

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE A POSTUPU VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI ZA VYUŽITÍ MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ

**DESING OF TECHNOLOGY AND PROCESS OF MANUFACTURING OF A COMPONENT WITH THE
HELP OF MODERN TECHNOLOGIES**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID HOLÍK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MARTIN SLANÝ

BRNO 2009

Zadání

Licenční smlouva

ABSTRAKT

Řešením této bakalářské práce je zhotovení zadané součásti za využití moderních výrobních technologií. Vyráběnými součástmi jsou hlavní a vedlejší třmen kotoučové brzdy. Budou představeny různé varianty řešení výroby. Pro zvolenou technologii výroby bude teoreticky a dle možností i prakticky zpracován návrh postupu výroby.

Klíčová slova

Moderní technologie, CIM technologie, CAD/CAM, Rapid Prototyping, CNC. Klíčová slova jsou slova vystihující danou problematiku, slova vyjadřující obsah nebo metodu řešení. (ČSN ISO 5966)

ABSTRACT

This Bachelor's thesis is a dissertation focusing on the design and manufacturing of single mechanical parts with the help of modern technologies. In particular, the study involves brake callipers and different variants of manufacturing methods of these parts are presented. Aim of this work is to make a design of these components and, if there is the possibility, their production.

Key words

Modern technologies, CIM technologies, CAD/CAM, Rapid Prototyping, CNC.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HOLÍK, David. *Návrh technologie a postupu výroby zadané součásti za využití moderních technologií: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 42 s., 8 příloh. Vedoucí práce ing. Martin Slaný.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh technologie a postupu výroby zadané součásti za využití moderních technologií vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....

David Holík

Poděkování

Děkuji tímto zaměstnancům FSI v Brně Ing. Martinu Slanému, Ing. Milanu Kalivodovi, vedoucímu technologovi rodinné firmy Ing. Martinu Rebendovi a technickému řediteli společnosti Protocom s.r.o. Ing. Martinu Štefkovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
Úvod	8
1 MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ SOUČÁSTI.....	9
1.1 Moderní výrobní technologie použitelné při výrobě.....	9
1.1.1 <i>CIM technologie</i>	9
1.1.2 <i>Vysokorychlostní obrábění</i>	10
1.1.3 <i>Rapid Prototyping (RP)</i>	11
1.1.4 <i>Reverse Engineering (RE)</i>	14
1.2 Charakteristika zadané součástky	15
2 VOLBA VÝROBNÍ TECHNOLOGIE	16
2.1 Srovnání výrobních postupů výroby.....	16
2.1.1 <i>Popis metody 1</i>	17
2.1.2 <i>Popis Metody 2</i>	18
2.1.3 <i>Srovnání technologií</i>	21
2.2 Přiblížení zvoleného řešení	23
3 NÁVRH TECHNOLOGIE.....	24
3.1 Polotovar součásti.....	24
3.2 Volba stroje	25
3.3 Upnutí součásti.....	25
3.4 Výpočet spotřeby materiálu.....	26
3.5 Výrobní postup	27
3.6 Tvorba 3D modelu	30
3.7 Výpočet řezných parametrů	31
3.8 Tvorba programu v aplikaci PowerMILL.....	32
3.8.1 <i>Ukázka základních funkcí programu PowerMILL</i>	32
3.8.2 <i>Simulace výroby zadané součásti v aplikaci PowerMILL</i>	33
3.8.3 <i>Programování operace vrtání a řezání závitu v programu iTNC</i>	34
4 TECHNOLOGICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	35
4.1 Zhodnocení výroby	35
4.2 Výpočet nákladů.....	35
4.3 Srovnání	35
Závěr	37
Seznam použitých zdrojů	38
Seznam příloh	42

ÚVOD

Aplikace nových progresivních technologií je již existenční nutností v řadě výrobních provozů. Johann Soder (technický ředitel SEW Eurodrive) prohlásil: „Pro mě je dnešní stav stále tím nejhorším. Bez radikálních změn nevznikne žádná kreativita pro úspěšnou budoucnost⁸”.

Zvyšující se požadavky zákazníka nutí výrobce k neustálé optimalizaci výrobního procesu. V dnešní době existuje celá řada nejrůznějších nových progresivních technologií zkracující přípravné, seřizovací a výrobní časy při zvýšení celkové jakosti výroby. Tyto technologie vyžadují odpovídající strojní a nástrojové vybavení a stupeň automatizace.

Ve strojírenské výrobě se využívají zejména počítačem podporovaná tzv. CIM technologie, vysokorychlostní obrábění HSC, HFM, HPM a HPC, tvorba modelu aditivní metodou tzv. Rapid Prototyping. Tyto technologie se vzájemně prolínají a na sebe navazují.

Vždy je nutno zvážit návratnost a efektivitu investice do nových technologií. Jejich vhodnost výrazně ovlivňuje sériovost a složitost výroby.

Vyráběnou součástí je třmen kotoučové brzdy hlavní a vedlejší ze slitiny hliníku AW 7022 CERTAL. Pro tyto součásti budou vzájemně porovnány různé výrobní postupy při různé sériovosti výroby. Pro nejvhodnější výrobní technologii kusové výroby bude vypracován pracovní návrh technologie a postup. Musí být splněna funkčnost, zaměnitelnost a vyměnitelnost součástí.

Sestava kotoučové brzdy se skládá z hlavního a vedlejšího třmene, rotoru, brzdového pístu a brzdové destičky. Do třmene jsou zasunuty brzdové destičky s brzdovým pístem.



Obr. 1.1 Kotoučová brzda (¹⁵)

1 MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ SOUČÁSTI

Neustále se zvyšující požadavky na strojírenskou výrobu nutí výrobce k optimalizaci stávajících procesů. Ústřední roli v tomto procesu mají výrobní technologie. Jejich volba závisí na počtu vyráběných kusů, tvaru, geometrii a funkci vyráběného dílce, dostupnosti strojového a hardwarového parku či kvalifikaci pracovníků.

1.1 Moderní výrobní technologie použitelné při výrobě

Mezi moderní technologie se dnes řadí zejména nové progresivní vysoce produktivní technologie. Při výrobě zadané součásti lze aplikovat např. CIM technologie (především CAD/CAM), vysokorychlostní obrábění (HSC, HSM, HPM a HFM), Rapid Prototyping a reverzní inženýrství.

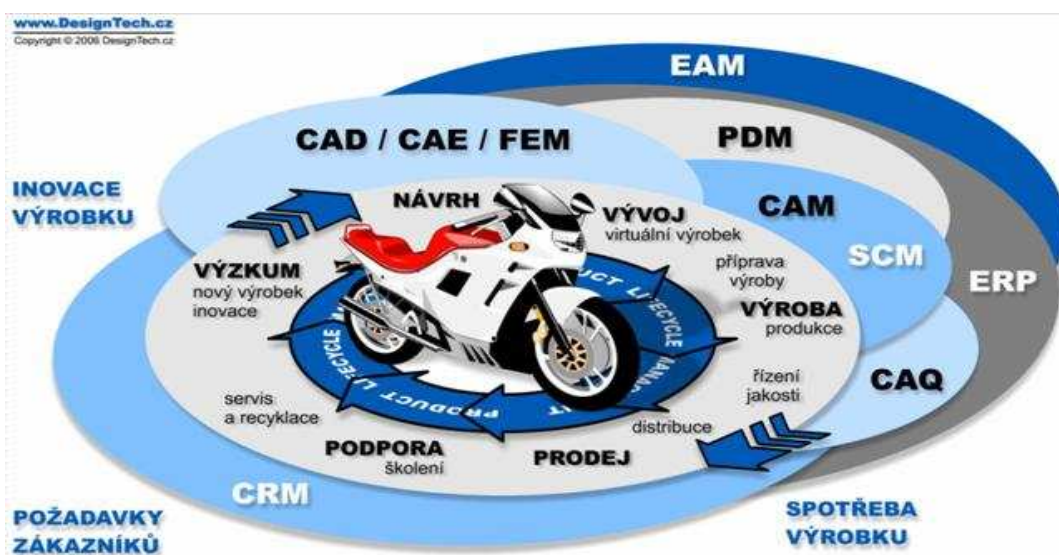
1.1.1 CIM technologie¹

CIM (Computer Integrated Manufacturing) – počítačově integrovaná výroba.

- Je koncept integrace všech na výrobě se podílejících oblastí za využití počítače.
- Umožňuje propojení jednotlivých podsystémů v jeden funkční celek.

Nejdůležitější oblasti (podsystémy) CIM jsou:

- CAA (Computer Aided Assembling) – počítačem podporovaná montáž v předvýrobní, výrobní i odbytové fázi.
- CAD (Computer Aided Design) – počítačově podporované konstruování. Do konstrukce jsou zahrnuty statické, dynamické, termodynamické, optické, fyzikální a chemické vlastnosti součástí, stejně tak jejich ideální geometrické tvary a od nich odvozené odchylky.
- CAE (Computer Aided Engineering) – počítačová podpora inženýrských činností. Jedná se o projektování z hlediska funkčnosti a technologičnosti.
- CAM (Computer Aided Manufacturing) – počítačem podporovaná výroba. Slouží k řízení výroby, montáže, skladu a detailního plánování v reálném čase (za využití CNC a DNC systémů a robotů)².
- CAQ (Computer Aided Quality Assurance) – počítačem podporované řízení kvality. Řízení kvality se rozděluje do dílčích úkolů - plánování kvality (plánování zkoušek) a řízení kvality.
- CAP (Computer Aided Planning) – počítačem podporované plánování (lepší plánování práce). U plánování práce se zhotoví pracovní plány, NC programy a určí se jejich významné okrajové podmínky procesu výroby.
- CAR (Computer Aided Robotics) – počítačová podpora robotiky. Slouží k přípravě a využití průmyslových robotů v procesu výroby a montáže².



Obr. 1.2 Zařazení pojmů CAD a CAM v kontextu PLM (¹⁹).

Očekávané výhody CIM aplikací¹:

- zmenšení navrhovaných nákladů o 15 až 30%,
- zmenšení průběžného času o 30 až 60%,
- zvýšení produktivity o 40 až 70%,
- zmenšení materiálů ve výrobě o 30 až 60%,
- redukování zmetků na 50 až 80%,
- zvýšení kreativní činnosti na 3 až 35 oblastí.

1.1.2 Vysokorychlostní obrábění

a) HSC/HSM

HSC (High Speed Cutting) – vysokorychlostní řezání,

HSM (High Speed Machining) – vysokorychlostní obrábění.

HSC/HSM obrábění umožňuje³:

- dosažení vysoké kvality obráběného povrchu – $R_a = 0,6 - 0,8 \mu\text{m}$,
- zvýšení řezné síly a posuvové rychlosti, např. frézování kalené oceli a litin řeznou rychlostí $v_c = 200 - 400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a šedé litiny $v_c = 2000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ při posuvové rychlosti $v_f = 1000 - 2000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
- snížení řezné síly o 1/3 vlivem menšího přechování třísky,
- odvod vzniklého tepla převážně třískami – 99%, čímž se sníží tepelné zatížení nástroje a obrobku,
- obrábění bez chlazení.

HSC obrábění je nutné vždy aplikovat na odpovídající strojový park přizpůsobený pro obrábění vysokými řeznými rychlostmi s otáčkami frézovacích vřeten $n = 10000 - 80000 \text{ min}^{-1}$, vřeten soustruhu $n = 5000 - 15000 \text{ min}^{-1}$, výkony stroje od $P = 15 \text{ kW} - 60 \text{ kW}$, maximální pracovní posuvovou rychlostí $v_f = 10 - 40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, rychloposuvů $90 - 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a zrychlením $a = 2g^3$.

b) HFM – (High Feed Machining)¹⁰ – obrábění vysokými posuvy.

Aplikací speciální geometrie břitu lze dosáhnout zvýšení posuvu bez ztrát kvality obrobeného povrchu a vyššího úběru materiálu. Jiná metoda je založena na speciální konstrukci břitu. Část břitu o velkém rádiu ovlivňuje tloušťku a průřez třísky, rozložení sil i hodnotu Ra. Dosahované posuvy na zub frézy přesahují běžně několik milimetrů.

c) HPC – (High performance Cutting) – vysokovýkonné obrábění.

Jedná se o obrábění s podstatným zvýšením objemu odebraného materiálu při vysokých řezných i posunových rychlostech oproti běžným způsobům výroby. Všeobecně platí, že ve srovnání s HSC vykazuje pomalejší řezné rychlosti ale podstatně vyšší hloubku třísky při horší kvalitě opracované plochy²¹.

Nevýhodou jsou velké točivé momenty, osové síly a velké posuvy, při kterých hrozí pootočení nástroje nebo jeho vytažení z upínacího pouzdra¹¹.

1.1.3 Rapid Prototyping (RP)

Smyslem technologie Rapid Prototyping (RP) je vytvoření reálného modelu z počítačových dat v co nejkratším čase a při nejvyšší kvalitě. Součásti jsou vyráběny postupným přidáváním materiálu (aditivní metodou) ve vrstvách o konstantní tloušťce. Úloha master modelu vzniklého v prototypové výrobě je velmi různorodá, počínaje designérskou studií, ověřením funkčnosti celé sestavy přes silikonové a vstřikolisové formy až po výrobu formy pro odlitky z hliníkových a hořčíkových slitin.



Obr. 1.3 Karoserie osobního vozidla společnosti Audi realizovaná průmyslovými roboty za využití RP firmou „Kuka“ (¹⁴).

- **Stereolithography (STL) - stereolitografie⁶**

Stereolitografický stroj je složen ze tří hlavních částí: pracovní komory, řídicí jednotky a opticko-laserového systému. V pracovní komoře je umístěna nádoba s epoxidovou pryskyřicí, ve které se ve směru osy Z pohybuje platforma a nůž zajišťující rovinu pryskyřice v každé vrstvě.

Vygenerují se podpory a vše se přeloží do STL formátu, v němž je definován tvar jednotlivých vrstev modelu. Tyto vrstvy mohou být silné 0,05 až 0,15 mm. Stavba modelu je založena na postupném vykreslování 2D vrstev na hladinu pryskyřice laserovým paprskem. V místě dopadu paprsku je pryskyřice vytvrzena a platforma se posune o zadaný krok (vrstvu) v ose Z směrem dolů. Před vykreslováním každé vrstvy zarovná nůž hladinu pryskyřice tak, aby byla zachována tloušťka vrstvy. Uchycení modelu k platformě je dosaženo podporami, které model fixují v dané poloze a zabraňují jeho zborcení. Po skončení stavby se model vyjme a dokonale umyje od nevytvrzené pryskyřice. Na finální vytvrzení slouží UV komora, kde model získá požadovanou pevnost a opracovatelnost.

Výhoda stereolitografického master modelu tkví v možnostech povrchového dokončování – od běžného broušení přes pískování až po lakování. Další předností je udržení vysoké kvality a detailnosti modelu s vyhovující přesností v rozmezí 0,05 – 0,2 mm/100 mm s širokým spektrem použití.

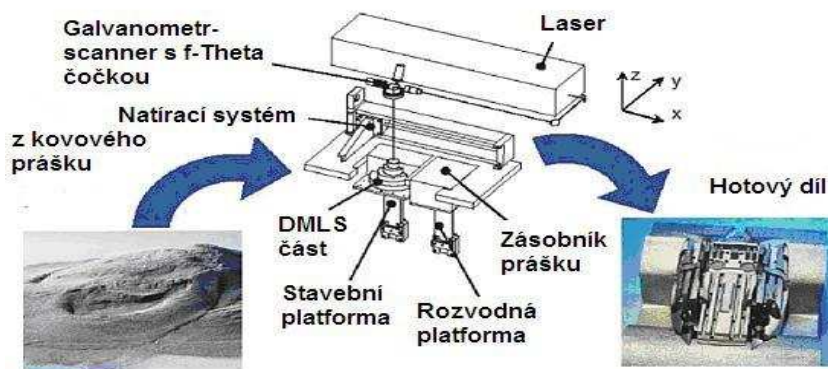
- **Selective Laser Sintering (SLS) – Spékání práškových materiálů⁶**

Jako stavební materiál je používán jemný prášek (polyamidy, kovové prášky a práškový písek). Platforma se nepohybuje v materiálu, ale materiál je na ni nanášen v jednotlivých vrstvách pomocí posuvného nože, jenž obstarává rovinu a tloušťku vrstvy. Ta může být silná od 0,1 mm do 0,2 mm. Laserovým paprskem (CO₂ laser o max. výkonu 20 W) jsou vykreslovány jednotlivé vrstvy modelu. Výhodou oproti STL je absence podpor. Model je pevně usazen v prášku. Po skončení výrobního procesu je nutné nechat prášek vychladnout na teplotu, při níž lze model vyjmout a očistit od zbylého prášku.

Výhodou SLS modelů oproti STL je jejich vysoká pevnost, která je srovnatelná s pevností sériových materiálů, kratší doba výroby a ekonomičnost výroby. Proto se modely používají zejména pro zkoušky funkčnosti součástí v praxi. Nevýhodou je nižší detailnost.

SLS technologie se využívá také ve slévárenství, a to především u metod přesného lití – s využitím vypalitelného modelu. Používaným materiálem je v tomto případě polystyren, který je následně nasycen voskem. Zpracování takového modelu je do jisté míry shodné se zpracováním klasického voskového modelu.

EOSINT M - Working Principle / Princip stavby



Obr. 1.4 Princip výroby 3D modelu na stroji Eosint M 270 (⁷).

- **Fused Deposition Modeling (FDM) – kladení taveniny⁵**

Model je tvořen aplikací materiálu ABS tryskou. Ta se pohybuje v osách X a Y, osa Z je tvořena pohybem celé platformy, na níž je model usazen. Její doménou je výroba jednoho zátěžového vzorku pro zkoušky a ověření funkčnosti při nižší přesnosti, která závisí na tloušťce vrstvy (neplátí pro kovové materiály). Ta může být dle způsobu použití 0,025 až 1,25 mm²⁴. Touto technologií je možné vyrábět součásti např. z polyamidu, polyethylenu nebo vosku²³. Při výrobě více kusů je nevýhodná a finančně náročná. Většímu využití jako prostředku pro přípravu formy či nástroje zabraňuje náročnější způsob povrchové úpravy s ohledem na mechanické vlastnosti použitého materiálu ABS. Ten se blíží svými parametry k sériově vstřikovanému ABS.



Obr. 1.5 Příklad výrobků FDM (²³).

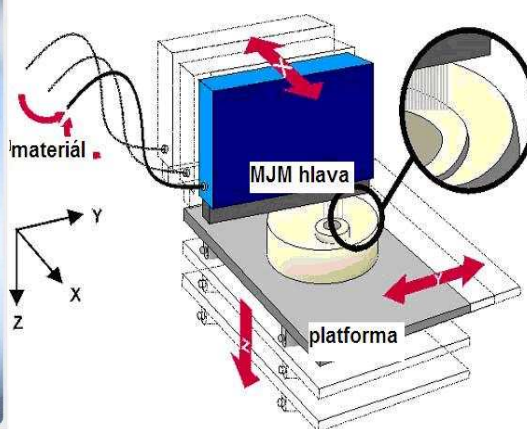
- **Multi-Jet Modeling (MJM)¹⁸.**

Princip této metody spočívá v nanášení jednotlivých vrstev termopolyméru postupně na sebe pomocí speciální tiskové pracovní hlavy. Tiskovou hlavu tvoří soustava 246 trysek uspořádaných rovnoběžně vedle sebe. Průtok nanášeného materiálu je pro každou trysku samostatně řízen programem. Modely se vytváří na zvláštní nosné desce. Pracovní hlava se pohybuje nad nosnou deskou ve směru osy X. Jestliže je součástka širší než pracovní hlava, posouvá se ve směru osy Y tak, aby se vytvořila celá součástka (viz obr. schéma MJM). Velký počet trysek zaručuje rychlé a rovnoměrné nanášení materiálu. Nanášený termoplastický materiál ztuhne při styku s už naneseným materiálem téměř okamžitě.

a)



b)



Obr. 1.6 a) Princip odstraňování podpor u MJM b) Princip metody MJM (¹⁸).

- **Z–Cast proces¹⁸.**

Proces zahrnuje tvorbu forem a jader přímo z digitálních dat, čímž eliminuje tvorbu modelu jako při tradičním způsobu výroby pískových forem. Kov je potom přímo odlit do forem vytvořených na 3D tiskárně.



Obr. 1.7 Princip metody Z–Cast proces⁽¹⁸⁾.

1.1.4 Reverse Engineering (RE)¹³

Reverzní inženýrství (Reverse Engineering) zahrnuje procesy, při nichž dochází k vytvoření technické dokumentace z již vytvořeného fyzického objektu. RE je obráceným postupem ke klasické výrobě. „Nástrojem“ jsou zde nejrůznější druhy sond. Obrobkem je jakýkoliv hmotný předmět, jehož charakteristiky se přenáší na obrazovku počítače.

Používanými měřicími stroji pro digitalizaci jsou:

- Coordinate Measuring Machines (CMM) – je nejpoužívanější především díky jeho dalšímu využití pro kontrolu jakosti strojních součástí v podniku,
- použití robotu jako stroje – je častější u vysokosériové digitalizace, především v automobilovém průmyslu,
- klasické obráběcí centrum dovybaveno snímací sondou upnutou do vřetena stroje,
- speciálně navržené rameno s odměřovacími klouby – používáno v oblasti reklamy, filmů a počítačových her.

Sondy pro digitalizaci vnějších tvarů se rozdělují na:

- mechanické sondy – pracují na principu přímého dotyku s digitalizovanou součástí,
- bezdotykové laserové sondy – dosahují mnohonásobně vyšší rychlosti snímání. Nevýhodou je nižší přesnost a vyšší pořizovací náklady,
- optické sondy – snímají digitalizovaný povrch v různých úhlech pohledu a počítačový software složí ze získaných dat digitální model objektu i s jeho reálnou texturou. Ze všech metod je nejméně přesný.

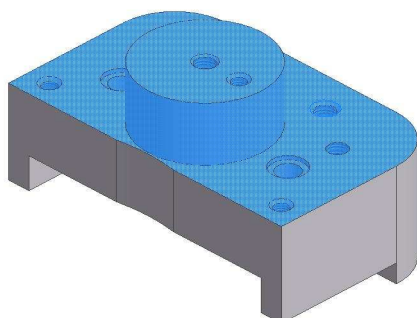
Pro vnitřní skryté tvary jsou vyvíjeny speciální stroje, založené na jiných fyzikálních jevech, například rentgenové záření u CT přístrojů ve zdravotnictví nebo ultrazvuk, použitelný v geologii či metalurgii. Zvláštním příkladem je destruktivní digitalizace, při které dochází k odfrézování jednotlivých vrstev součásti.

1.2 Charakteristika zadané součástky

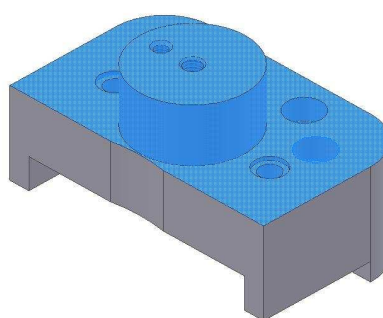
Zadaná součást (viz Příloha 1) bude vyrobena ze slitiny hliníku EN AW 7022 – CERTAL (DIN AlZnMgCu1,5) dodané zákazníkem. Všechny dosedací plochy jsou v toleranci IT7 o hodnotě $R_a = 1,6 \mu\text{m}$. Jedná se o délku vybrání 90,7H7 mm, R101 a styčná plocha obou třmenů (obr.1.9). Není tedy nutné tyto plochy brousit či jinak povrchově upravovat. Hlavní a vedlejší třmen jsou protikusy kotoučové brzdy (obr. 1.4.a). Liší se pouze různými průměry děr na horní ploše. U vedlejšího třmene jsou to díry 4x $\varnothing 8,1 \text{ mm}$ se zahloubením pro šroub. Zatímco u hlavního třmene se jedná o závity 4x M8x1.25 – 6H. U hlavního třmene jsou navíc vyřezány závity 2x M6x1 – 6H pro sešroubování s vedlejším třmenem.

Plochy označené modře na obr. 1.3 budou označeny jako horní strana. Zbylé šedé plochy na obr. 3.1 budou nazvány dolní strana. Maximální rozměry součásti jsou výška $h = 66,8 \text{ mm}$, šířka $b = 65 \text{ mm}$ a délka $l = 106,7 \text{ mm}$.

a)



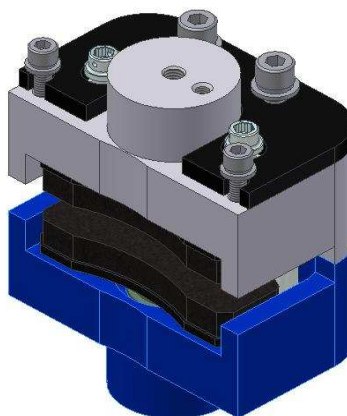
b)



Obr. 1.8 Model třmene kotoučové brzdy a) hlavní a b) vedlejší.

a)

b)



Obr. 1.9 Model sestavy kotoučové brzdy.

2 VOLBA VÝROBNÍ TECHNOLOGIE

Vzhledem k hospodárnosti a produktivitě výroby je vždy nutné zvážit návratnost nákladů do moderních aplikací. Nesnadná volba nejvýhodnější technologie závisí od konkrétních výrobních podmínek. Neexistuje žádná univerzální technologie či postup výroby.

Výrobní proces ovlivňují mnohé faktory:

- součást – tvarem a geometrií,
- nástroj – tvarem, geometrií a řeznými vlastnostmi,
- stroj – výkonem, velikostí pracovního prostoru, mírou počítačově podporované výroby,
- soustava stroj – nástroj – obrobek – tuhostí,
- technologie – způsobem výroby,
- kapacita – strojním, nástrojovým a softwarovým omezením,
- sériovost – kusová, sériová a hromadná výroba,
- měření – způsobem měření a měřícím zařízením,
- stupeň automatizace.

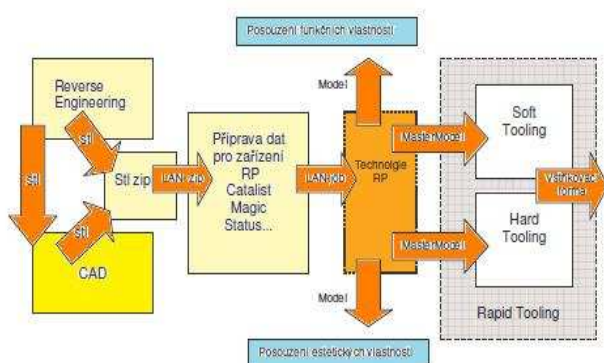
2.1 Srovnání výrobních postupů výroby

Vzájemné srovnání rozdílných technologií bude provedeno jen pro hlavní třmen. Obě součásti jsou tvarově i geometricky podobné. Proto bude také i jejich postup výroby stejný. Vzhled k omezenému rozsahu bakalářské práce budou porovnány pouze dvě varianty:

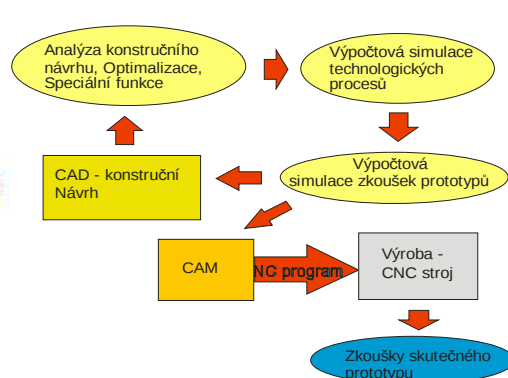
- metoda 1 – představuje aditivní způsob výroby. Pro odlévanou součást budou vyrobeny odlévací formy metodou ztraceného voskového modelu za využití Rapid Prototypingu. Veškeré funkční plochy budou obráběny.
- metoda 2 – využívá subtraktivní způsob výroby. Všechny plochy součásti budou obráběny na CNC stroji. Řídící NC program bude vytvořen za využití aplikace CAD/CAM.

Alternativním řešením výroby může být např. obrábění součásti konvenčními stroji nebo aplikace Z-cast procesu. Obě tyto metody jsou zajímavé především z pohledu kusové výroby.

a)



b)



Obr. 2.1 a) Etapy rychlé výroby prototypů⁽¹²⁾, b) systém CNC obrábění⁽²⁾.

2.1.1 Popis metody 1

Součást bude vyrobena odléváním tedy aditivní technologií. Odlévací formy budou vyrobeny metodou ztraceného voskového modelu využívající Rapid Prototyping. Technologie odlévání nedovoluje splnit veškeré jakostní požadavky zadané součástí. Všechny funkční dosedací plochy s tolerancí IT7, hodnotou $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ a závitů budou obráběny (viz Příloha 1). V CAD aplikaci Autodesk Inventor Professional 2008 bude vytvořen 3D model součásti. Tato CAD aplikace umožňuje uložení modelu s příponou STL, která zprostředkuje přenos dat do 3D tiskárny. Ta s využitím MJM metody navrství vytavitelný voskový model umožňující výrobu i těch nejsložitějších odlévacích forem.

Tab.2.1 Výhody a nevýhody použití metody 1.

Výhody:	Nevýhody:
fyzický model	přesnost 0,62 mm
přímá vazba na vývojové prostředí (CAD aplikace)	pořizovací náklady na 3D tiskárnu (cca 0,5 – 2 miliony Kč)
výroba tvarově složitých součástí	zdlouhavá tvorba 3D modelu několik hodin až dnů (dle použité metody)
aditivní výroba	vyšší hodnota $R_a = 3,2$ až $25 \mu\text{m}^{24}$

a) Jakost výrobního procesu je dána:

- velikostí toleranční pole odlitku – pro metodu přesného lití na vytavitelný model se uvádí v rozsahu 0,62 mm. Tato hodnota je určena pro odlévaný materiál ze slitiny na bázi hliníku a hořčíku a při nominálním rozsahu rozměrů 30 až 50 mm (viz Příloha 7).
- hodnotou R_a – ta se pohybuje v rozmezí $R_a = 3,2$ až $25 \mu\text{m}^{22}$.

b) Kvantitativní faktory výroby charakterizuje výsledná cena jednoho kusu dané sériovosti.

Cena jednoho odlitku se stanoví jako součet výrobních nákladů modelu, odlévací formy a nákladů samotného odlévání, který se poté podělí celkovým počtem kusů v sérii. Celkové náklady na tvorbu voskového modelu jsou 10 945 Kč (viz Příloha 5). Výrobní cena jednoho odlitku při sériovosti 10 kusů je 296 Kč. Cena jednoho kusu je o 100% vyšší tedy 592 Kč. Při sériovosti 1000 ks klesne cena odlitku o 10% ceny pro 10 ks tedy 266 Kč (viz Příloha 6).

Tab.2.2 Stanovení ceny jednoho kusu.

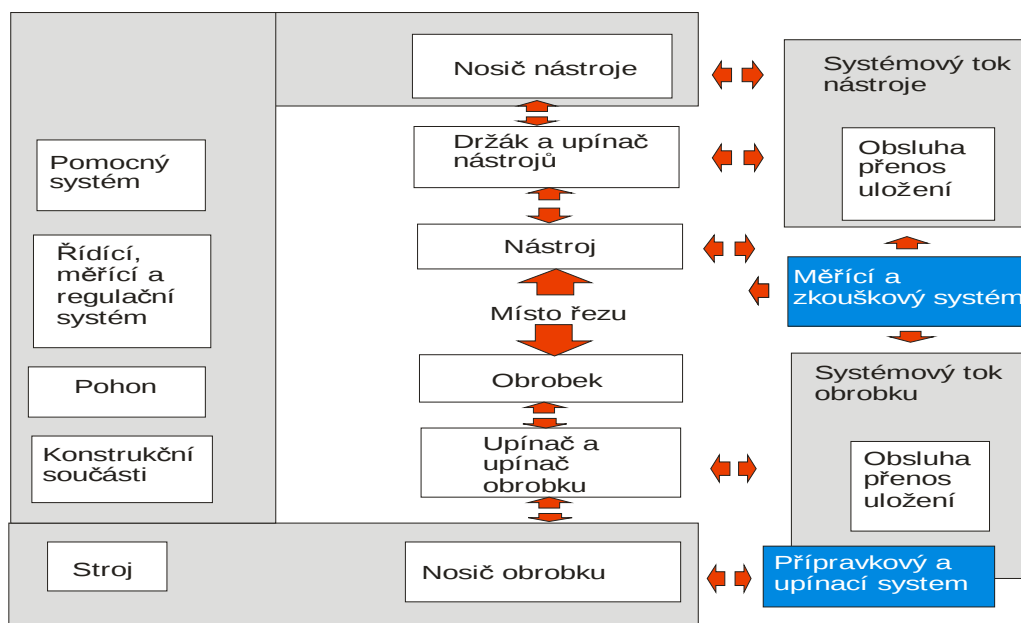
Dílčí náklady:	Pro 1 ks	Pro 100 ks	Pro 1000 ks
Forma	26 850 Kč	26 850 Kč	26 850 Kč
Odlitek	592 Kč	29 600 Kč	26 6000 Kč
Celkové náklady	27442 Kč	56 450 Kč	292 850 Kč
Celkové náklady na jeden kus	27 442 Kč	565 Kč	293 Kč
Pozn.: Celkové náklady na jeden kus jsou zaokrouhleny na celé číslo, cena formy zahrnuje i cenu vypalitelného modelu. Samostatná cena modelu je uvedena v příloze 5.			

2.1.2 Popis metody 2

3D Model vytvořený v CAD aplikaci bude importován do CAD/CAM programu. V prostředí CAD/CAM se vytvoří a vygeneruje NC program. Po upnutí polotovaru a nástrojů, seřízení stroje a přenosu NC programu do řídicího systému stroje bude započata výroba. Aplikace CAD/CAM umožňuje značnou flexibilitu výroby.

Pro zvýšení produktivity se nabízí aplikace technologií HSC obrábění. Při její aplikaci by měla být zohledněna ekonomičnost výroby (vysoké pořizovací náklady na stroj, nástroje atd.). Použití HSC pro zadanou součást je problematické z hlediska vysokých nákladů. Vzhledem k malým rozměrům součásti nedosáhne nástroj maximální posuvové rychlosti, tzn., že nedosáhne pracovní oblasti HSC. Tvar i geometrii součásti je možno vyrobit na CNC stroji v požadované jakosti a za nižších nákladů při použití běžných řezných podmínek ($v_c = 250-378 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ pro Al-slitiny).

Aplikace HSC obrábění je vhodná zejména pro tepelně zpracované součásti s $R_a = 0,8 \text{ } \mu\text{m}$ a nižší, pro konstrukci nástrojů a forem pro vysoce přesná výrobní zadání, použití v letectví a kosmonautice nebo při rychlé výrobě prototypů¹¹.



Obr. 2.2 Systém CNC stroje⁽¹⁶⁾.

Tab.2.3 Výhody a nevýhody obrábění.

Výhody:	Nevýhody:
vyšší tvarová a geometrická přesnost ($16 \text{ } \mu\text{m}$)	pořizovací náklady na CAD/CAM, CNC stroje
nižší hodnota R_a ($R_a = 1,6 \text{ } \mu\text{m}$)	náročnost seřízení stroje přípravy výroby,
vysoká flexibilita výroby	nutnost tvorby CNC programu
kratší přípravné časy a nižší přípravné náklady	subtraktivní výroba

a) **Jakost** výrobního procesu je dána:

- běžně dosahovaná přesnost při obrábění frézováním se uvádí IT7. Velikost tolerančního pole při nominálním rozsahu rozměrů 30 až 50 mm je $16 \mu\text{m}^{22}$.
- hodnotou R_a pro čelní frézování odpovídá $R_a = 12,5$ až $1,6 \mu\text{m}$ a pro obvodové $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ za použití běžných technologií. Předpokládá se tedy dosažitelná hodnota R_a pro operaci frézování $R_a = 1,6 \mu\text{m}$.

b) **Kvantitavní faktory** výroby charakterizuje výsledná cena jednoho kusu dané sériovosti. Za účelem srovnání obou technologií budou určeny tzv. náklady na jeden kus. Tato hodnota se stanoví jako součet přípravného, seřizovacího a výrobního času vynásobený hodinovou sazbou 750 Kč výroby na CNC frézce a přičtením ceny polotovaru (viz kapitola 3.1).

Tab. 2.4 Určení nákladů na jeden kus.

Počet kusů	1 ks	100 ks	1000 ks
Čas:			
přípravný	2,25 h	2,25 h	2,25 h
seřizovací	1,75 h	1,75 h	1,75 h
výrobní	0,275 h	27,5 h	275 h
výměnný	0,012 h	1,2 h	12 h
Celkový čas	4,287 h	32,7 h	291 h
Hodinová sazba	750 Kč h ⁻¹	750 Kč h ⁻¹	750 Kč h ⁻¹
Náklady:			
Výrobní	3215,25 Kč	24525 Kč	218250 Kč
Na polotovar	342 Kč	34 200 Kč	342 000 Kč
Celkové pro danou výrobu	3557,7 Kč	58 770 Kč	560700 Kč
Celkové na jeden kus	3558 Kč	588Kč	561 Kč
Pozn.: Předpokladem je stále konstantní přípravný a seřizovací čas. Výsledek bude do jisté míry zkreslený, ale pro účely srovnání dostačující. Celkové náklady na jeden kus jsou zaokrouhlené na celé číslo.			

- **Výrobní náklady** budou určeny jako součin hodinové sazby práce na CNC frézce. Do výrobních nákladů výroby se promítnou i seřizovací a přípravné časy. V hodinové sazbě jsou již zohledněny pořizovací náklady a cena použitých nástrojů.
- **Výrobní čas** byl zjištěn prostřednictvím programu PowerMILL na 18,33 min. Pro účel srovnání obou výrobních postupů nezahrnuje tento výrobní čas dokončovací, vrtací operace a řezání závitů (tyto operace je nutno provést i u metody 1 po odlití odlitku).
- **Přípravný čas** se skládá z času potřebného na tvorbu virtuálního 3D modelu, NC programu a jeho přenesení do řídicího systému stroje ŘS a výroby párové podložky. Import NC programu je poměrně rychlý proces trvající cca 5 min. Upnutí bude realizováno pomocí upínacího strojního svěráku. Při upnutí do strojního svěráku je nutné vyrobit jednu párovou podložku o 7,8 mm menší k již existující podložce. Její výroba bude trvat přibližně 1 hodinu.

- **Seřizovací čas** zahrnuje najetí referenčního bodu RB, upnutí upínacího přípravku a nástrojů, určení nástrojových korekcí a posun souřadného systému do nulového bodu obrobku NBO.

Najetí do RB u strojů:

- a) *s přímým odměřováním* – probíhá odměřováním os pomocí speciálních pravítek. U toho způsobu odměřování nezávisí najetí RB na vzdálenosti. Realizuje se najetím do tzv. referenčních značek rozmístěných v určité vzdálenosti na pravítku. Proto je rychlejší. Najetí trvá cca 0,5 min.
- b) *s nepřímým odměřováním* – jsou pomalejší. Najetí trvá přibližně 3 min. Další nevýhodou je, že přesnost najíždění je ovlivněna nepřesností kuličkového šroubu, vůle a jiných nepřesností.

Ustavení strojního svěráku lze ustavit dvěma způsoby:

- a) ustavení za pomoci číselníkového úchylkoměru trvá cca 20 min,
- b) ustavení pomocí 3D sondy je rychlejší – trvá asi 12 min, dojde k natočení souřadnicového systému.

Je upřednostněn způsob ustavení za pomoci číselníkového úchylkoměru (viz kapitola 3.3 Upnutí součástí).

Upnutí nástrojů a zápis korekcí může trvat:

- a) při aplikaci měřicí sondy – cca 3 min,
- b) při zápisu korekcí v ručním režimu – cca 8 min.

Pro účel srovnání bude počítáno s možností, že zvolený stroj není vybaven odměřovacími sondami. Při použití 9 nástrojů bude upínací a polohovací čas cca 72 min.

Určení NBO lze provést dvěma způsoby:

- a) odměření automatickým zápisem – za využití 3D měřicí sondy – jedná se o rychlejší postup (cca 12 min), který taktéž eliminuje vliv lidského faktoru.
- b) Najetí NBO v ručním režimu.

S ohledem na použitý stroj se volí levnější a zdlouhavější metoda. Seřízení trvá cca 20 min.

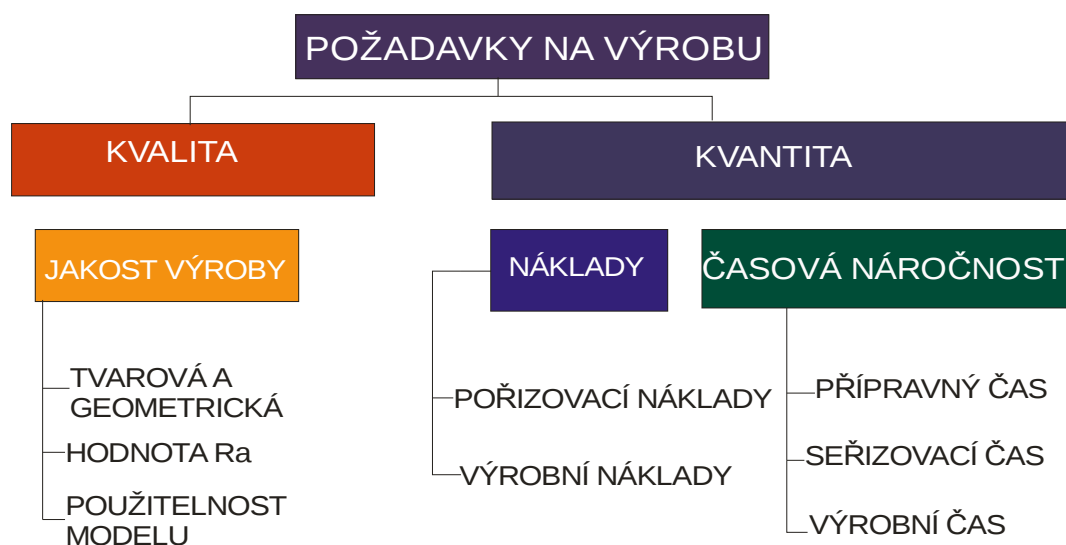
Tab.2.5 Přípravný a seřizovací čas

Přípravný čas		Seřizovací čas	
Tvorba virtuálního 3D modelu	40 min	Nájezd do RB	3 min
Tvorba NC programu	90 min	Upnutí upínacího přípravku	20 min
Import NC programu do ŘS	5 min	Upnutí nástroje	72 min
		Určení NBO	20 min
Celkový přípravný čas	135 min	Celkový seřizovací čas	107 min
Pozn.: Časy byly konzultovány s vedoucím technologem Ing. Rebendou a slouží jen jako orientační pro účely srovnání výrobních postupů.			

2.1.3 Srovnání technologií

Technologie popsané v předešlé kapitole budou vzájemně porovnány v hodnotové tabulce. Hodnotová tabulka je universálně použitelný a heuristický způsob systematické volby od alternativních ke komplexním řešením situací. Umožňuje zahrnutí nekvantifikovaných vlastností objektů a investic jako subjektivního představení preferencí⁸.

Požadavkem zákazníka je zejména zabezpečit funkčnost, vyměnitelnost a zaměnitelnost součásti při nejnižší ceně. Se stoupající sériovostí nabývají na významu kvantitativní faktory.



Obr. 2.3 Výrobní požadavky.

Výsledná kvalita vyrobené součásti zahrnuje tvarovou a geometrickou přesnost a hodnotu Ra. Tyto faktory spolu vzájemně souvisí a přímo ovlivňují funkčnost, zaměnitelnost a vyměnitelnost součásti. Kvalitativní požadavky se se zvyšující sériovostí výroby nemění. Součást musí být vyrobena vždy v požadované kvalitě.

Kvantitativní faktory ovlivňují zejména konečnou cenu. Se zvyšující se sériovostí se zvyšuje význam výrobních časů i nákladů. Naopak klesá důležitost pořizovacích nákladů, přípravných časů a seřizovacích časů, které se tak rozpočítají do vyššího počtu vyrobených kusů.

- Při výrobě jednoho kusu je jednoznačnou prioritou zhotovit součást v požadované kvalitě. Proto je volen poměr kvalita /kvantita – 75/25.
- Při výrobě 100 kusů jsou kvalitativní požadavky stejné jako u kusové výroby, ale význam kvantitativních faktorů stoupá. Proto je volen poměr kvalita /kvantita – 60/40.
- Při výrobě 1000 kusů jsou kvalitativní požadavky stále stejné, ale význam kvantitativních faktů se jim vyrovnává. Při této sériovosti hraje významnou úlohu konečná cena součásti i celkový výrobní čas. Proto je volen poměr kvalita/kvantita – 50/50.

Tab. 2.6 Hodnotová tabulka.

Vyhodnocovaný postup	Výrobní technologie	Metoda 1 (odlévání)			Metoda 2 (obrábění)		
	Počet kusů	1	100	1000	1	100	1000
Kritéria	1 100 1000						
	Důležitost[%]	Skutečná hodnota					
a) Jakost výroby	75 60 50	Procentuální hodnota					
• Tvarová a geometrická [mm]		0,62 mm			16 μm		
Přesnost [%]	37,5 30 25	1,5	2,5	2	36	27,5	23
• Hodnota Ra [μm]		3,2 až 25			1,6 až 12,5 μm		
[%]	37,5 30 25	12,8	10	8,3	24,7	20	16,7
b) Náklady na jeden kus [Kč]		38442	675	304	3558	588	561
[%]	25 40 50	2,3	17,2	27	22,7	22,8	23
Celkový výsledek	100% 100% 100%	16,6	29,7	37,3	83,4	70,3	62,7
Pozn. Skutečné hodnoty jsou přebrány z kapitoly 2.1.1 a 2.1.2							
Pořadí		2.	2.	2.	1.	1.	1.

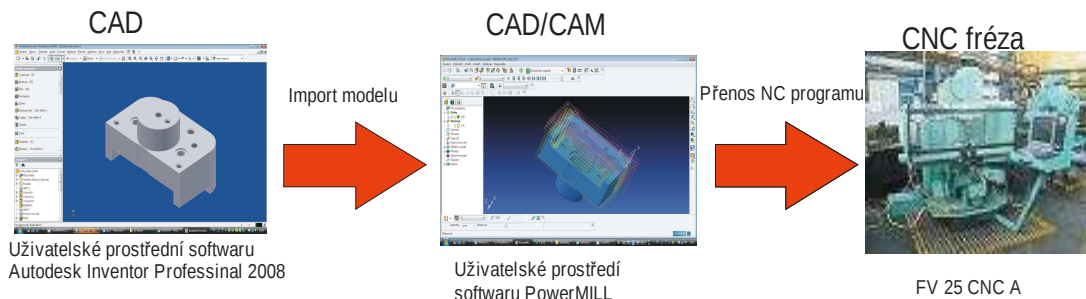
Z údajů v hodnotové tabulce vyplývá, že pro výrobu jednoho a 100 kusů bude vhodnější technologie obráběním – metoda 1, pro 1000 kusů je už možno použít metody 2 za předpokladu zvýšeného důrazu na konečnou cenu. Výsledné hodnoty hodnotové tabulky poukazují na značnou flexibilitu CNC obrábění. Aplikace odlévání je vhodnější pro větší série.

Při srovnání více oblastí sériovosti by bylo možné z údajů hodnotové tabulky sestavit graf vhodnosti aplikace určité technologie pro danou sériovost. Vhodnost metody 1 je především pro netolerované a tvarově složité součásti. Při řešení problému tvarově jednoduché a tolerované součásti je aplikace metody 1 nevýhodná. Od sériovosti 1000 ks by mohla být s výhodou aplikována i pro zadanou součást (nízká cena).

Ideálním řešením je obrábění z odlitku. Pokud by již byla k dispozici odlévací forma, která značně prodražuje výrobu metodou 1 (odléváním). Tím by se dosáhlo snížení výrobních časů o 12 min eliminací hrubovacích operací (viz kapitola 3.8.2).

2.2 Přiblížení zvoleného řešení

Zadaná součást bude vyráběna v dílnách Ústavu strojírenské technologie na VUT v Brně.



Obr. 2.4 Výrobní proces zvoleného řešení.

Podmínky výrobního postupu:

- CAD – musí umožňovat tvorbu virtuálního 3D modelu, který bude kompatibilní pro CAD/CAM aplikaci.
- CAD/CAM – musí akceptovat všechny plochy a tvar importované součásti. NC program musí být vygenerován pro řídicí systém stroje.
- Stroj – musí přechít vygenerovaný NC program a následně ho aplikovat prostřednictvím nástroje. Musí zajistit obrábění za požadovaných řezných podmínek.
- Nástroj – musí obrobit požadovanou plochu v požadované jakosti.

3 NÁVRH TECHNOLOGIE

Před samotnou výrobou je nutné zhotovit výrobní postup včetně volby polotovaru a stroje. Na základě vypracovaného výrobního postupu bude vytvořen funkční NC program.

3.1 Polotovar součásti

Zákazník dodal polotovar o materiálu EN AW 7022 – CERTAL (DIN AlZnMgCu1,5) Jeho cena je 342 Kč na jeden kus. Jedná se o vytvrditelnou slitinu vysoké pevnosti s vynikající obrobiteľností. CERTAL (chemická značka AlZn5Mg3Cu) obsahuje Si max. 0,5%, Fe max. 0,5%, Cu max. 0,5 – 1,0%, Mn 0,1 – 0,4%, Mg 2,6 – 3,7%, Cr 0,1 – 0,3%, Zn 4,3 – 5,2% a Ti + Zn max. 0,2¹⁷.

Tyto desky se vyznačují rovnoměrnými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi v celém průřezu desky (bloku) a jsou proto předurčeny jako ideální materiál pro výrobu forem¹⁷.

Tab.3.1 Tabulka vlastností a použití materiálů¹⁷.

Označení podle EN (DIN)		Mechanické vlastnosti		
EN AW 7022 (AlZnMgCu1,5)	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	Tvrdost [HB]	Tažnost A50: [%]
	550	495	165	8
Fyzikální vlastnosti				
ρ [kg.dm ⁻³]	λ [W.mK ⁻¹]	G: [MS.m ⁻¹]	γ [20100°C] [K ⁻¹]	E: [MPa]
2,76	18 – 22	23,6.10 ⁻⁶	72 000	120 – 150
Vlastnosti a použití:				
formy na plasty, formy na pěnové a gumové materiály, prototypové formy, základové desky střížných nástrojů, stavba jednoúčelových strojů, strojírenství. Svařitelnost TIG/MIG možná, přídatný materiál EN AW 5083 a EN AW 5356, eloxovatelnost technická: dobrá, obrobiteľnost vynikající, leštitelnost velmi dobrá, vhodnost k erozivnímu obrábění velmi dobrá, střední odolnost proti korozi.				

Přídavek na délku pro obrábění frézováním se udává 2 – 4 mm (dle materiálu a válcovaných rozměrů polotovarů). Největší rozměry obroběné součásti jsou 106,7x66,8x65 mm. Po přidání přídatku 2 mm na každou stranu vznikne polotovar o rozměrech 110,7x70,8x69 mm. Jeho rozměry se zaokrouhlí na celá čísla dle přání zákazníka. Ten dodal polotovar o rozměrech 110x70x70 mm. Polotovar bude vyřezán z desky 1020x2020x70 mm kotoučovou pilou.

Tab.3.2 Standardní vstupní rozměry desek pro dělení¹⁷:

Tloušťky:	5,0 – 180 mm (válcované desky až do tloušťky 300 mm, lité až do tloušťky 900 mm)		
Šířky:	1020mm	1270mm	1520mm
Délky:	2020mm	2520mm	3020mm

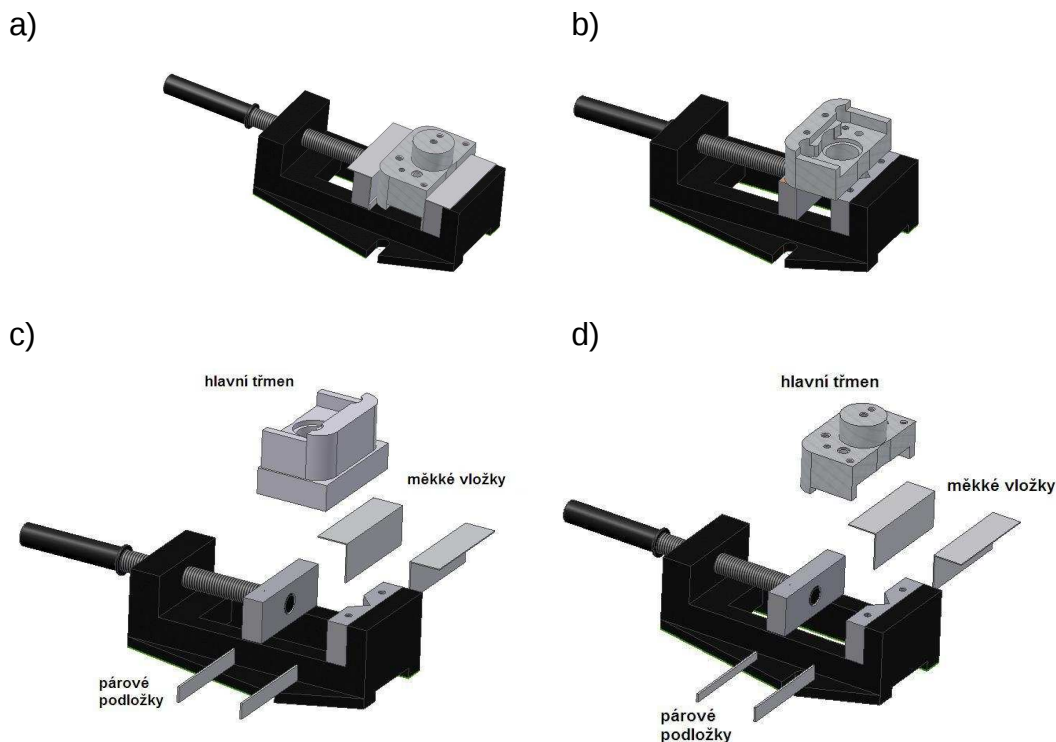
3.2 Volba stroje

Vzhledem k poměrně jednoduchému tvaru součásti byl zvolen stroj CNC frézka FV 25 A, kterým disponují dílny FSI v Brně. Parametry stroje jsou uvedeny v Příloze 4.

3.3 Upnutí součásti

Obrobek bude vyroben na dvě upnutí ve strojním svěráku.

- a) První upnutí bude realizováno obvyklým způsobem upnutí polotovaru na dvě párové podložky.
- b) Druhé upnutí lze realizovat dvěma způsoby:
- *upnutí do strojního šroubového svěráku na dvě párové podložky* (obr.3.2 a). V 1. upnutí bude obroben vnější tvar a dolní plochy. V 2. upnutí bude součást ustavena za již obrobený vnější tvar a budou dokončeny horní plochy součásti. Aby nedošlo k otlacení obrobené plochy čelistmi, vloží se mezi čelisti svěráku a obrobek měkké vložky. Součást bude podložena párovými podložkami. Vzhledem k tvarové složitosti součásti musí být rozdíl výšek podložek 7,8 mm, čímž se dosáhne rovinnosti horní plochy. Při obrábění více jak jednoho obrobku bude použit pevný doraz, kterým je již strojní svěrák vybaven. Tím dojde k urychlení výměny dílce při zvýšené přesnosti.
 - *upnutí do strojního šroubového svěráku s jednou nebo dvěma prizmatickými čelistmi* (obr.3.2 b). V 1. upnutí se obrobí horní plochy a poté bude obrobek upnut do prizmatických čelistí. Obrobek musí být zajištěn proti pootočení (např. kolíkem). Výhodou je odstranění podložek.



Obr. 3.1 a) upnutí na párové podložky, b) upnutí do prizmatických čelistí, c) první upnutí, d) druhé upnutí.

Pro 2. je voleno ustavení součásti do strojního šroubového svěráku na párové podložky. Jedná se o stabilnější způsob upnutí (větší upínací plocha). Pro větší série lze upnout na stůl více svěráků s více kusy nebo použít speciálních upínacích přípravků, čímž by se podstatně zmenšil výměnný čas. Proces je možno optimalizovat aplikací 3D měřících sond na bezdotykové mezioperační měření obrobku. Další úspory výměnných časů lze dosáhnout tzv. „duplikací“ nástrojů. V okamžiku zjištění nastavené hodnoty opotřebení měřící sonda vydá signál k výměně opotřebovaného nástroje za nový přichystaný nástroj.

- c) Ustavení a upnutí strojního svěráku na pracovním stole stroje lze provádět dvěma způsoby:
- polohování pomocí číselníkového úchylkoměru – ve svěráku bude upnuta broušená velmi přesná podložka. Číselníkový úchylkoměr ustanovený ve vřetenu stroje přejíždí podélným posuvem (osa X) po upnuté podložce. Svěrák bude vyrovnáván tak dlouho, dokud úchylka zjišťovaná na obou koncích podložky nebude menší než 0,01 mm.
 - polohování pomocí 3D sondy natočením souřadnicového systému – 3D sonda zaměří polohu již upnutého svěráku a této poloze přizpůsobí souřadnicový systém stroje. Seřizovací čas je takřka poloviční než u předešlého způsobu. Nevýhodou je natočení souřadnicového systému, který nekoresponduje se souřadnicovým systémem řídicího programu (vzdálenost v ose X v programu bude na stroji rozložena na složku X a Y – programované osy X a Y jsou šikmé). Aplikací tohoto způsobu polohování dojde k odchýlení souřadnicového systému stroje a programu, čímž je zhoršena orientace ve výrobním procesu. Takto pootočený souřadnicový systém komplikuje především najetí prvního kusu. Vzdálenosti na obrazovce CNC stroji neodpovídají skutečným vzdálenostem na obráběné součásti.

Bude zvolena metoda ustavení strojního svěráku pomocí číselníkového úchylkoměru. Tato metoda je sice zdouhavější, ale zaručuje rovnoběžnost obou souřadnicových systémů.

3.4 Výpočet spotřeby materiálu

Výpočet bude proveden za využití programu Autodesk Inventor Professional 2008, který je schopen velmi přesně spočítat celkový objem obrobku $V_o = 2,057 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$. Objem polotovaru V_p se určí jako součin výšky, šířky a délky polotovaru. Stupeň využití materiálu k_m se stanoví jako podíl objemů obrobku V_o a objemu polotovaru V_p . Stupeň využití materiálu k_m vynásobený hustotou materiálu ρ bude stanovena výsledná spotřeba materiálu.

Výpočet objemu polotovaru V_p :

$$V_p = l \cdot b \cdot h \left[\text{mm}^3 \right] \quad (3.1)$$

$$V_p = 110.71.70 = 5,467.10^5 \text{ mm}^3 \quad (3.1)$$

Výpočet stupně využití materiálu k_m :

$$k_m = \frac{V_o}{V_p} \cdot 100 [\%] \quad (3.2)$$

$$k_m = \frac{2,057.10^5}{5,467.10^5} \cdot 100 = 38\% \quad (3.2)$$

Výpočet normy spotřeby materiálu N_m :

$$N_m = (V_p - V_o) \cdot \rho [kg] \quad (3.3)$$

$$N_m = (5,467 \cdot 10^5 - 2,057 \cdot 10^5) \cdot 2,76 \cdot 10^{-6} = 0,941 \text{ kg} \quad (3.3)$$

Takto zjištěná spotřeba materiálu činí 0,941 kg.

3.5 Výrobní postup

Je určen pro popis technologického postupu výroby nebo opravy výrobku formou posloupnosti operací. Používá se pro všechny typy výroby a všechny fáze zhotovování výrobku³.

Tab.3.3 Výrobní postup pro hlavní třmen kotoučové brzdy.

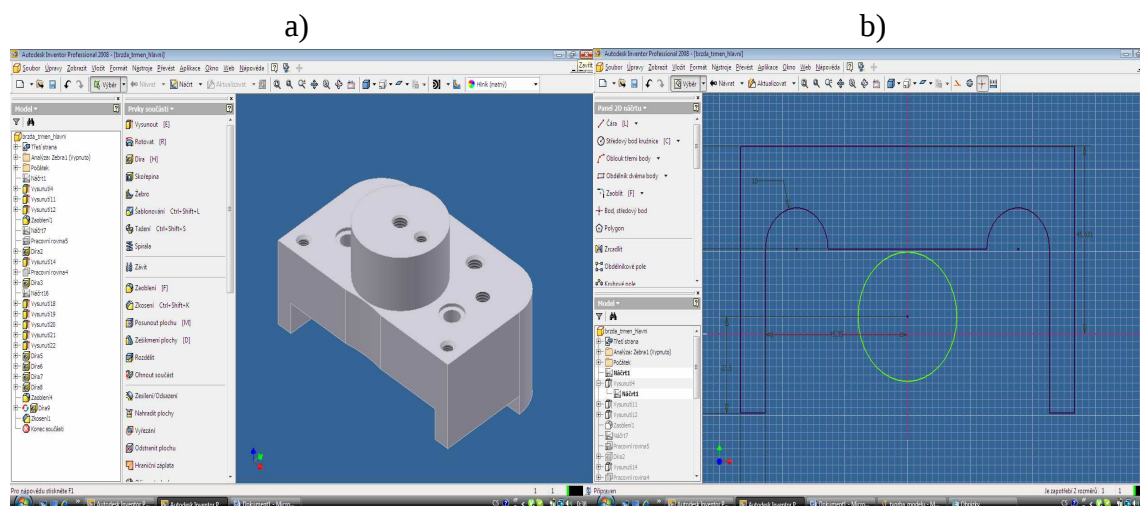
VUT Brno, FSI - ÚST ODBOR OBRÁBĚNÍ		V Ý R O B N Í P O S T U P	
NÁZEV SOUČÁSTI: HLAVNÍ TŘMEN KOTOUČOVÉ BRZDY		ČÍSLO SOUČÁSTI: BP_1	
MATERIÁL: AlZnMgCu1,5	POLOTOVAR: 110x70x70	HMOTNOST [kg]: 1,51	POČET VYRÁBĚNÝCH KS:
	EN AW 7022	NORMA SPOTŘEBY: 0,941	ZA ROK: 1
		ČISTÁ : 0,568	V DÁVCE: 1
OPERACE ČÍSLO:	PRACOVISTĚ (TYP STROJE):	POPIS PRÁCE:	
0	KOTOUČOVÁ PILA CNC Frézka FV 25 CNC A	desky 1020x2020x70 řezat na 110x70x70	
1		frézovat první stranu: upnout do strojního svěráku frézovat výšku 66,8 s přídávkem 2 frézovat délku 106,7, šířku 65, R62 a 2xR20 frézovat vybrání 45 x106,7 do hloubky 7,8 frézovat vnitřní kapsu 50 x 90,7 do hloubky 13 frézovat ø 39,5 do hloubky 4,5 frézovat ø 32 do hloubky 26,5 kontrolovat frézované rozměry s četností 100%	
2		Frézovat druhou stranu: upnout do strojního svěráku frézovat výšku 66,8 frézovat ø44 do hloubky 23 Vrtat díry 2x ø8,1 a 2x ø3 Vrtat díry pro závit 5x ø6,8 a 3x ø5 a srazit hranu 1x45° Řezat závit 5x M8x1,25 – 6H a 3xM6x1 – 6H Zahloubit 2x ø12 do hloubky 1,5 a 4x ø12 do hloubky 9 Kontrolovat frézované rozměry s četností 100%	
3	CNC Frézka FV 25 CNC A	Konzervovat a balit	
4	OTK		
5	BALÍRNA		
DATUM VYPRACOVÁNÍ : 24.4.2009		VYPRACOVAL : DAVID HOLÍK	SCHVÁLIL :

Tab.3.4 Výrobní postup pro vedlejší třmen kotoučové brzdy.

VUT Brno, FSI - ÚST ODBOR OBRÁBĚNÍ		V Ý R O B N Í P O S T U P	
NÁZEV SOUČÁSTI: VEDLEJŠÍ TŘMEN KOTOUČOVÉ BRZDY		ČÍSLO SOUČÁSTI: BP_2	
MATERIÁL: AlZnMgCu1,5	POLOTOVAR: 110x71x70 EN AW 7022	HMOTNOST [kg]: 1,51	POČET VYRÁBĚNÝCH KS:
		NORMA SPOTŘEBY: 0,941	ZA ROK: 1
		ČISTÁ : 0,568	V DÁVCE: 1
OPERACE ČÍSLO:	PRACOVISTĚ (TYP STROJE):	POPIS PRÁCE:	
0	KOTOUČOVÁ PILA	desky 1020x2020x70 řezat na 110x70x70 frézovat dolní stranu: upnout do strojního svěráku frézovat výšku 66,8 s přídavkem 2 frézovat délku 106,7, šířku 65, R62 a 2xR20 frézovat vybrání 45 x 106,7 do hloubky 7,8 frézovat vnitřní kapsu do hloubky 13 frézovat ø39,5 do hloubky 4,5 a ø32 do hloubky 26,5 kontrolovat frézované rozměry s četností 100%	
1	CNC Frézka FV 25 CNC A		
2	OTK		
3	CNC Frézka FV 25 CNC A		
4	OTK		
5	BALÍRNA	frézovat horní stranu: upnout do strojního svěráku frézovat výšku 66,8 frézovat ø44 do hloubky 23 vrtat díry 6x ø8,1a 2x ø3 Vrtat díry pro závit ø6,8 a ø5 a srazit hranu zahloubit 2x ø14 do hloubky 1,54x ø14 do hloubky 9 řezat závit M8 a M6 kontrolovat frézované rozměry s četností 100% konzervovat a balit	
DATUM VYPRACOVÁNÍ : 24.4.2009	VYPRACOVAL : DAVID HOLÍK	SCHVÁLIL :	

3.6 Tvorba 3D modelu

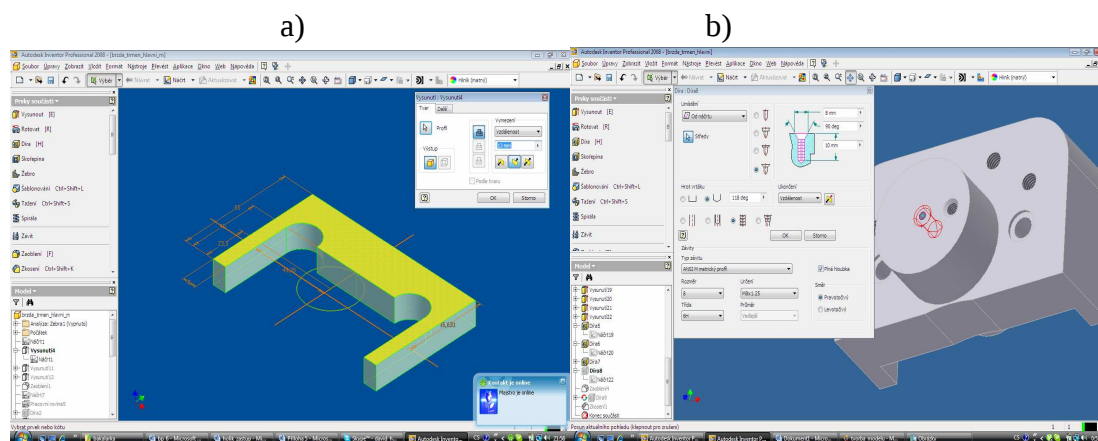
Virtuální 3D model bude vytvořen v CAD aplikaci Autodesk Inventor Professional 2008. Základní pracovní plocha se skládá z náhledu Modelu (historie součásti), Funkcí prvků součástí a 3D modelu (obr.3.3).



Obr. 3.2 3D model a) náčrt b).

Panel – „Model” (vlevo) zobrazuje historii součásti (průběh tvorby modelu). Panel – „Prvky součásti” (uprostřed) nabízí různé funkce tvorby modelu. Pro tvorbu prvku součásti je nutné nejprve vytvořit náčrt (obr.3.3). V náčrtu je kresleno ve 2D.

Po dokončení náčrtu bude pomocí funkce „Vysunutí” vysunut náčrt na požadovanou výšku. Podobně budou konstruovány oříznutí, zaoblení, zkosení, díry a zavity zadané součásti.



Obr. 3.3 Funkce a) vysunutí a b) díra.

Tab.3.5 Tabulka režimových parametrů

Č.	d [mm]	Nástroj:		F [-]	z [-]	f _z [mm]	f [mm]	n [min ⁻¹]	v _c [m.min ⁻¹]		v _f [m.min ⁻¹]
T01	ø20	fréza krátká	hrubování	1,5	4	0,078	0,468	4997	250-378	314	2,3
			dokončování			0,167	1,002				5,007
			zavrtávání			0,026	0,156				0,78
T02	ø12	fréza dlouhá	hrubování	1,5	4	0,044	0,264	8329	250-378	314	2,20
			dokončování			0,101	0,606				5,047
			zavrtávání			0,015	0,09				0,74
T03	ø8,1	Vrták spirálový dlouhý		7	—	0,25	3143	80		0,78	
T04	ø6,8	Vrták spirálový dlouhý		7	—	0,22	3745	80		0,82	
T05	ø5	Vrták spirálový dlouhý		7	—	0,18	5093	80		0,92	
T06	ø3	Vrták spirálový krátký		7	—	0,13	8488	80		1,103	
T07	ø12	NC navrtávák		7	—	0,35	1592	50-70	60	0,557	
T08	M6	Strojní závitník		—			597	10-20	15	1	
T09	M8	Strojní závitník		—			796	10-20	15	1,25	

Č. – číslo nástroje

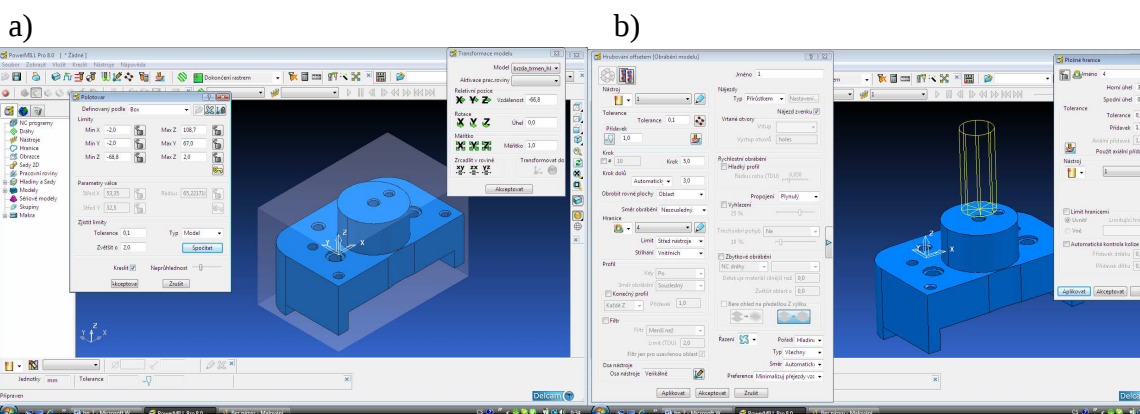
3.8 Tvorba programu v aplikaci PowerMILL

NC program bude vytvořen v prostředí softwaru PowerMILL od firmy Delcam. Jedná se o vysoce kvalitní software určený zejména pro frézování tvarových ploch tříosými, čtyřosými i pětiosými strategiemi.

3.8.1 Ukázka základních funkcí programu PowerMILL

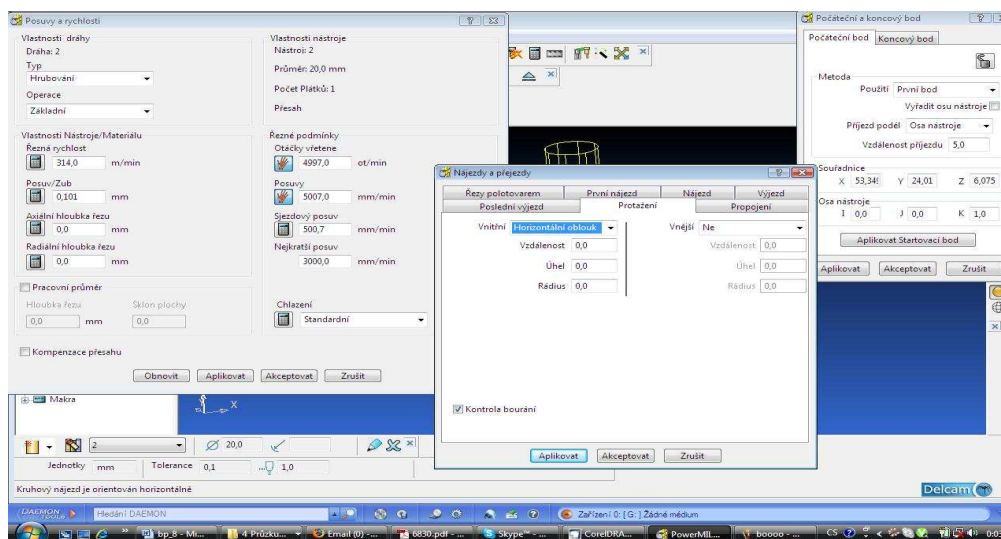
Jako ukázka práce v programu PowerMILL poslouží jedna z nejvyužívanějších hrubovacích strategií – „Hrubování offsetem“. Nejprve je nutné zvolit velikost polotovaru. Je možné zapsat minimální a maximální rozměry polotovaru přímo do dialogového okna „Polotovaz“ nebo si nechat spočítat polotovaz pomocí funkce Spočítat a zvolit libovolný přídavek, který se rovnoměrně rozloží po všech plochách (obr.a). Funkce „Transformace modelu“ polohuje model vůči nulovému bodu (obr.a).

Pro správnou funkci „Hrubování offsetem“ musí být zvolen vhodný nástroj a hranice. Použitím plošné hranice bude zamezeno frézovat plochy pod hranicí. Bude tedy obrobena jen požadovaná horní plocha (obr. b).



Obr. 3.4 a) volba polotovaru, b) nastavení hrubovací strategie

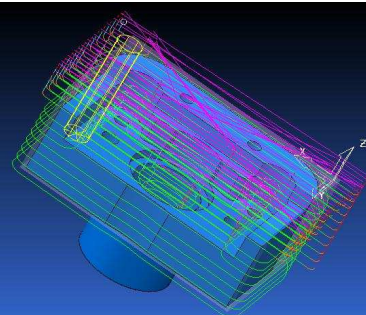
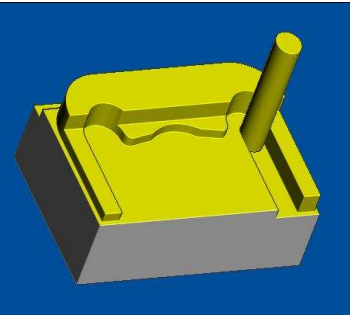
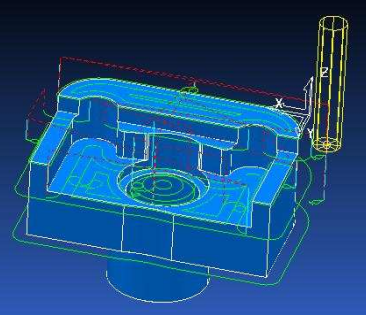
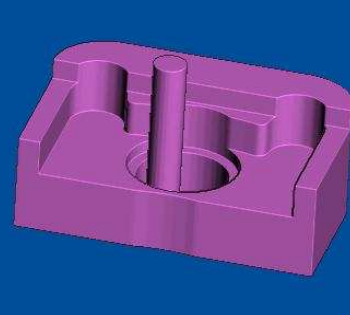
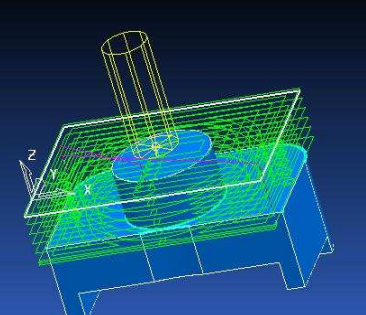
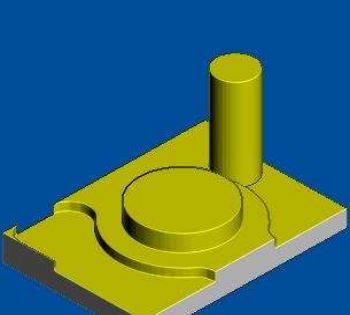
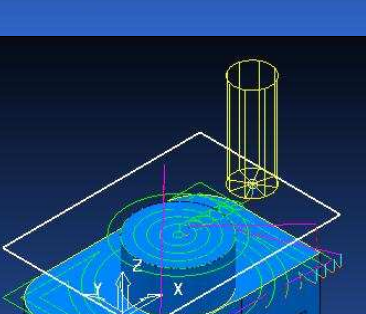
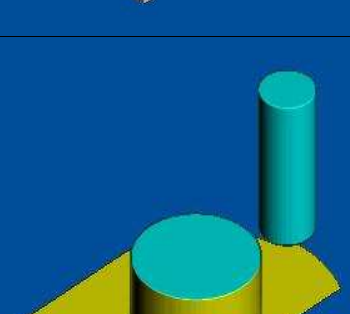
Optimalizace dráhy nástroje je možná prostřednictvím panelů „Počáteční a koncový bod“ (obr a), „Nájezdy a přejezdy“ (obr a), „Posuvy a rychlosti“ (obr a).



Obr. 3.5 a) možnosti optimalizace vygenerovaných drah.

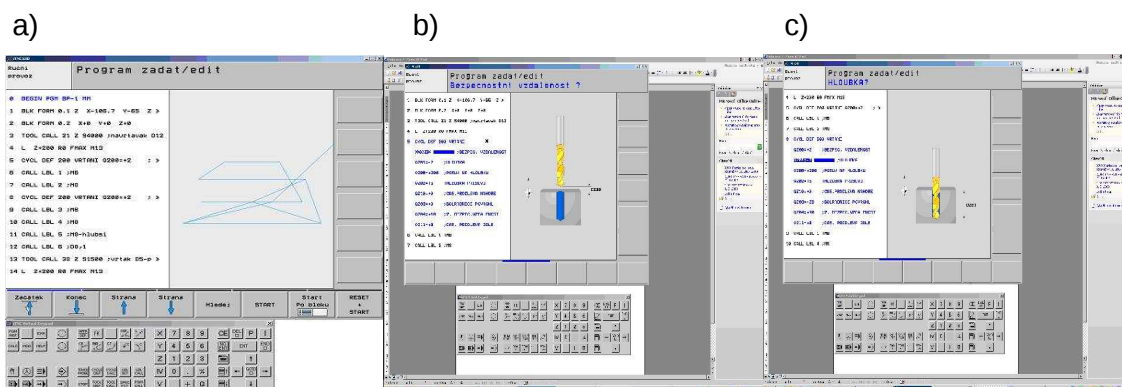
3.8.2 Simulace výroby zadané součásti v aplikaci PowerMILL

Tab.3.6 Tabulka simulované výroby.

Popis operace	Dráhy nástroje	Ukázka simulace
Výrobní čas		
1. upnutí		
Hrubování horní strany		
T02 dokončovací fréza HSS-E Co 8, dlouhá-(Ti 100 XL)		
$n = 8329 \text{ min}^{-1}$ $v_f = 2,2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 5 \text{ mm}$		
11:51 min		
Dokončení horní strany		
T02 dokončovací fréza HSS-E Co 8, dlouhá-(Ti 100 XL)		
$n = 8329 \text{ min}^{-1}$ $v_f = 5,047 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 0,3 \text{ mm}$		
1:52 min		
2. upnutí		
Hrubování dolní strany		
T01 dokončovací fréza HSS-E Co 8, krátká-(Ti 100 XL)		
$n = 4997 \text{ min}^{-1}$ $v_f = 2,3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 8 \text{ mm}$		
2:09 min		
Dokončení dolní strany		
T01 dokončovací fréza HSS-E Co 8, krátká-(Ti 100 XL)		
$n = 4997 \text{ min}^{-1}$ $v_f = 5,007 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 0,3 \text{ mm}$		
0:52 min		

3.8.3 Programování operace vrtání a řezání závitu v programu iTNC

Vrtání je poměrně jednoduchá operace, při které není nutné využívat CAD/CAM aplikaci PowerMILL. Především pro menší provozy není příliš vhodný vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům. Jako alternativní levnější variantou by mohl být program iTNC od firmy Haidenheim. Ta poskytuje tento program zdarma do 100 bloků. Jako ukázka byly naprogramovány operace vrtání a řezání závitů s využitím programu iTNC.



Obr. 3.4 Ukázka programování v programu iTNC, a) dráhy nástroje, b),c)ukázka vrtacího cyklu,

Zjištěný čas simulací pro operace vrtání a řezání závitů je 5:06 min. Simulací řídicího programu byl zjištěn celkový výrobní čas 21 min a 50 s.

4 TECHNOLOGICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Představuje zhodnocení výrobního postupu z hlediska zvolené technologie obráběním a jeho následným oceněním.

4.1 Zhodnocení výroby

Celkový výrobní čas potřebný na výrobu jedné součásti byl vypočítán na 21 min a 50 s. Ve srovnání s výrobním a přípravným časem je čas výroby součásti pro kusovou výrobu zanedbatelný. Řídící NC program byl ověřen simulací v aplikaci PowerMILL, kde byly také vyhodnoceny řezné pohyby nástroje, nájezdy a přejezdy nástroje jako bezpečné bez kolizí.

4.2 Výpočet nákladů

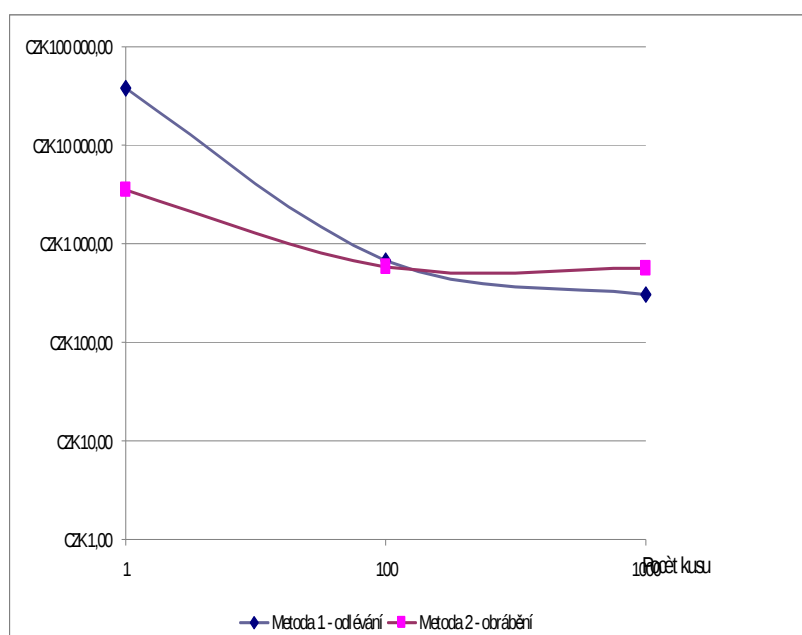
Výpočet nákladů na jeden kus je již proveden v kapitole 2.1.2. Mezi náklady lze započítat také cenu použitého softwaru a cenu nástrojů. Ovšem tyto náklady nelze přímo započítat do ceny součásti. Figurují spíše jako informativní. Jejich cena je rozložena v hodinové sazbě výroby. Při návrhu postupu výroby byly použity softwary Autodesk Inventor professional 2008 a PowerMILL. Jejich pořizovací cena se pohybuje kolem 700 000 Kč. Celková cena použitých nástrojů činí 6981 Kč.

Tab.3.3 Tabulka ceny nástrojů²⁷.

Nástroj:	D [mm]	cena[Kč]
Dokončovací fréza HSS-E Co 8,krátká-(Ti 100 XL)	Ø20	2 761 Kč
Dokončovací fréza HSS-E Co 8,dlouhá-(Ti 100 XL)	Ø12	1 520 Kč
Vrták spirálový, DIN 340, HSS dlouhý	Ø8,1	375 Kč
Vrták spirálový, DIN 340, HSS dlouhý	Ø6,8	316 Kč
Vrták spirálový, DIN 340, HSS dlouhý	Ø5	153 Kč
Vrták spirálový, DIN 340, HSS krátký	Ø3	50 Kč
NC navrtávák, HSS NC-A	Ø12	451 Kč
Strojní závitník M NW HSS-E	M6	627 Kč
Strojní závitník M NW HSS-E	M8	728 Kč
Celková cena použitých nástrojů		6981 Kč

4.3 Srovnání

Z obr 3.5 vyplývá, že oblast výroby zadané součásti do 100 kusů je levnější při obrábění. Od sta kusů výše je sice cena obrobků vyšší, ale stále je výhodnější použít obrábění vzhledem k jeho vyšší přesnosti. Metoda 1(odlévání) není příliš vhodná pro výrobu zadané součásti třmene kotoučové brzdy, která je tvarově jednoduchá a tolerována. Při výrobě nad 1 000 ks už by bylo výhodnější aplikovat postup výroby metodou 2 (odléváním).



Obr. 3.5 Graf srovnání nákladů při výrobě metodou 1 a 2 vzhledem k sériovosti. (Vstupní hodnoty grafu jsou přebrány z tabulky 2.2 a 2.4.)

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zhotovit návrh postupu a technologie výroby zadané součásti za využití moderních technologií. Zadanými součástmi jsou hlavního a vedlejšího třmen kotoučové brzdy. V úvodu práce byly představeny možná řešení výroby. Aplikací hodnotové tabulky byl zvolen způsob výroby obráběním (metoda 2).

Technologie odlévání do vytavitelného modelu za využití aplikace Rapid Prototyping (metoda 2) není vhodná pro dané podmínky kusové výroby. Aplikace této technologie nevhodnější pro vyšší sériovost výroby, kde se náklady na výrobu vytavitelného modelu a formy rozpočítají do více kusů. Tato technologie je vhodná pro tvarově složité součásti a tam kde není nutné obrábět funkční či dosedací plochy. Jako alternativní možnost využití aplikace Rapid Prototyping pro kusovou výrobu se nabízí metoda Z post. Tato technologie umožní výrobu odlévací formy přímo na 3D tiskárně. Forma je pouze na jedno použití.

Technologie obráběním je i přes poměrně drahou kusovou výrobu 3 558 Kč asi desetkrát levnější než výroba jednoho kusu metodou 1 (odléváním). Umožňuje výrobu celé součásti jednou technologií. Tento postup nevyžaduje další povrchové úpravy.

Vzhledem k tvarové jednoduchosti dílce a charakteru kusové výroby byl zvolen stroj FV CNC A. Při aplikaci výrobního postupu pro větší série je také vhodné optimalizovat výrobní proces použitím výkonnějšího stroje např. obráběcího centra, které by umožnilo aplikaci vyšších řezných podmínek, výkonnějších nástrojů (např. SK) a 3D měřících sond. Tímto postupem dojde k výraznému snížení přípravného, seřizovacího i výrobního času a tím také ke snížení konečné ceny obrobku. Příklad úspor zavedením 3D měřících sond je uveden v příloze 8.

Správnost vypracovaného postupu byla ověřena simulací v prostředí softwaru PowerMILL. Operace vrtání a řezání závitů byly naprogramovány v aplikaci iTNC 530 od firmy Heidenhain jako ukázka levnějšího a jednoduššího způsobu programování.

Vzhledem k problémům ze strany dodavatele nebylo možné splnit výrobu zadaných součástí v řádném termínu. Návrh postupu výroby je připraven k realizaci s plně funkčním NC programem (viz příloha 4).

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *NC Programmierung und Flexible Automatisierung*. Technische Universität in Graz, Institut für Fertigungstechnik. Hochschülerschaft an der TU Graz, 1993. 111 s.
2. KOPŘIVA. *Počítačová podpora technologie*. [online]. [cit. 10. březen 2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/pocitacova_podpora_techologie__kopriva.pdf>.
3. KOČMAN. *Speciální technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 227 s. ISBN 80-214-2562-8
4. PROKOP, KOČMAN. *Technologie obrábění*. Vysoké učení v Brně Fakulta strojního inženýrství. Akademické nakladatelství Cerm s.r.o. Brno, prosinec 2005, vydání druhé. 270 s.
5. *Aplikace technologií Rapid Prototyping*. [online]. [cit. 21. března 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/aplikace-technologie-rapid-prototyping>>.
6. *Technologie Rapid Prototypingu*. [online]. [cit. 21. března 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-rapid-prototypingu>>.
7. *Rapidprototyping*. [online]. [cit. 21. března 2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://rapidprototyping.cz/rapid_kov.html>.
8. SCHMID. *Moderne Produktionstechniken im Automobilbau*. Technische Universität in Graz, Institut für Fertigungstechnik. Hochschülerschaft an der TU Graz, 2007. 311 s.
10. *Progresivní moderní technologie*. [online]. [cit. 15. dubna 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://esf.fme.vutbr.cz/?page=aktivita&aktivita=7>>.
11. MACHÁČEK. *Novinky v pětiokém HSC frézování*. [online]. [cit. 25. dubna 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/novinky-v-petiosem-hsc-frezovani>>.
13. SYŘIŠTĚ, SKOPEČEK, KAPINUS. *Reverzní inženýrství, digitalizace a výroba forem* [online]. [cit. 10. května 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/reverzni-inzenyrstvi-digitalizace-a-vyroba-forem>>.
14. *Prototipazione rapida*. [online]. [cit. 23. května 2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://it.wikipedia.org/wiki/Prototipazione_rapida>.
15. *Kotoučová brzda*. [online]. [cit. 13. března 2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kotou%C4%8Dov%C3%A11_brzda>.

16. Frank. *Fertigungstechnik*. Technische Universität in Graz, Institut für Fertigungstechnik. Hochschülerschaft an der TU Graz, 149 s.
17. ALFUN. *Hliníkové desky*. [online]. [cit. 14. dubna 2009]. Dostupné na World Wide Web: <velkoobchody.cz/product_print.php?id=2178&print=1>.
18. PROTOCOM. [online]. [cit. 12. května 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.protocom.cz/>>.
19. FOŘT, MIKŠÍK, NOVÁK. *Když se řekne PLM*. [online]. [cit. 24. května 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.designtech.cz/c/plm/kdyz-se-rekne-plm.htm>>.
20. WNT. Katalog 2008. [online]. [cit. 20. května 2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.wnt.com/servis_ke_stazeni_CSY_HTML.htm>.
21. *High Performance Cutting*. [online]. [cit. 22. května 2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://de.wikipedia.org/wiki/High_Performance_Cutting>.
22. SVOBODA, BRANDEJS, PROKEŠ. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení 1. vyd.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 223 s.
23. ŘASA, KEREČANINOVÁ. *Nekonvenční metody obrábění 10. díl*. [online]. [cit. 23. května 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-10-dil>>.
24. KÖNIG, KLOCKE: *Fertigungsverfahren 3, Abtragen und Generieren*. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg 1997, ISBN 3-540-63201-8, 240 s.

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a	[g]	zrychlení
a _p	[mm]	hloubka řezu
b	[mm]	šířka
D	[mm]	průměr
E	[MPa]	modul pružnosti
F	[-]	korekční faktor
f	[mm]	posuv na otáčku
f _z	[mm]	posuv na zub
G	[MS.m ⁻¹]	elektrická vodivost
h	[mm]	výška
k _m	[%]	stupeň využití materiálu
l	[mm]	délka
n	[min ⁻¹]	počet otáček
N _m	[kg]	norma spotřeby materiálu
P	[kW]	výkon
Ra	[μm]	střední aritmetická úchylka povrchu
v	[m.s ⁻¹]	rychlost
v _c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v _f	[m.min ⁻¹]	posunová rychlost
V _o	[mm] ³	objem obrobku
V _p	[mm] ³	objem polotovaru
z	[-]	počet zubů
γ	[K ⁻¹]	koeficient tepelné roztažnosti
λ	[W.mK ⁻¹]	tepelná vodivost
ρ	[Kg.dm ⁻³]	hustota
CAA	[-]	Computer Aided Assembling
CAD	[-]	Computer Aided Design
CAE	[-]	Computer Aided Engineering
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing
CAP	[-]	Computer Aided Planning
CAQ	[-]	Computer Aided Quality Assurance
CAR	[-]	Computer Aided Robotics
CIM	[-]	Computer Integrated Manufacturing
CNC	[-]	Computer Numeric Control
DNC	[-]	Direkt Numerical Control
FDM	[-]	Fused Deposition Modeling
HFM	[-]	High Feed Machining
HPC	[-]	High performance Cutting
HSC	[-]	High Speed Cutting
HSM	[-]	High Speed Machining
MJM	[-]	Multi-Jet Modeling
NBO	[-]	nulový bod obrobku
NC	[-]	numeric control
RB	[-]	referenční bod
RE	[-]	reverzní inženýrství

RO	[-]	Rychlořezná ocel
RP	[-]	Rapid Prototyping
ŘS	[-]	řídící systém
SK	[-]	slinutý karbid
SLS	[-]	Selective Laser Sintering
STL	[-]	Stereolithography

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkresy
Příloha 2	NC program
Příloha 3	Stroj RP
Příloha 4	Stroj CNC fréza
Příloha 5	Výpočty
Příloha 6	Cenový odhad metody odlévání
Příloha 7	Tolerance odlitků
Příloha 8	Úspora náklady aplikací 3D sond

