšířena produkce firmy, to však nelze bez dalších výrobních kapacit, ale spíše šlo o jednoduchý návrh nějakého přípravku, kde se bude dílec produkovat ve větším počtu. Navíc i proto, že jde o velice jednoduchou součást na zhotovení. Čas pro celkové zhotovení dílců  $t_3 = 20:32$  min. Tento výrobní čas byl získán z praktické výroby součásti.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. CIHLÁŘOVÁ, P., HILL, M. and PÍŠKA, M. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cnc.fme.vutbr.cz>>.
2. KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
5. HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. KOČMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.
7. SVOBODA, Pavel, et al. *Základy konstruování*. 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2008. 234 s. ISBN 978-80-7204-584-6.
8. Nexnet a.s. - Edgecam [online]. 2011 [cit. 2011-05-24]. Edgecam. Dostupné z WWW: <<http://www.edgecamcz.cz/>>.
9. *Začínáme s Edgecam* [online]. Zlín : Sonetech, s.r.o., 2008 [cit. 2011-05-24]. Dostupné z WWW: <[https://cit.strojsnv.sk/cadcam/download/zaciname\\_edge.pdf](https://cit.strojsnv.sk/cadcam/download/zaciname_edge.pdf)>.
10. ZPS - Slévárna a.s. [online]. 2010 [cit. 2011-04-23]. ZPS - Slévárna a.s. Dostupné z WWW: <<http://www.sl.zps.cz/katalog.htm>>.
11. Kovárna VIVA [online]. 2011 [cit. 2011-04-23]. Produkty. Dostupné z WWW: <<http://www.viva.cz/web/structure/produkty-22.html>>.
12. Firmconsult, spol. s r.o/ Svařence [online]. 2011 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.firmconsult.cz/cz/svarence/>>.
13. *Walter Internet Catalog* [online]. 2011 [cit. 2011-04-23]. Cutting tools milling, drilling, turning and threading. Dostupné z WWW: <[http://ww2.walter-ag.de:8080/sap/bc/gui/sap/its/ZZWALTEROSTORE/?sap-language=EN&ostore\[1\]=WBAU1\\_E&~okcode\[1\]=TOL&~target\[1\]=\\_top&~forcetarget\[1\]=yes](http://ww2.walter-ag.de:8080/sap/bc/gui/sap/its/ZZWALTEROSTORE/?sap-language=EN&ostore[1]=WBAU1_E&~okcode[1]=TOL&~target[1]=_top&~forcetarget[1]=yes)>.
14. Corokey [online]. 2010 [cit. 2011-05-16]. Sandvik Coromant. Dostupné z WWW: <[http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/ENG/CoroKey\\_2010.pdf](http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/ENG/CoroKey_2010.pdf)>.
15. *Katalog Pramet* [online]. 2010 [cit. 2011-05-24]. Frézování. Dostupné z WWW: <<http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Milling%202010%20CZ%20prog.pdf>>.
16. *Katalog Hedelius* [online]. 2011 [cit. 2011-05-18]. Hedelius Maschinenfabrik GmbH. Dostupné z WWW: <[http://www.hedelius.de/downlods/hd-kataloge/hedelius-katalog\\_0111-de.pdf](http://www.hedelius.de/downlods/hd-kataloge/hedelius-katalog_0111-de.pdf)>.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

| Zkratka/Symbol | Jednotka                            | Popis                        |
|----------------|-------------------------------------|------------------------------|
| $a_p$          | [mm]                                | Šířka záběru ostří           |
| $d_i$          | [mm]                                | Průměr nástroje              |
| $f_n$          | [mm]                                | Posuv na otáčku              |
| $f_z$          | [mm]                                | Posuv na zub                 |
| $l_i$          | [mm]                                | Délka nástroje nebo vyložení |
| $n$            | $[\text{min}^{-1}]$                 | Otáčky vřetena               |
| $t_i$          | [s]                                 | Strojní (výrobní) čas        |
| $v_c$          | $[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$  | Řezná rychlost               |
| $v_f$          | $[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$ | Rychlost posuvu              |
| $X_i$          | [mm]                                | Délka nástroje nebo vyložení |
| $z$            | [-]                                 | Počet zubů                   |
| CAD            | [-]                                 | Computer Aided Design        |
| CAM            | [-]                                 | Computer Aided Manufacturing |
| CNC            | [-]                                 | Computer Numerical Control   |
| HSC            | [-]                                 | High speed cutting           |
| NC             | [-]                                 | Numerical Control            |
| SFP            | [-]                                 | Shop Floor Programing        |
| TPV            | [-]                                 | Technologický proces výroby  |
| VBD            | [-]                                 | Výměnné břitové destičky     |
| 2D             | [-]                                 | Two - dimensional            |
| 3D             | [-]                                 | Three - dimensional          |

**SEZNAM PŘÍLOH**

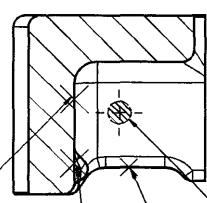
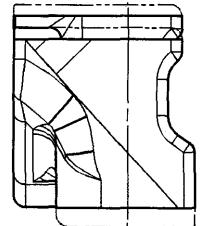
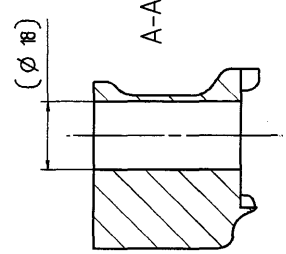
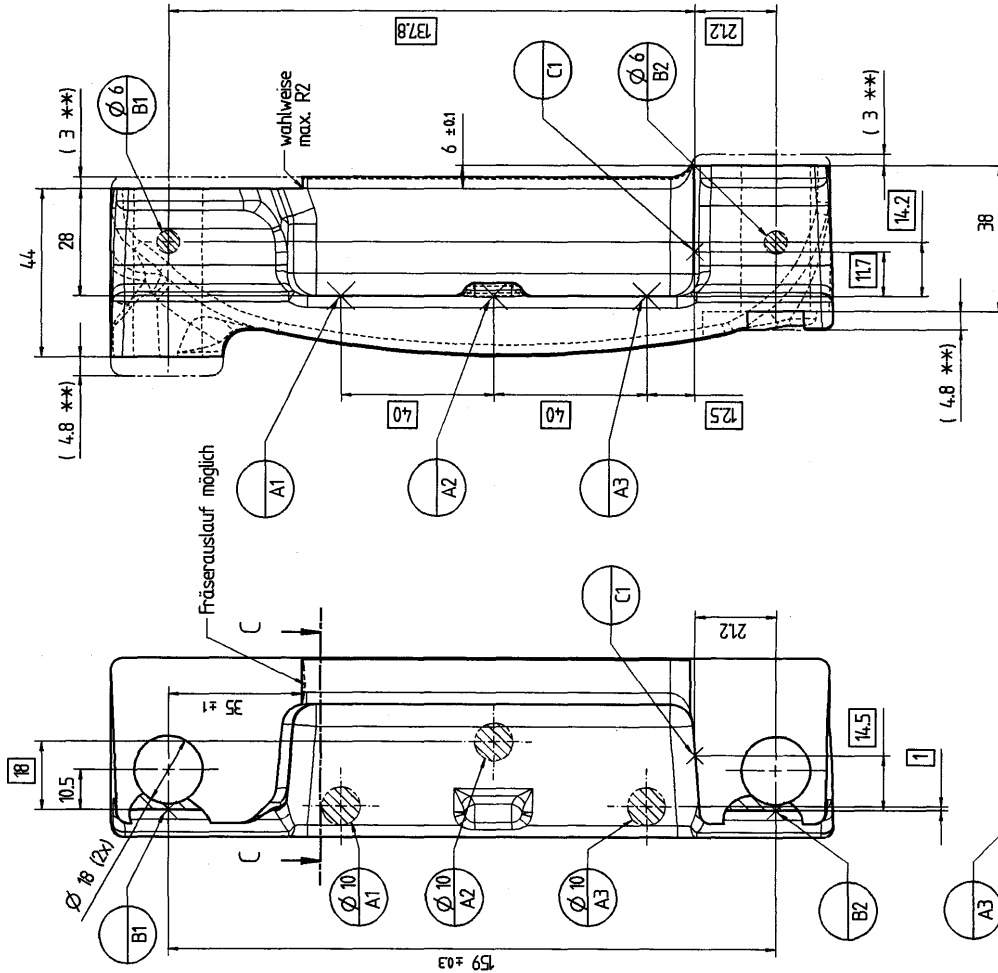
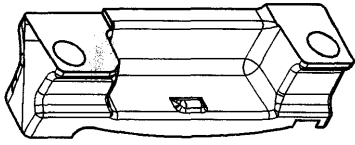
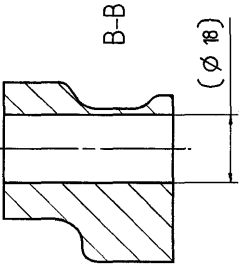
- Příloha 1 CNC kód opěrky (přední strana)  
Příloha 2 CNC kód opěrky (zadní strana)  
Příloha 3 Výkres součásti

## Příloha 1

%  
(Několik přípravných funkcí, jako G90, G40, aj., pouze pro nastavení programu)  
N10 G28 G91 Z0  
N20 G28 X0 Y0  
N30 G90  
N40 G54 M06 (Volba rohové frézy)  
N50 T09 M01 (Nástroj je upnutý ve vřetenu, režim Podmíněného zastavení)  
N60 S1989 M3 M41 M8 (Pouštění otáček doprava a zapnutí chlazení)  
N70 G0 X18.214 Y-5.387  
N80 G43 Z5.0 H00 M7  
N90 Z0.5 F636  
N100 G1 Z-0.091 F280 (Nastavení posuvu a přísuvu)  
N110 X17.273 Y-5.994 Z-1.183 F636.0 (Počátek trasování)  
N120 X16.491 Y-6.795 Z-2.192  
N130 X15.906 Y-7.75 Z-3.067  
.  
.  
N840 X25.477 Y-7.719 R7.527  
N850 X10.491 Y-8.029 R8.145  
N860 X9.917 Y-11.033 R8.143  
N870 X18.06 Y-19.176 R8.143  
N880 X25.421 Y-14.514 R8.143  
N890 G1 X25.69 Y-13.733  
N900 X25.941 Y-12.641 (Úryvek z dokončovací operace obráběných plošek)  
N910 X25.942 Y-11.522 Z-4.551  
.  
.  
N3070 G54 M06 (Výměna nástroje)  
N3080 T08 M01 (Volba vrtáku)  
N3090 S4244 M5 M41 M8  
N3100 G0 X18.053 Y-11.048  
N3110 G43 Z5.0 H00 M7  
N3120 G98 G81 Z-48.408 R0.0 F424 (Zavedení vrtacího cyklu)  
N3130 G80  
N3140 M98  
.  
.  
N3590 X-3.129 Y-142.715 Z-0.89  
N3600 G2 X-7.882 Y-147.95 R5.0 F469  
N3610 G0 Z15.0 F469  
N3620 G00 Z100.0 M09 (Vypínání chlazení při rychloposuvu)  
N3630 Z0 H00 M19  
N3640 M30 (Pomocná funkce zastavení programu)  
%

## Příloha 2

%  
N10 G28 G91 Z0  
N20 G28 X0 Y0  
N30 G90  
N40 G54 M06  
N50 T07 M01  
N60 S2308 M3 M41 M8  
N70 G0 X12.138 Y199.157 (Rychloposuv navede nástroj k součásti)  
N80 G43 Z11.0 H00 M7  
N90 G1 Z10.409 F486.5  
N100 X11.043 Y198.924 Z9.317 F923.0 (Začátek obrábění)  
.  
.  
N1080 G1 X0.0 Y0.0 Z0.3 (Ruční polohování pracovního posuvu)  
N1090 X20.0  
N1100 X40.0  
N1110 Y20.0  
N1120 X20.0  
N1130 X0.0  
N1140 Y27.0  
N1150 X20.0  
N1160 X40.0  
N1170 Z0.0 F486.5  
N1180 X20.0 F923.0  
N1190 X0.0  
N1200 Y20.0  
N1210 X20.0  
N1220 X40.0  
N1230 Y0.0  
N1240 X20.0  
N1250 X0.0  
N1260 G28 Z0 H0 M19  
.  
.  
N1340 G54 M06 (Výměna nástroje)  
N1350 T12 M01 (Nástroj záhlubník)  
N1360 S4000 M5 M41 M9  
N1370 G0 X29.898 Y11.199  
N1380 G43 Z15.0 H00 M7  
N1390 G98 G81 Z-7.75 R0.0 F2194.01  
N1400 G80  
N1410 G28 Z0 H0 M19  
N1420 G00 Z100.0 M09  
N1430 Z0 H00 M19  
N1440 M30 (Konec programu)  
%



Technical drawing of a mechanical part. The drawing shows a side view of a component with a circular feature. The circular feature has a diameter of 38 mm (min) and 50 mm (max). The rectangular feature has a width of 19 mm. The drawing includes dimension lines and labels 'A' and 'A'.

\*\* = Bearbeitungszugabe  
0,220 BSEK

EN 12329-Fe17N81C  
Zurückgaho

|                                                                 |   |
|-----------------------------------------------------------------|---|
| Anlieferungszustand                                             |   |
| entwandter Riehelsgrad                                          |   |
| SA 2 V2 nach ISO 1591-1                                         |   |
| gratfrei nach WN 1010                                           | X |
| Anschmelzungen (auch positiver Überhang nach WN 10572) zulässig |   |
| ölfrei / fettfrei                                               |   |
| geölt                                                           |   |
| geölt zulässig                                                  |   |
| wahlweisen Anlieferungs-<br>zustand mit X kennzeichnen          |   |

[illegible]