



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

TECHNOLOGIE VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI

ON THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF A SPECIFIC PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Adam Kalina

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Adam Kalina

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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

Technologie výroby zadané součásti

v anglickém jazyce:

On the production technology of a specific part

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracování CNC technologie obrábění součásti zadního madla pro speciální přístroj. Posouzení technologičnosti konstrukce, zpracování CNC programu v SolidCAMu, výběr řezných nástrojů, optimalizace výroby.

Cíle diplomové práce:

Úvod

1. Teoretický rozbor problému obrábění vybrané součásti na CNC stroji
2. Navržené varianty řešení
3. Experimentální ověření
4. Diskuze výsledků
5. Závěry

Seznam odborné literatury:

- Dornfeld David, Lee Dae-Eun. Precision Manufacturing. Berkeley, California, 2008. ISBN 978-0-387-32467-8. [cit. 20. listopadu 2011]. Dostupné na World WideWeb: <<http://www.scribd.com/doc/47415310/Precision-Manufacturing-2008-Edition>>
- DUDZINSKI, D., SCHULTY, H. Metal Cutting and High Speed Machining. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2001, 1st. ed., pp. 490, ISBN 0-306-46725-9.
- KRUTH, J.P., LAUWERS, B., DOTREMONT, J., DEJONGHE, P. Optimised NC-toolpath generation for 5-axis machining of complex surfaces. Machining impossible shapes. Kluwer Academic Publishers, 1999, pp. 343-350, ISBN 0-412-84680-2.
- MATTSON, Mike. CNC programming: principles and applications. Albany: Delmar, 2002, 358 s. ISBN 0766818888.
- HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha. MM publishing s. r.o. 2008. ISBN 978-80-254-2250-2. Interaktivní studijní text v angličtině
<http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/ust/obrCNC/Fundamentals%20of%20CNC%20Machining.pdf>

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 9.12.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem nové technologie výroby zadané součásti ve strojírenské firmě. Zadaná součást se vyrábí na obráběcím centru metodou frézování. K vytvoření modelu součásti byl použit program SolidWorks a k vytvoření CNC programu byl použit program SolidCAM. Je zde vytvořen výrobní postup nové a staré technologie. V závěru je uvedeno srovnání obou technologií.

Klíčová slova

CAD/CAM systém, CNC, přípravek, výrobní postup

ABSTRACT

This document describes the design of new production technology specific part in an engineering company. The specific part is manufactured on a machining center by milling method. To create model was used SolidWorks software and to create CNC program was used SolidCAM program. There is production process created with new and old technologies. There is a comparison of both technologies in conclusion.

Key words

CAD/CAM system, CNC, preparation, production process

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KALINA, A. *Technologie výroby zadané součásti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 69 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

PROHLÁŠENÍ

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

.....
Datum

Bc. Adam Kalina

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Rád bych také poděkoval panu Miroslavu Kuttnerovi z firmy STARTECH spol. s r.o. za předané zkušenosti a poskytnutí velmi cenných rad z praxe.

Děkuji firmě STARTECH spol. s r.o. za poskytnutí dokumentace a možnost ověření v praxi.

Velmi rád bych chtěl také poděkovat své rodině, která mně vytvořila podmínky pro studium a vždy mě podporovala.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 CNC OBRÁBĚCÍ STROJ	10
1.1 Výhody CNC strojů	10
1.2 Nevýhody CNC strojů	10
1.3 Schéma CNC stroje	11
1.4 Postprocesor	12
1.5 Souřadný systém CNC strojů	12
1.5.1 Kartézský souřadný systém	12
1.6 Způsoby programování	13
1.6.1 Programování konturové	13
1.6.2 Programování dílenské	13
1.7 CAD/CAM	14
1.8 CAD/CAM programování	14
1.9 SolidCAM technologie programování	15
1.9.1 Technologie HSR	15
1.9.2 Technologie HSM	15
1.10 Posouzení technologičnosti konstrukce	16
2 STÁVAJÍCÍ STAV	17
2.1 Stroj	17
2.2 Materiál	18
2.3 Součást madlo	19
2.4 Polotovar	19
2.5 Způsob upnutí	21
2.6 Upnutí nástrojů	21
2.7 Použité nástroje	22
2.8 Postup stávající výroby	30
2.9 Výroba součásti stávající technologií	31
3 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE	37
3.1 Polotovar	37
3.2 Upnutí obrobku	37

3.3 Použité SolidCAM technologie	38
3.4 Nástroje	40
3.4 Postup výroby přípravku	44
3.5 Postup výroby součásti	47
4 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ	58
4.1 Výroba na stroji	58
5 DISKUZE VÝSLEDKŮ	61
ZÁVĚR	62
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	63
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	67
SEZNAM PŘÍLOH	69

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá technologií výroby součásti Zadního madla určeného pro speciální přístroj. Součást je vyrobena z hliníkové slitiny EN AW 6082. Daná součást byla vybrána ve spolupráci s firmou STARTECH spol. s r.o. zabývající se přesným obráběním s použitím progresivních CNC technologií.

Tato práce se zabývá vývojem nových technologií a zefektivňování výrobních procesů za použití nejmodernějších výrobních prostředků. Jedná se o moderní 5ti-osá obráběcí centra. Použití moderních obráběcích nástrojů jako jsou vysokorychlostní plátkové frézy a monolitní frézy ze slinutých karbidů. Tyto frézy umožňují použití vysokých řezných podmínek při požadavku velmi přesných tolerancí.

Cílem této práce je rozbor a posouzení stávající technologie výroby Zadního madla a vypracování nové technologie s cílem zefektivnění výroby celého výrobního procesu od přípravy až po finální dokončení. Zefektivněním výroby je myšleno snížení výrobních nákladů, což umožňuje zvýšení zisku, nebo zlevnění výrobku z důvodu větší konkurence na trhu.

Při tvorbě nové technologie byl využit program SolidWork, ve kterém byl dle výkresové dokumentace vytvořen model součásti a také model přípravku pro upnutí součásti ve stroji.

Pro výrobu součásti i přípravku byl použit program SolidCAM, ve kterém byla zpracována technologie při použití novějších metod obrábění jako jsou metody vysokorychlostního hrubování a vysokorychlostní obrábění ploch.

1 CNC OBRÁBĚCÍ STROJ

Číslicově řízené výrobní stroje (CNC) jsou stroje, kde ovládání pracovních funkcí stroje provádí řídicí systémem pomocí zhotoveného programu. Informace o činnostech se do programu zapisují pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je sestaven z bloků (řádky programu). Bloky jsou sestaveny ze slov (např. G90, M04), které jsou složena z adresné části (písmene) a významové části (číslíce). Program může být zaznamenán na nosiče informací, jako je děrná páska, disketa, flash disk nebo hard disk. Poté jsou informace přeneseny do čtecího zařízení stroje. V tomto zařízení jsou informace převedeny na elektrické impulsy nebo na jiné vstupní veličiny, které ovládají servopohony a ostatní zařízení pro správný chod stroje a průběh výroby součásti [1,2].

1.1 Výhody CNC strojů

Nižší čas přípravy - Čas mezi přijetím návrhu technologem a začátkem produkce na stroji včetně času potřebného k plánování, návrhu, výroby přípravku atd. se nazývá čas přípravy [3].

Eliminace chyb operátora - Stroj je ovládán programem, který je uložený v paměti počítače. Pokud je program správně naprogramován a zkontrolován, neměli by se v procesu vyskytnout žádné závady. Únava, nuda, nebo nepozornost operátora neovlivní kvalitu nebo dobu výroby na stroji [3].

Činnosti operátora - Operátor je osvobozen od úkolů, které za něj provádí stroj a může se věnovat jiným důležitým činnostem obsluhy stroje. Jako jsou chystání nástrojů, přípravování komponent a plánování dalších prací, které budou realizovány na stroji. V průběhu obrábění provádí kontrolu rozměrů dle výkresové dokumentace a dle potřeby upravuje korekce nástrojů. Na CNC strojích s dvěma výměnnými paletami lze na jedné paletě obrábět a na druhé chystat další operace nebo jiné práce, které nemusí být identické. Operátor také může obsluhovat více než jeden stroj najednou [3].

Flexibilita změny návrhu obrobku - Různé modifikace nebo změny návrhu obrobku jsou jednodušeji proveditelné pouhým přeprogramováním jednotlivých částí obrobku [3].

Menší počet neshodných kusů - Chyby operátora jsou eliminovány a program řídí stroj. Nicméně nastavení korekce nástrojů při některých operacích je nutné stále ověřovat, aby se dosáhlo požadovaných rozměrů. Programy kontrolují optimální podmínky obrábění, ale pořád je zde riziko poškození nástroje a následné výroby špatného obrobku [3].

1.2 Nevýhody CNC strojů

Vyšší investiční náklady - Z důvodu složitější technologie konstrukce a zařízení CNC stroje je cena vyšší než u konvenčních a NC strojů. Také vyšší nároky na nástroje a různé speciální nástroje zvyšují cenu. Nástroje jsou při obrábění využívány progresivněji a zvyšují se náklady. Kvůli vyšší pořizovací ceně jde nutné

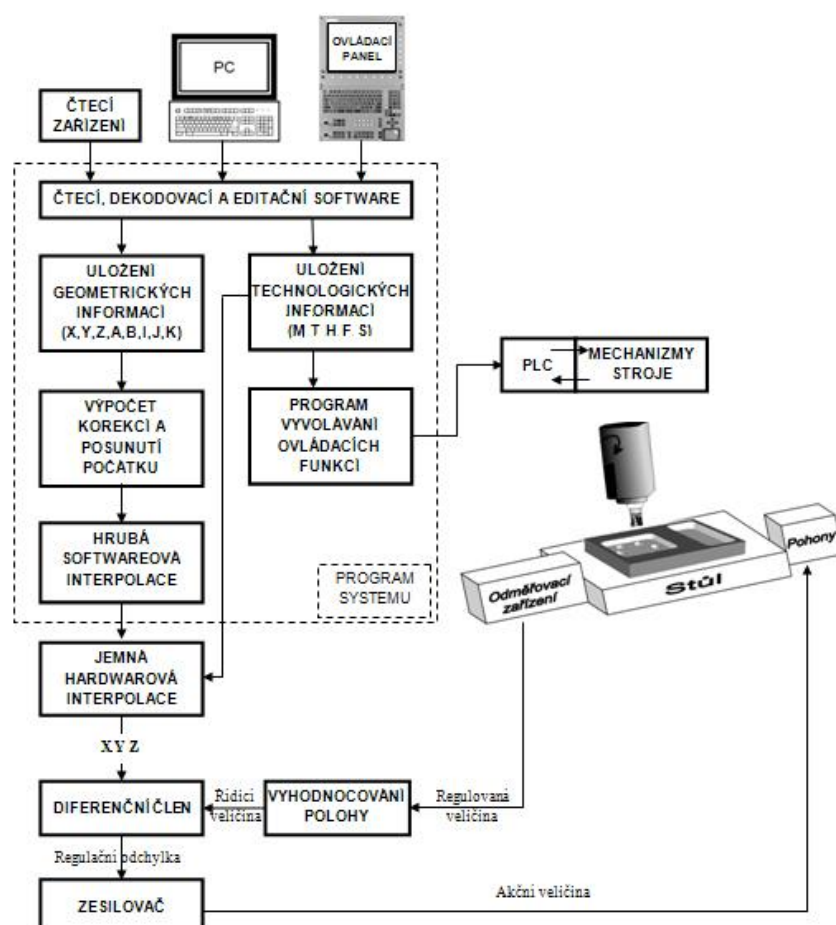
větší využití strojů z důvodů návratnosti investice. Stroje musí vyrábět na dvě nebo tři směny, aby se dosáhlo jejich vysokého využití [3].

Vyšší náklady na údržbu - Z důvodu většího a progresivnějšího využití strojů častěji dochází k problémům spojené s údržbou stroje.

Dražší obsluha stroje - Některé práce na stroji vyžadují větší požadavky na kvalifikace pracovníků. Obsluha stroje a programování na stroji jsou různé oblasti, na které jsou potřeba různé kvalifikace.

1.3 Schéma CNC stroje

Schéma struktury řídicího systému je znázorněno na obrázku 1.1.



Obr.1.1 Blokové schéma CNC řídicího systému [2].

Počítač - průmyslový počítač, ve kterém je nahrán řídicí systém daného CNC stroje.

Čtecí zařízení - jde o rozhraní pro nahrání nebo stažení programu (USB, LAN).

Ovládací panel - zařízení pro zadávání příkazů k ruční obsluze, seřízení a vytvoření programu pro CNC stroj.

Dekódovací člen - přeměňuje signál z číslicového kódu na vstupní signály pro servopohony stroje. Obsahuje kontrolní obvody, které kontrolují správnost čtecích znaků.

Program - informace obsažené v souboru, které řídí celý řezný proces a části stroje při výrobě.

Interpolátor - vypočítává jakou dráhu nástroj skutečně vykoná. Dráha je závislá na geometrii, tvaru obrobené plochy, délkových a poloměrových korekcích nástroje. Generuje pro každou osu její okamžitou žádanou polohu nástroje tím, že vysílá inkrementy (přírůstky) dráhy. Inkrement je většinou $1\mu\text{m}$ ($0,001\text{ mm}$).

PLC část - představuje ji výkonný počítač obsahující 64 binárních vstupů a výstupů. PLC řídí přímo krokové servopohony. Zpracovává signál z ručního ovládání nebo z dotykové sondy.

Odměřovací zařízení - slouží k odměřování dráhy vykonané nástrojem, může mít vliv na přesnost stroje. U CNC strojů se využívá číslicové odměřovací systémy.

Pohony os - obvykle to jsou krokové motory, které mají zpětnou vazbu.

Pohon vřetene - je obvykle asynchronní třífázový elektromotor, který je řízený pomocí frekvenčního měniče napojeného přímo na PLC část [2].

1.4 Postprocesor

Většina CAM systémů generuje jeden nebo více typů neutrálních jazykových souborů obsahující instrukce pro CNC stroje. Tyto soubory jsou buď v binární formě zvané CLDATA nebo jako ASCII formát. Některé CAM systémy poskytují velkou míru flexibility, která umožňuje mít téměř cokoliv v neutrálním souboru. Ostatní CAM systémy jsou striktní v tom co může a nemůže být v souboru zahrnuto. Na druhé straně řetězce je NC stroj řízen způsobem, který vyhovuje dílenským kritériím, které jsou založeny především na bezpečnosti a efektivitě. Mezi těmito dvěma konci se nachází postprocesor. Postprocesor je software zodpovědný za překládání instrukcí z CAM systému na specifické instrukce, které zpracovává NC stroj. Tento software odpovídá jedinečným požadavkům a omezení CAM systému, NC stroje a výrobních podmínek [10].

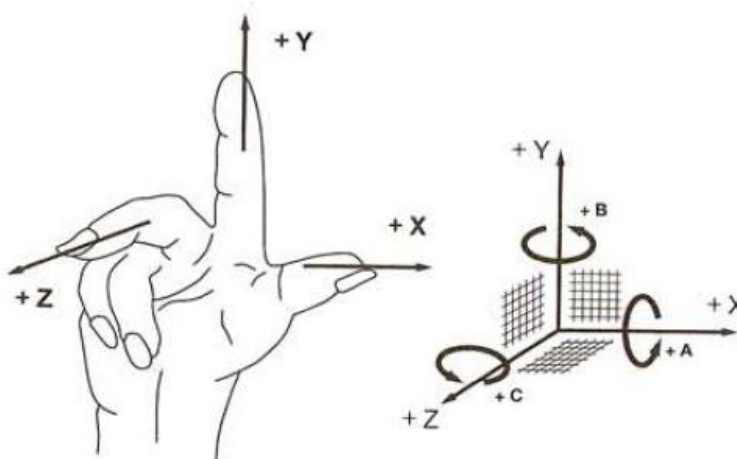
1.5 Souřadný systém CNC strojů

Pro správné určení orientace obrobku či nástroje v prostoru slouží souřadné systémy. Zadáním souřadnic do daného souřadného systému je naváděn nástroj (obrobek) do bodu v prostoru. Musí se jednoznačně určit souřadné osy v pracovním prostoru stroje. Pro lepší orientaci při programování CNC strojů jsou zavedena pravidla pro označování os v souřadných systémech obráběcích strojů [2].

1.5.1 Kartézský souřadný systém

Je takový souřadný systém, ve kterém jsou souřadné osy na sebe kolmé a protínají se v jednom bodě. Je to systém s pravoúhlými osami X, Y, Z. Rotační pohyby kolem os X,Y,Z se označují A, B, C jak je znázorněno na obrázku 1.2. Osa

Z je vždy rovnoběžná s osou vřetene a kladný směr je od obrobku k nástroji. Nástroj se v souřadném systému pohybuje dle zadaných příkazů z řídicího programu CNC stroje nebo dle příkazů zadaných přímo z řídicího panelu stroje. Pomocí funkcí programu lze souřadný systém posouvat v prostoru nebo ho otáčet dle potřeby programátora. Při měření korekci nástrojů je souřadný systém umístěn na špičce nástroje nebo v bodě výměny nástrojů [1].



Obr.1.2 Definování kartézských souřadnic, pravotočivá soustava [1].

1.6 Způsoby programování

Mezi nejčastější způsoby programování patří konturové programování, dílenské programování a nejnovější způsob CAD/CAM programování.

1.6.1 Programování konturové

Programátoři se často setkávají s výkresy, kde nejsou zakótované důležité body, které jsou potřeba při programování kontury nebo jiných prvků. Jde zejména o tečné body přímek, kruhové oblouky, průsečíky. Pokud jsou osy souřadnic a přímky rovnoběžné, lze chybějící body vypočítat přímo z výkresu. Pokud nejsou oblouky v celých kvadrantech a přímky s osami rovnoběžné, pak jsou výpočty náročnější. Softwarové řešení umožňuje vypočítat požadované body a přenést je do programu zadáním různých variant spojení základních elementů, které mohou být zadány bodem, úhlem, sražením, zaoblením nebo tečným spojením [1].

1.6.2 Programování dílenské

V dnešní době, kdy jsou výkonné hardware přímo na stroji se přenáší programování přímo do dílny. Kvalifikovaná obsluha v čase, kdy stroj obrábí, využívá čas k přípravě programu pro další vyráběnou součást. Programování probíhá interaktivně, při využití grafické podpory tak, že lze přímo na stroji vidět simulaci obrábění naprogramované součásti. Při připojení počítačové sítě je možno přebírat výkresy a programy, které jsou naprogramované externě [1].

1.7 CAD/CAM

Těžko si v dnešní době představíme moderní výrobní zařízení bez elektroniky a bez podpory počítačových systémů. Velký význam a samostatnou oblast implementace informačních technologií ve strojírenském průmyslu představují počítačem podporované systémy. K neznámějším a nejrozšířenějším patří počítačově podporované systémy CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing) a CAD/CAM. CAD/CAM systémy představují důležitý nástroj na zvyšování produktivity, efektivity a racionalizace práce jako zvyšování spolehlivosti a přesnosti součástek i snižování nákladů na jejich výrobu [4].

CAD představuje počítačem podporovaný návrh součástky nebo počítačovou tvorbu konstrukční dokumentace. Jde o software pro geometrické a matematické modelování součástek a jejich vlastností. Kromě grafických činností CAD systémy umožňují realizovat různé výpočty a analýzy, jako např. metodu konečných prvků. Systémy se postupně zlepšovali a umožňovali nejen zhospodárnění práce při kreslení, ale i analýzu a simulaci navrhnutých vlastností na modelech. CAD systémy jsou v současné době komplexní systémy, které slouží na návrh součástky počínaje grafickým návrhem (modelováním), vyhodnocení různých analýz a výpočtů, až pod tvorbu výkresové digitalizované dokumentace z modelu součástky a vizualizací součástky (celé sestavy) [4].

CAM je označení pro oblast výroby podporované počítačem. CAM je možno chápat jako konkrétní systém (CNC řízení a NC stroj), nebo jako určitý komplexní pohled na počítačovou podporu ve výrobě. Ze širšího hlediska je to použití počítačových systémů přímo ve výrobním procese. CAM systémy zahrnují číslícově řízené výrobní stroje, roboty, mezioperační dopravy výrobků, polotovarů, nářadí apod. [4].

1.8 CAD/CAM programování

CAD/CAM programování vyžaduje od programátora vyšší znalosti modulu CAM a znalosti obsluhy CAD. Čím vyšší má programátor znalosti, tím vyšší je kvalita výsledného programu. Při náročném programování se často vyhotoví více variant a poté se rozhoduje mezi nimi. Vybírá se program, jehož výroba je časově méně náročná a nedochází k ničení nástroje ani stroje a je zaručena požadovaná kvalita výroby. Modul CAM nabízí dialogová okna programátorovi, který vyplňuje (vybírá) možnosti dle typu činnosti. Nabídka v modulu CAM má následující body, které jsou v často v jiném pořadí v závislosti na používaném softwaru [1]:

1. Celková strategie obrábění - jak postupovat pro zhotovení dílce. Jaké operační úseky volíme a v jakém pořadí (hrubování, závitování atd.).
2. Volba nástroje (rozměry a tvar) a body výměny nástroje - Řezné podmínky pro danou strategii obrábění.
3. Podmínky vlastního obrábění (při ručním programování funkce G,M)
strategie obrábění operačního úseku pro daný nástroj
poloha obrábění ke kontuře (G41,G42)

způsob obrábění (lineárně, podél kontury atd.)

chlazení, mazání nástroje

4. Procesor automatizovaně vytvoří CL data pro simulaci programu - Provede simulaci vytvořeného programu. Ze simulace můžeme zjistit možný výskyt chyb. Nejčastěji to bývají neobrobené nebo podřezané plochy. V tomto kroku programátor doplní a opraví chyby v programu.
5. Výběr postprocesoru pro daný řídicí systém stroje.
6. Poté se automatizovaně vytvoří program pro CNC stroj v modulu CAM, který se zapíše v blocích v ISO kódu jako při ručním programování se specifikacemi daného řídicího systému. Program se uloží a poté je přenesen na určený stroj.
7. Program je nahrán do stroje v ISO kódu a může se v řídicím systému stroje dále upravovat.

1.9 SolidCAM technologie programování

Program SolidCAM je vytvořen pro programování a nabízí množství různých strategií. Program se neustále vyvíjí a doplňují se nové a nové strategie. Každým rokem je vydána nová vylepšená verze.

1.9.1 Technologie HSR

High Speed Roughing neboli vysokorychlostní hrubování je technologie, při které si CAM systém sám dle navolených parametrů jako jsou zadaná geometrie, definovaný nástroj, hranice kontury, kroku apřídavků vygeneruje dráhy nástroje.

Vysokorychlostní hrubování se dělí na [32]:

- Konturové hrubování - efektivní odstranění velkých objemů materiálu. Generuje se série řezů na dané úrovni osy Z, které odstraní maximum materiálu bez zanechávání soklů. Hloubka řezu se automaticky přizpůsobuje a tím zajišťuje obrobení rovinných ploch.
- Lineární hrubování - v každé úrovni obrábění se generuje přímková dráha nástroje. Použití pro měkké materiály a součástí s mělkými oblastmi.
- Zbytkové hrubování - využívá se aktualizovaného modelu zbývajících materiálu, aby se nástroj vyhnul obrábění naprázdno. Tento způsob se používá v oblastech, které nejsou předchozími operacemi zcela vyčištěny. Pro velké díly může být použito více operací zbytkového hrubování se zmenšujícími se velikostmi nástrojů.

1.9.2 Technologie HSM

High Speed Machining neboli vysokorychlostní frézování je technologie, při které jsou eliminovány zbytečné přejezdy a neefektivní pohyby nástroje. Nástroj je veden tak, aby prudce neměnil svůj směr a tím dochází k prodloužení jeho životnosti.

Vysokorychlostní frézování se dělí na [32]:

- Řádkování - řádkování je jednou z nejužívanější dokončovací strategií. Odebírání materiálu je rovnoběžné s rovinou XY a sleduje povrch ve směru osy Z. Lze nastavit úhel a kroky v horizontálním směru. Používá se pro dokončování zbytků materiálu po hrubování a k dokončování mělkých oblastí.
- Konstant Z - dráhy nástroje jsou v této strategii generovány pomocí sady kontur z ploch, které popisují tvar ploch na různých úrovních osy Z. Tato strategie se používá pro před-dokončování a dokončování strmých ploch.

1.10 Posouzení technologičnosti konstrukce

Výkresová dokumentace součásti je v příloze č. 1

Tvar součásti by měl být co nejjednodušší na výrobu, ale také zajišťovat správnou funkci výrobku. U zadané součásti jsou různé poloměry zaoblení hran. Tím je součást náročnější na výrobu z hlediska nutnosti použití více nástrojů než by bylo nutno při jednotném zaoblení všech hran. Nejvíce nákladné z hlediska času jsou malé vnitřní poloměry na úchytové části madla, které se musí obrábět pomocí metody řádkování nebo pracně dodělat ručně na příslušném pracovišti. Dalším problémem jsou relativně malé vnitřní poloměry u žeber, které se napojují na tělo madla. Znovu je nutné použít dlouhé nástroje s malými průměry k jejich zhotovení.

Součást je poměrně složitá z hlediska upnutí. Součást nemá mnoho ploch, které by umožňovali bezpečné upnutí do svěráku nebo sklíčidla.

Drsnost by neměla být volena větší než je nutné pro správnou funkci součásti. Na zadané součásti je zvolena zbytečně velká aritmetická úchylka povrchu na celou součást a to $Ra\ 1,6\ \mu m$.

2 STAVAJÍCÍ STAV

V této kapitole je popsána a zpracována stávající technologie výroby od popisu použitého stroje a použitých nástrojů po postup výroby součásti madla.

2.1 Stroj

Součást se vyrábí na 5 osém obráběcím centru od firmy Mazak s označením VARIAXIS 500-5X II znázorněn na obrázku 2.1. CNC stroje od firmy Mazak používají programovací jazyk mazatrol matrix, který je nejnovějším modelem a je navrhnut jako optimální systém pro obráběcí stroje nabízející různé inteligentní funkce pro zvýšení produktivity a snadné ovládání. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 2.1.



Obr. 2.1 Obráběcí centrum Variaxis 500-5X II.

Tab. 2.1 Technické parametry stroje dle [5].

Maximální průměr obrobku	500	mm
Maximální výška obrobku	350	mm
Pojezd v ose X	350	mm
Pojezd v ose Y	550	mm
Pojezd v ose Z	510	mm
Přesnost polohování (X/Y/Z)	± 2,5	μm

Naklopení stolu v ose A	-120 až +30	°
Natočení stolu v ose C	±360	°
Maximální otáčky na vřetenu	12000	min ⁻¹
Motor vřetena	22	kW
Rychlost posuvu (X/Y/Z)	60000/60000/56000	mm/min
Rychlost posuvu (A/C)	3600/9000	°/min
Kapacita zásobníku nástrojů	30	-

2.2 Materiál

Součást je vyrobena ze slitiny hliníku. Označení použité slitiny dle EN 573-3 je EN AW 6082, dle ČSN je ČSN 42 4400. Hliníková slitina EN AW 6082 patří do série slitin 6000, ve které je hlavním legujícím prvkem hořčík a křemík. Hustota slitiny je 2700 kg/m³.

Slitina hliníku EN AW 6082 se používá jako konstrukční materiál pro středně namáhané konstrukce s dobrou chemickou stálostí, dobrou tvárností, lešitelností a odolností proti korozi. Zpevňování materiálu probíhá tvářením za studena nebo tepelným zpracováním. Materiál má velmi dobrou tvařitelnost za teplot 450-500 °C. Použití pro součásti se střední pevností (R_m=300MPa) dlouhodobě pracující při teplotách +50 až -70 °C (resp. až při kryogenních teplotách). Použití na výrobky tenkostěnné, duté, tvarově složité a nýtované konstrukce. Použití na vozidla a letadla, pro jemnou mechaniku, pro potravinářský průmysl, ve stavení architektury (ojnice, rotory, nádrže nosné konstrukce) [6,8].

Chemické složení materiálu

Chemické složení je uvedeno v tabulce 2.2.

Tab. 2.2 Chemické složení (hm. %) slitiny EN AW-6082 dle [6].

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
Min.	0,7			0,4	0,7			zbytek
Max.	1,4	0,5	0,1	1	1,2	0,2	0,05	

Mechanické vlastnosti

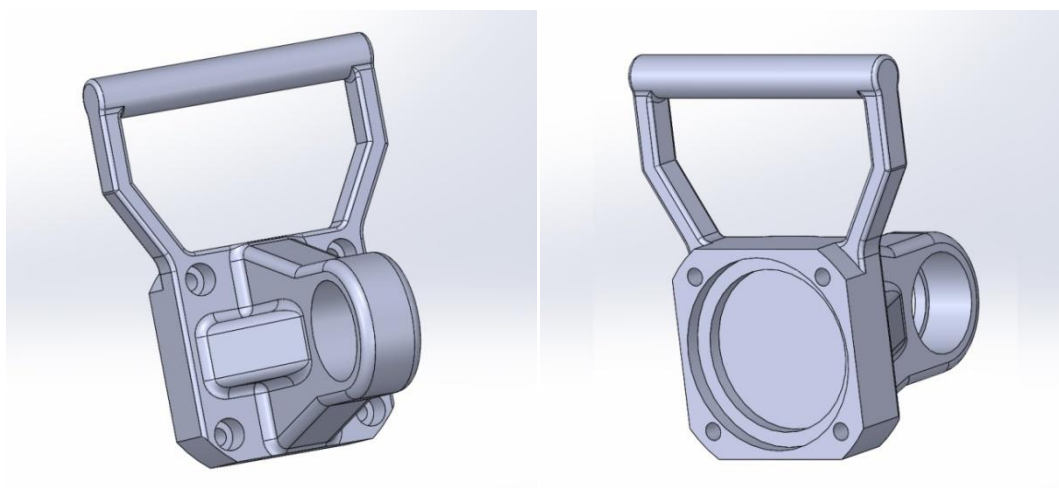
Mechanické vlastnosti slitiny jsou uvedeny v tabulce 2.3

Tab. 2.3 Mechanické vlastnosti slitiny EN AW-6082 dle [7].

Mez kluzu $R_{p0,2}$	200 - 260	MPa
Pevnost v tahu R_m	270 - 310	MPa
Tažnost A_5	6 - 8	%
Tvrdost HBW	95	2,5/62,5
Hustota	2700	kg/m ³

2.3 Součást madlo

Součást byla vymodelována v programu SolidWorks dle výkresové dokumentace a je znázorněna na obrázku 2.2. Hmotnost součásti Q_s vypočítaná programem SolidWorks je 1,32 kg.



Obr 2.2 Model součásti v programu SolidWorks.

2.4 Polotovár

Polotovár pro součást je přířez z hliníkové kruhové tyče o průměru 250 mm a délce 155 mm. Hmotnost polotovaru byla vypočtena dle rovnice (2.1).

$$Q_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h \cdot \rho \quad (2.1)$$

kde:

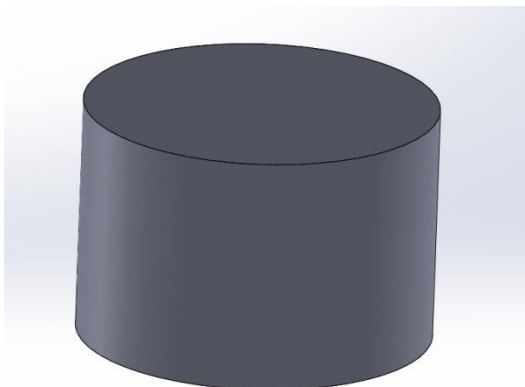
- Q_p [kg] hmotnost polotovaru
- D [m] průměr polotovaru
- h [m] výška polotovaru
- ρ [kg/m³] hustota materiálu

Dosazení, výpočet do rovnice (2.1):

$$Q_p = \frac{\pi \cdot 0,25^2}{4} \cdot 0,155 \cdot 2700$$

$$Q_p = 20,54 \text{ kg}$$

Polotovár je znázorněn na obrázku 2.3



Obr. 2.3 Model polotovaru v programu SolidWorks.

Ztráty obráběním třískami q_o , dostaneme z rozdílu hmotnosti polotovaru Q_p a hmotnosti hotové součásti Q_s [9].

$$q_o = Q_p - Q_s \quad (2.2)$$

Dosazení, výpočet do rovnice (2.2):

$$q_o = 20,54 - 1,32 = 19,22 \text{ kg}$$

Stanovení koeficientu spotřeby materiálu [9]:

$$k_m = \frac{Q_s}{N_m} \quad (2.3)$$

Dosazení, výpočet do rovnice (2.3):

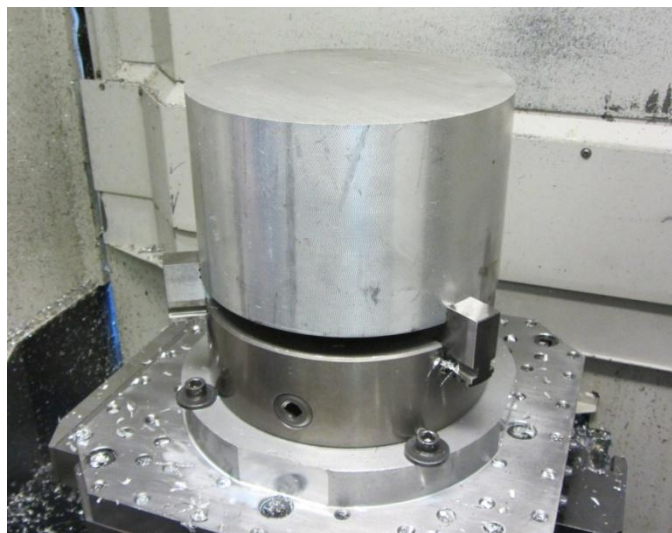
$$k_m = \frac{1,32}{20,54} = 0,064$$

Koeficient spotřeby materiálu při obrábění se pohybuje v rozsahu 0,4 až 0,8. Dle koeficientu posuzujeme celkovou pracnost výrobku, použitou technologii, ap. Pokud se koeficient blíží k nule, znamená to, že množství odebraných třísek

je velké, tedy obrábění vyžaduje velkou spotřebu pracovního času a naopak. Zvyšováním koeficientu spotřeby materiálu dosahujeme snížení pracnosti a zvyšováním produktivity práce [9].

2.5 Způsob upnutí

Polotovár byl pro první polohu upnut ve 3-čelistovém sklíčidle (250 mm) za vnější průměr obrobku. Sklíčidlo bylo upnuto na hliníkové podložce o průměru 300 mm. V podložce jsou zhotoveny 4 díry o průměru 12,5 mm, které slouží k upnutí na stůl stroje. Upnutí polotovaru je zobrazeno na obrázku 2.4.



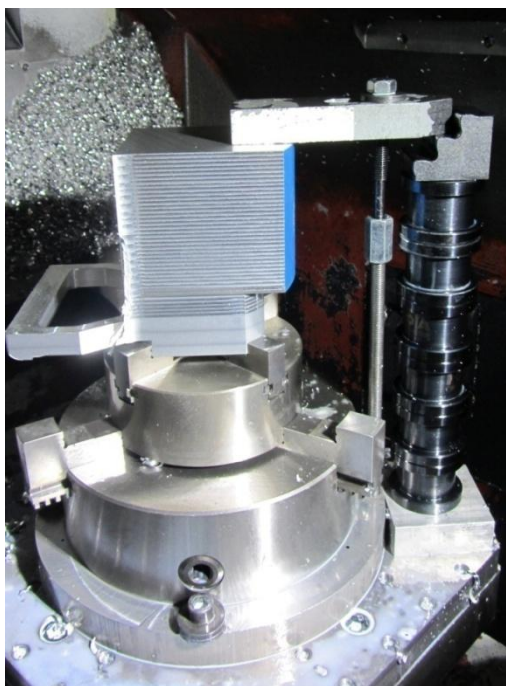
Obr. 2.4 upnutí polotovaru ve stroji.

Upnutí součásti ve druhé poloze je znázorněno na obrázku 2.5. Součást byla upnuta za obrobený průměr 120 mm (obrobený v první poloze) ve 4-čelistovém sklíčidle, které bylo upnuto ve 3-čelistovém sklíčidle na upínací desce stroje. Sklíčidlo bylo vycentrováno co nejvíce ke středu stolu, kvůli lepší dostupnosti nástrojů při naklápění stolu. Kvůli velkému rozměru polotovaru musí být polotovár zajištěn upínkou a šroubem shora, jak je znázorněno na obrázku 2.5.

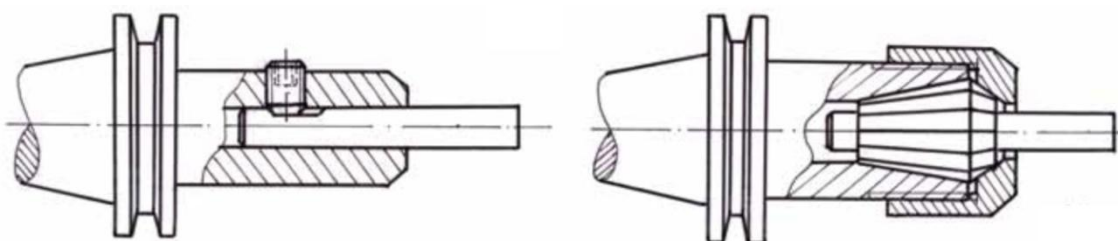
2.6 Upnutí nástrojů

Upnutí nástrojů bylo realizováno pomocí upínačů pro nástroje s válcovou stopkou typu Weldon. Schéma upínače je znázorněno na obrázku 2.6. Tyto upínače typu Weldon využívají k přenosu krouticího momentu princip upnutí pomocí šroubů, který dosedá kolmo na vyfrézovanou plochu stopky nástroje rovnoběžně s osou. Tento typ upínače má svoje výhody i nevýhody. Jednou z hlavních výhod je nízká pořizovací cena. Další výhodou je jednoduchost upnutí pomocí šroubu. Nastavit vyložení nástroje se dá pouze pomocí vyfrézované plošky na stopce nástroje, nebo zhotovení vlastní plošky tak, aby bylo dosaženo požadovaného vyložení. Nevýhodou je nutnost použití pro každý průměr stopky nástroje jiný upínač. Další nevýhodou je házivost upnutého nástroje (15-20 μm), která vychází z principu upnutí. Nástroj je odtlačován upínacím šroubem mimo osu

rotace. Kleštinové upínače mají podobnou házivost jako upínače typu Weldon. Při upnutí může dojít k zatlačení nebo vytáhnutí kleštiny a tím dojde k vychýlení od osy kuželové dutiny. Toto mírné vychýlení může způsobovat také házivost nástroje (10-20 μm). Schéma kleštinového upínače je znázorněno na obrázku 2.6 [11].



Obr. 2.5 Upnutí druhé polohy s upínkou a šroubem.



Obr. 2.6 Upínač nástroje typu Weldon (vlevo), kleštinový upínač (vpravo) [11].

2.7 Použité nástroje

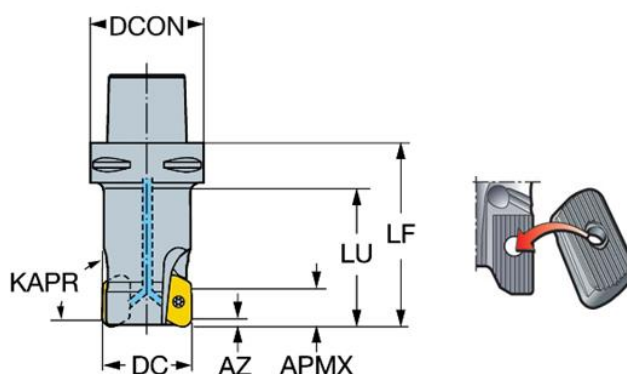
1. Čelní fréza CoroMill 790s VBD $\varnothing 36$

Tato dvoubřitá čelní fréza od firmy Sandvik je první volbou pro obrábění neželezných materiálů. Nástroj je navržen pro požadavky bezpečnosti při vysoké rychlosti a přesného obrábění [12].

Vlastnosti:

- vysokorychlostní obrábění s vysokou bezpečností,
- extrémní rychlost úběru materiálu,

- vnitřní chlazení,
- vroubkované lůžko pro usazení břitové destičky.

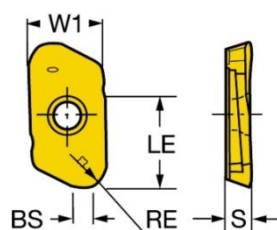


Obr. 2.7 Čelní fréza CoroMill 790 [12].

Parametry frézy čelní frézy CoroMill 790:

DCON	spojovací průměr	32 mm
APMX	maximální hloubka řezu	12 mm
AZ	maximální hloubka vnoření	2 mm
LF	funkční délka	67 mm
DC	řezný průměr	36 mm

Břítová destička: R790-160431PH-NL H13A

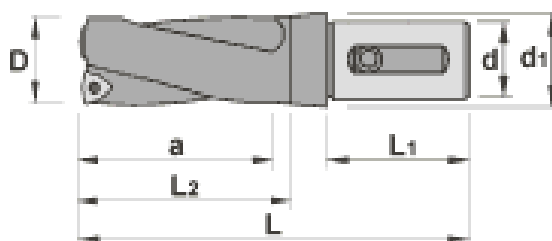


Obr. 2.8 Břítová destička R790-160431PH-NL H13A [13].

Parametry břitové destičky R790-160431PH-NL H13A:

RE	poloměr rohu	3.1 mm
BS	délka hladicího břitu	1.0 mm
S	tloušťka destičky	4 mm
W1	šířka břitové destičky	11 mm
APMX	maximální hloubka řezu	15 mm

2. Vrták s VBD 2xD ø 30

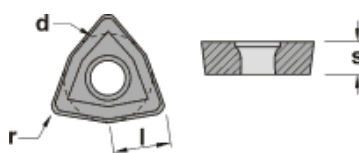


Obr. 2.9 Vrták s vyměnitelnými destičkami [14].

Tab. 2.4 Parametry nástroje dle [14].

D [mm]	L [mm]	L ₁ [mm]	L ₂ [mm]	a [mm]	d [mm]	d ₁ [mm]	z [-]
30	138	60	64	60	32	50	2

Břítová destička: WCMX 040208 ON40

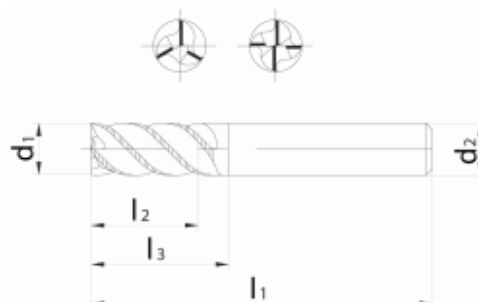


Obr. 2.10 Břítová destička WCMX 040208 ON40 [15].

Tab. 2.5 Parametry destičky dle [15].

l [mm]	s [mm]	d [mm]	r
30	138	60	0,8

3. Monolitní celokarbidová válcovací fréza, hrubovací ø 16

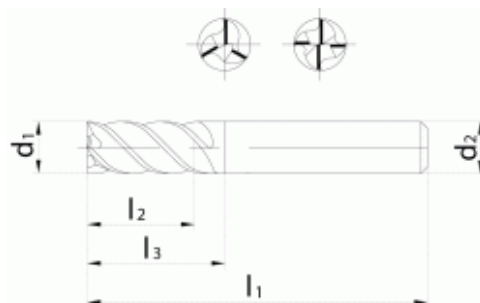


Obr. 2.11 Válcová fréza celokarbidová [16].

Materiál nástroje: Slinuté karbidy

Tab. 2.6 Parametry nástroje dle [16].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	z [-]
16	16	110	38	3

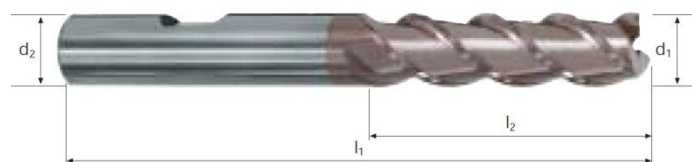
4. Monolitní celokarbidová válcovací fréza, dokončovací ø 16

Obr. 2.12 Válcová fréza celokarbidová [17].

Materiál nástroje: Slinuté karbidy

Tab. 2.7 Parametry nástroje dle [17].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	z [-]
16	16	110	38	4

5. Monolitní celokarbidová válcovací fréza, dokončovací ø 10

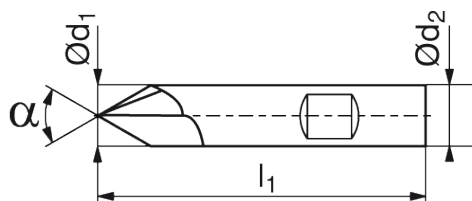
Obr. 2.13 Válcová fréza celokarbidová [18].

hrana na čele nástroje 0,2 x 45°

Tab. 2.8 Parametry nástroje dle [18].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	z [-]
10	10	84	34	3

6. Úhlová fréza ø 6

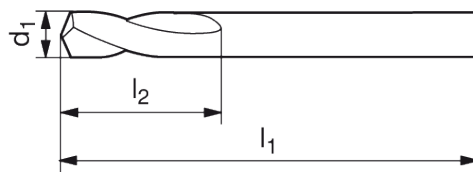


Obr. 2.14 Úhlová fréza

Tab. 2.9 Parametry nástroje dle [19].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	α [°]	z [-]
6	6	54	90	4

7. NC navrtávák ø 10



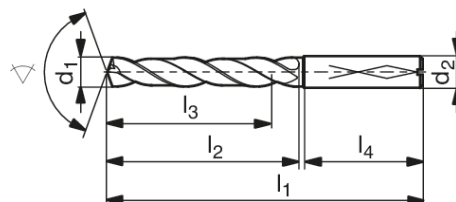
Obr. 2.15 NC navrtávák [20].

materiál nástroje: rychlořezná ocel

Tab. 2.10 Parametry nástroje dle [20].

d_1 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	ϵ [°]	z [-]	α [°]
10	89	25	90	2	90

8. Vrták ø 8,4

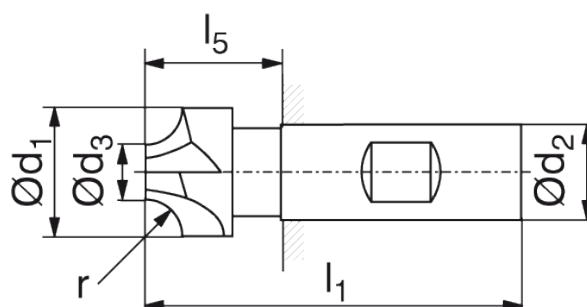


Obr. 2.16 Vrták ø8,4 [21].

materiál nástroje: slinuté karbidy, povlak TiAlN
vnitřně chlazený

Tab. 2.11 Parametry nástroje dle [21].

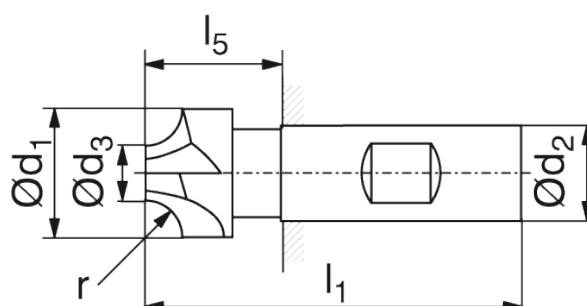
d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	l_3 [mm]	l_4 [mm]	z [-]
8,4	10	103	61	49	40	2

9. Čtvrtekruhová tvarová fréza HSS-E Co5, konkávní

Obr. 2.17 Čtvrtekruhová tvarová fréza [22].

Tab. 2.12 Parametry nástroje dle [22].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	d_3 [mm]	l_1 [mm]	l_5 [mm]	r [mm]	z [-]
27	25	8	85	29	10	4

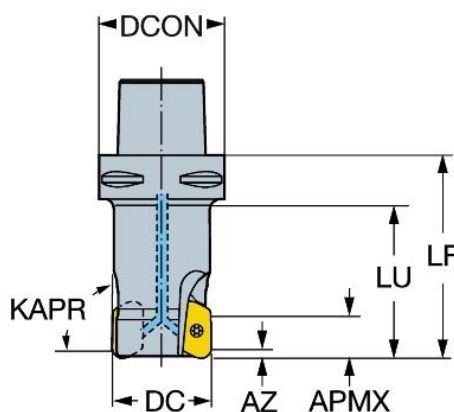
10. Čtvrtekruhová tvarová fréza HSS-E Co5, konkávní

Obr. 2.18 Čtvrtekruhová tvarová fréza [23].

Tab. 2.13 Parametry nástroje dle [23].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	d_3 [mm]	l_1 [mm]	l_5 [mm]	r [mm]	z [-]
10	10	6	60	20	2	4

11. Čelní fréza CoroMill® 790 ø 54



Obr. 2.19 Čelní fréza CoroMill 790 [12].

DCON	spojovací průměr	50 mm
DCF	dotykový řezný průměr čela	50 mm
DCX	maximální řezný průměr	54 mm
OHX	maximální vyložení	81 mm
APMX	maximální hloubka řezu	12 mm

Břítová destička stejná jako u čelní frézy CoroMill 790 ø36

12. Válcová fréza ø 16

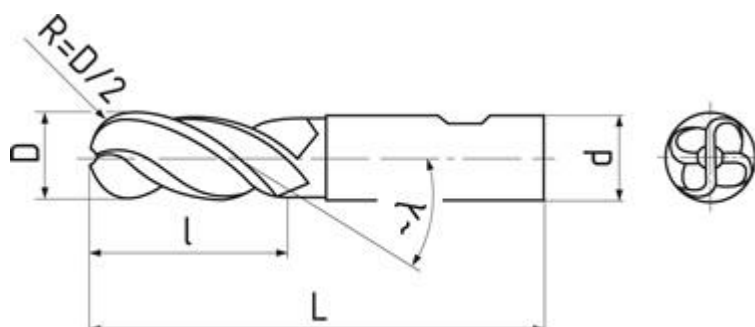


Obr. 2.20 Válcová fréza [18].

hrana na čele nástroje 0,2 x 45°

Tab. 2.14 Parametry nástroje dle [18].

d1 [mm]	d2 [mm]	l1 [mm]	l2 [mm]	z [-]
16	16	108	48	3

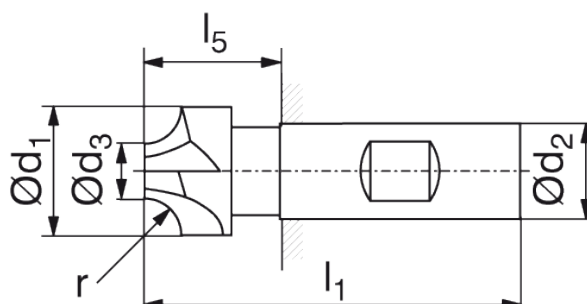
13. Stopková kopírovací fréza s kulovým čelem $\varnothing 10$ 

Obr. 2.21 Stopková kopírovací fréza s kulovým čelem [24].

materiál nástroje: rychlořezná ocel HSS Co8

Tab. 2.15 Parametry nástroje dle [24].

D [mm]	d [mm]	l [mm]	λ [°]	z [-]
10	10	45	35	4

14. Čtvrtkruhová tvarová fréza HSS-E Co5, konkávní

Obr. 2.22 Čtvrtkruhová tvarová fréza [25].

Tab. 2.16 Parametry nástroje dle [25].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	d_3 [mm]	l_1 [mm]	l_5 [mm]	r [mm]	z [-]
16	12	6	60	15	5	4

15. Válcová fréza $\varnothing 12$ 

Obr. 2.23 Válcová fréza [18].

hrana na čele nástroje 0,2 x 45°

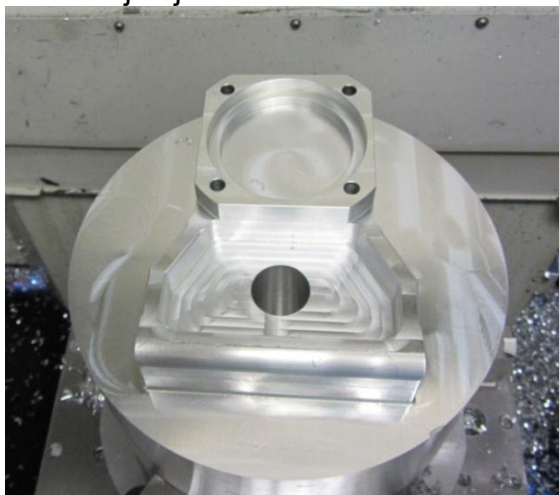
Tab. 2.17 Parametry nástroje dle [18].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	z [-]
12	12	97	40	3

2.8 Postup stávající výroby

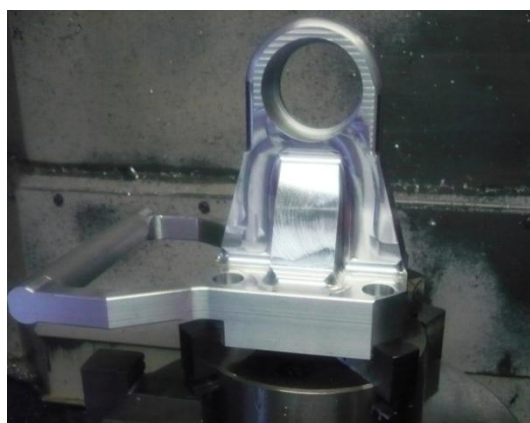
Výroba součásti na frézovacím centru je rozdělena na dvě upínací polohy.

V první poloze je součást upnuta v univerzálním 3-čelistovém sklíčidle průměr 250 mm jak je znázorněno výše na obrázku 2.4. V této poloze je zhotovena zadní část součásti, která umožní upnutí ve druhé poloze. Materiál je odebrán až po úroveň držáku jak je znázorněno na obrázku 2.24.



Obr. 2.24 Obrobená první poloha.

V druhé poloze je součást upnuta za zadní část součásti v univerzálním sklíčidle za průměr 120 mm a shora je polotovár zajištěn upínkou. Odebraný materiál s upínkou je znázorněn výše na obrázku 2.5. Poté je součást částečně vyhrubována ze tří dostupných stran. Dále se ze součásti oddělá upínka a součást drží pouze v univerzálním sklíčidle. Vyhrubuje se zbylá strana součásti a celá součást se dokončí. Dokončená součást je znázorněna na obrázku 2.25. Celý proces obrábění součásti trvá 153 minut.



Obr. 2.25 Obrobená součást ve stroji.

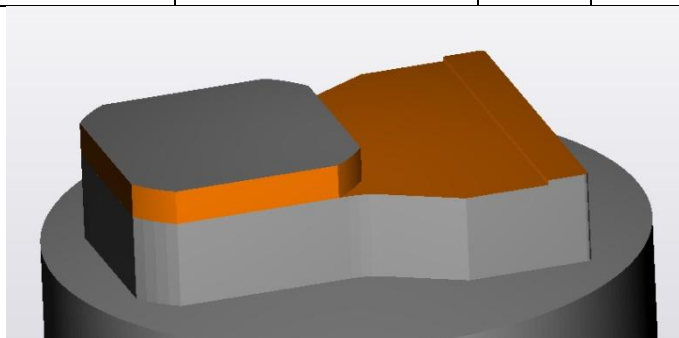
Po dokončení obrábění na stroji je součást odeslána na pracoviště kontroly, kde jsou kontrolovány rozměry a tvar obrobku. Dále je odeslána na pracoviště apretury, kde jsou ručně dodělány poloměry (R5,R2), jejich napojení a součást je odjehlena. Doba práce na apretuře na jedné součásti trvá 90 minut.

2.9 Výroba součásti stávající technologií

Před zahájením obrábění se zkontrolují všechny nástroje, zda nejsou poškozené a zda jsou všechny nachystány ve stroji.

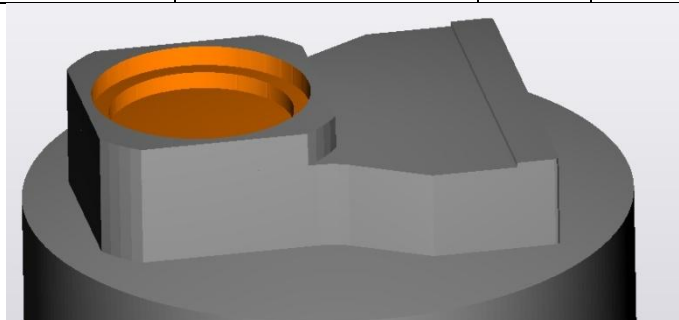
První poloha

číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
1.	Hrubovat konturu shora, hloubka 50	Čelní fréza $\varnothing 54$	9:29	1500	0,4	3
2.	Hrubovat základnu madla	Čelní fréza $\varnothing 36$	0:41	1250	0,35	3
3.	Hrubovat zadní část madla	Čelní fréza $\varnothing 36$	0:45	1250	0,35	3



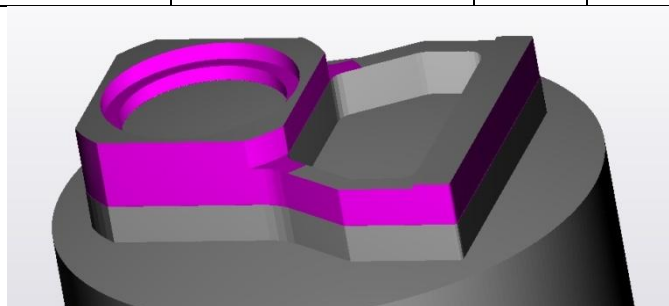
Obr. 2.26 Simulace výrobního postupu po úsek č.3.

4.	Vrtat díru $\varnothing 30$, hloubka 15 s přídkem 0,3	Vrták s VBD $\varnothing$	0:06	200	0,08	
5.	Hrubovat díru $\varnothing 76$, hloubka 15	Čelní fréza $\varnothing 36$	0:20	1250	0,35	2
6.	Hrubovat díru $\varnothing 90H7$, hloubka 8	Čelní fréza $\varnothing 36$	0:13	1250	0,35	2



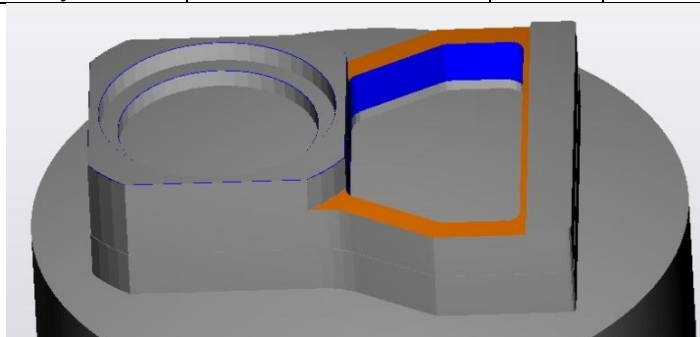
Obr. 2.27 Simulace výrobního postupu po úsek č.6.

číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
7.	Hrubovat kapsu, hloubka 16	Válcová fréza $\varnothing 16$	6:43	100	0,4	5
8.	Frézovat na čisto horní ploch základny	Čelní fréza $\varnothing 36$	0:13	1250	0,35	1
9.	Frézovat na čisto vnější konturu, hloubka 30	Válcová fréza $\varnothing 16$	1:08	100	0,3	30
10.	Frézovat na čisto zadní stěnu základny, hloubka 14	Válcová fréza $\varnothing 16$	0:13	100	0,3	14
11.	Frézovat na čisto díru $\varnothing 76$, hloubka 7	Válcová fréza $\varnothing 16$	0:21	100	0,3	7
12.	Frézovat na čisto díru $\varnothing 90H7$, hloubka 8	Válcová fréza $\varnothing 16$	0:28	100	0,3	8



Obr. 2.27 Simulace výrobního postupu po úsek č.12.

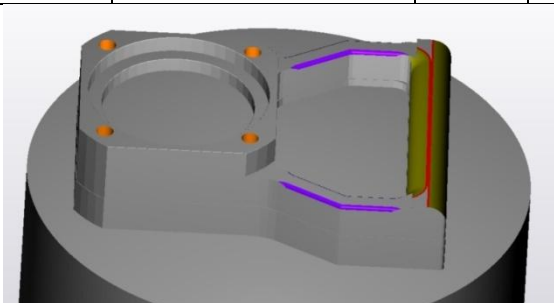
13.	Frézovat na čisto zadní stranu madla	Čelní fréza $\varnothing 36$	0:09	1250	0,35	1
14.	Hrubovat vnitřní poloměry kapsy, hloubka 16	Válcová fréza $\varnothing 10$	7:17	27	0,1	8
15.	Frézovat na čisto stěny kapsy, hloubka 16	Válcová fréza $\varnothing 10$	6:06	27	0,1	8
16.	Srazit hrany na děr a základny	Úhlová fréza $\varnothing 6$	0:16	200	0,3	0,2



Obr. 2.28 Simulace výrobního postupu po úsek č.16.

17.	Navrtat 4x díru $\varnothing 8,4$	Středící vrták $\varnothing 10$	0:03	250	0,1	
18.	Vrtat 4x díru $\varnothing 8,4$, hloubka 30	Vrták $\varnothing 8,4$	0:40	100	0,1	

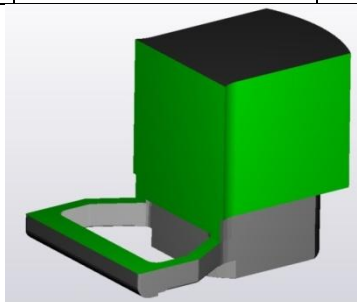
číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
19.	Frézovat na čisto 2x poloměr R10	Čtvrtkruhová tvarová fréza s R10	6:01	25	0,1	
20.	Frézovat na čisto vnější poloměr R2	Čtvrtkruhová tvarová fréza s R2	2:49	20	0,1	2



Obr. 2.29 Simulace výrobního postupu po úsek č.20.

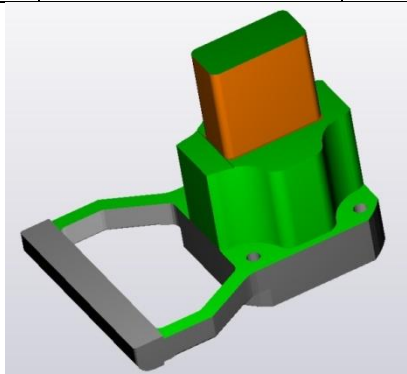
Druhá poloha

1.	Hrubovat vnější konturu, hloubka 128	Čelní fréza $\varnothing 54$	23:43	1500	0,4	3
2.	Oddělat upínku					



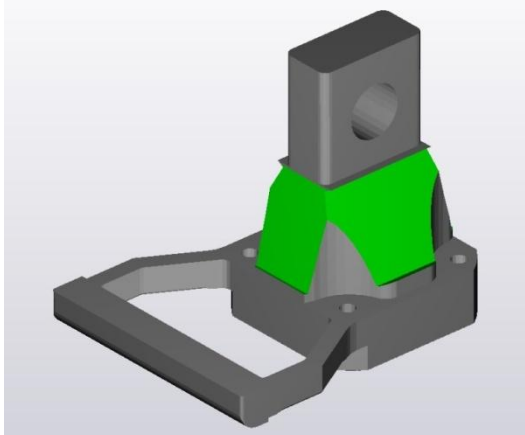
Obr. 2.30 Simulace výrobního postupu po úsek č.2.

3.	Frézovat horní plochu, hloubka 10	Čelní fréza $\varnothing 54$	1:43	1500	0,4	3
4.	Hrubovat konturu	Čelní fréza $\varnothing 54$	12:15	1500	0,4	3



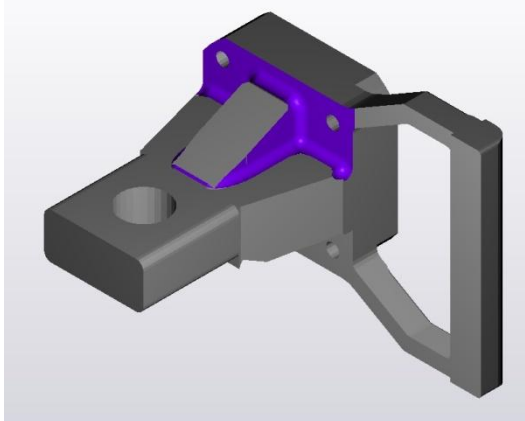
Obr. 2.31 Simulace výrobního postupu po úsek č.4.

číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
5.	Vrtat díru $\varnothing 30$, průchozí, hloubka 32	Vrták s VBD $\varnothing 30$	0:48	200	0,2	
6.	Frézovat na čisto zkosení žeber	Čelní fréza $\varnothing 54$	1:18	1500	0,4	3



Obr. 2.32 Simulace výrobního postupu po úsek č.6.

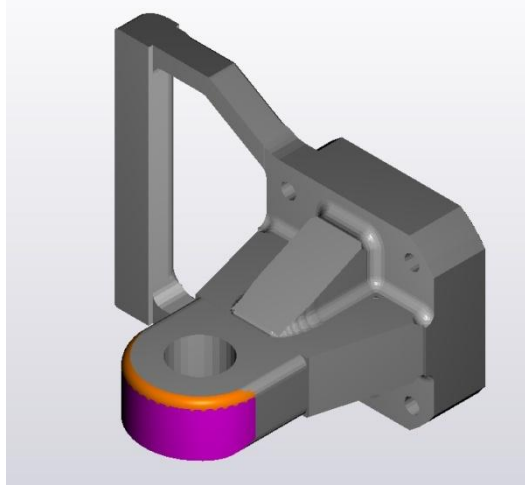
7.	Hrubovat stěny žebra zleva	Válcová fréza $\varnothing 16$	1:26	100	0,4	5
8.	Hrubovat 2x vnitřní poloměr R5	Válcová fréza $\varnothing 10$	1:41	100	0,6	5
9.	Frézovat na čisto vnitřní poloměry R5	Kulová fréza $\varnothing 10$	9:05	30	0,1	



Obr. 2.33 Simulace výrobního postupu po úsek č.9.

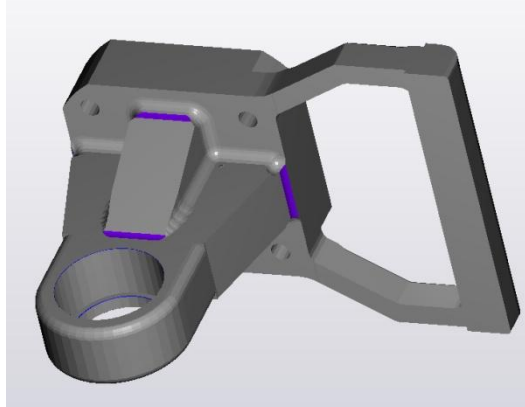
10.	Hrubovat stěny žebra zprava	Válcová fréza $\varnothing 16$	1:21	100	0,4	5
11.	Hrubovat 2x vnitřní poloměr R5	Válcová fréza $\varnothing 10$	1:41	100	0,6	5
12.	Frézovat na čisto vnitřní poloměry R5	Kulová fréza $\varnothing 10$	8:20	30	0,1	
13.	Hrubovat vnější poloměr oka R32,5, hloubka 30	Válcová fréza $\varnothing 16$	1:25	100	0,4	5

číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
14.	Frézovat na čisto vnější poloměr oka R32,5, hloubka 30	Válcová fréza $\varnothing 10$	0:15	100	0,6	5
15.	Frézovat na čisto 2x vnější poloměr R5 na oku	Čtvrtekruhová tvarová fréza s R5	0:50	100	0,06	5



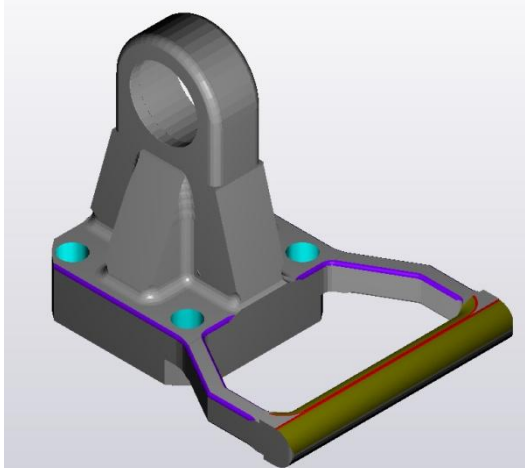
Obr. 2.34 Simulace výrobního postupu po úsek č.15.

16.	Hrubovat díru $\varnothing 47H7$, hloubka 24	Válcová fréza $\varnothing 16$	0:45	100	0,4	5
17.	Hrubovat díru $\varnothing 42H7$, hloubka 6	Válcová fréza $\varnothing 16$	0:24	100	0,4	5
18.	Frézovat na čisto $\varnothing 47H7$, hloubka 24	Válcová fréza $\varnothing 10$	0:39	100	0,1	5
19.	Frézovat na čisto $\varnothing 42H7$, hloubka 6	Válcová fréza $\varnothing 10$	0:28	100	0,1	5
20.	Frézovat na čisto 4x vnitřní poloměr žeber R5	Kulová fréza $\varnothing 10$	1:13	31	0,15	



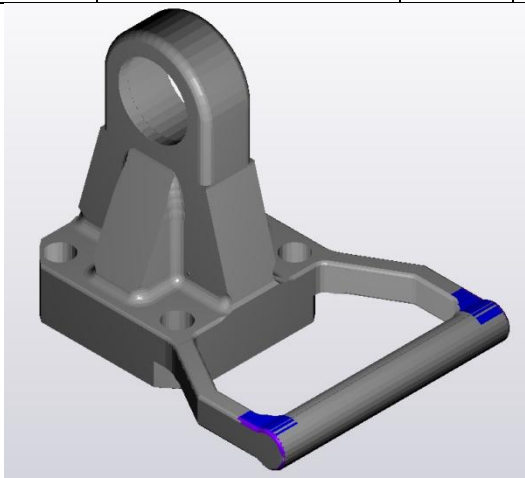
Obr. 2.35 Simulace výrobního postupu po úsek č.20.

číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
21.	Frézovat na čisto 4x zhloubení díry $\varnothing 15$, hloubka 13	Válcová fréza $\varnothing 12$	02:16	35	0,25	2
22.	Frézovat na čisto 2x poloměr R10	Čtvrtkruhová tvarová fréza s R10	12:06	6	0,1	
23.	Frézovat vnější zaoblení na přední straně	Čtvrtkruhová tvarová fréza s R2	1:41	28	0,2	



Obr. 2.36 Simulace výrobního postupu po úsek č.23.

24.	Frézovat na čisto 4x napojení poloměru R5 na poloměr R10	Válcová fréza $\varnothing 10$	2:26	20	0,1	
25.	Frézovat 2x vnější zaoblení na poloměru R10	Čtvrtkruhová tvarová fréza s R2	0:35	28	0,2	



Obr. 2.37 Simulace výrobního postupu po úsek č.25.

Celková doba simulace součásti je 133 minut.

3 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE

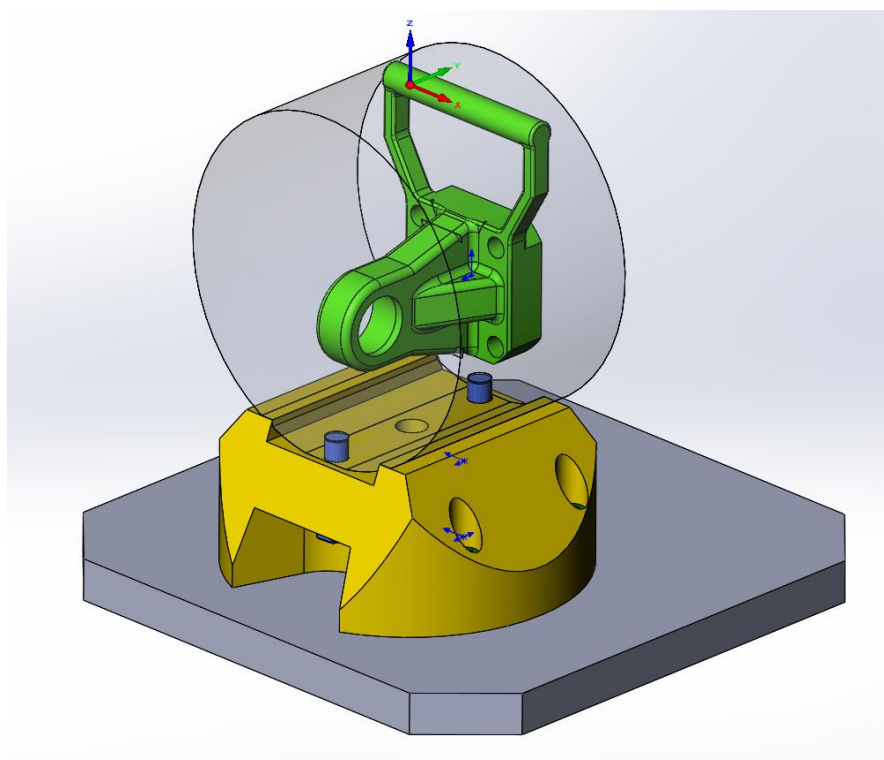
Cílem návrhu nové technologie je zkrácení výrobního času pomocí použití produktivních obráběcích strategií optimalizování řezných podmínek, které program SolidCAM podporuje. Dále je snaha o obrobení celé součásti na jedno upnutí. Obrobením pouze na jednu operaci odpadne poloha přepnutí na CNC stroji a tím dojde ke zkrácení času a snížení nákladů na výrobu součásti. Oproti stávající technologii bude snaha obrobit celou součást na stroji bez nutného pozdějšího dokončení součásti na pracovišti apretury.

3.1 Polotovar

Výchozí polotovar je ponechán jako přířez z hliníkové kruhové tyče o průměru 250 mm a délce 155 mm z důvodu nákladů. Při použití přířezu ze čtvercové tyče by se zvýšily náklady na výrobu.

3.2 Upnutí obrobku

Upnutí obrobku bude realizováno pomocí speciálního přípravku, který bude vyroben pro upnutí polotovaru. Přípravek je upnut na paletu ve stroji pomocí pěti šroubů M12, obráběný kus bude upnut pomocí dvou závitových tyčí M16 a dvou matek. Celé upnutí obrobku i přípravku ve stroji je znázorněno na obrázku 3.1. Zadní část madla bude umístěna přibližně ve středu upínací desky kvůli délce nástrojů, které budou obrábět přední část součásti.

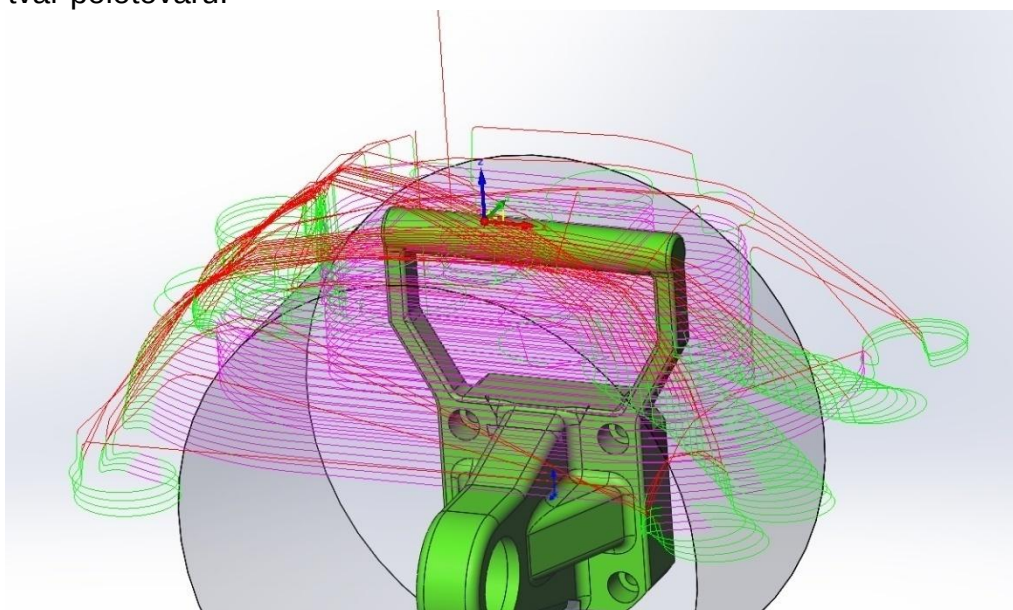


Obr. 3.1 Upnutí obrobku ve stroji.

3.3 Použité SolidCAM technologie

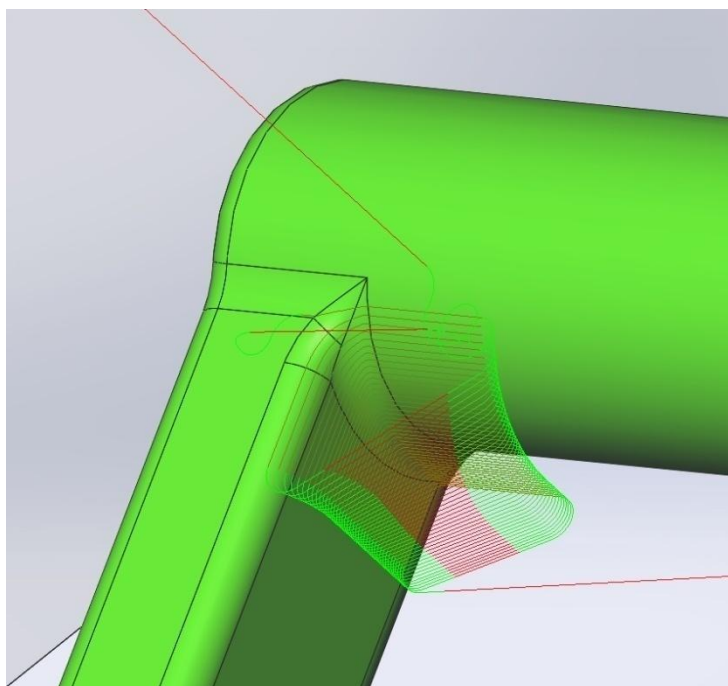
Při zpracování nové technologie byly použity strategie v programu SolidCAM technologie HSR pro hrubování velkého objemu materiálu a technologie HSM pro řádkování poloměrů. Na většinu částí bylo použito strategie dle kontury.

Polotvar má velké rozměry a nejvíce času zabere hrubování. Z tohoto důvodu bylo použito technologie zbytkové hrubování. Program SolidCAM si při zbytkovém hrubování pamatuje zbylý materiál z předchozího kroku a na základě tohoto automaticky upravuje dráhy nástroje tak, aby nedocházelo ke zbytečným přejezdům nástroje. Důležité je správně vymodelovat a poté v CAMu při této technologii určit program polotovaru. Program se při správném nastavení všech kroků snaží vygenerovat dráhy tak, aby byl nástroj co nejdéle v záběru. Při nastavování parametrů je nejdůležitější správně určit hranice obráběného prostoru. Tyto hranice jsou brány jako omezení prostoru, kde se má nástroj pohybovat. Pomocí parametrů nastavíme jaký bude nástroj vykonávat krok dolů, stranový krok, do jaké hloubky bude obrábět a s jakými přídávky. Na hrubování je důležité použít nástroj s dobrými řeznými podmínkami. Dráhy nástroje při použití prvního hrubování jsou zobrazeny na obrázku 3.2. Na obrázku je vidět jak se s každou hloubkou nástroje mění délka dráhy. Tato technologie byla vhodná pro tento tvar polotovaru.



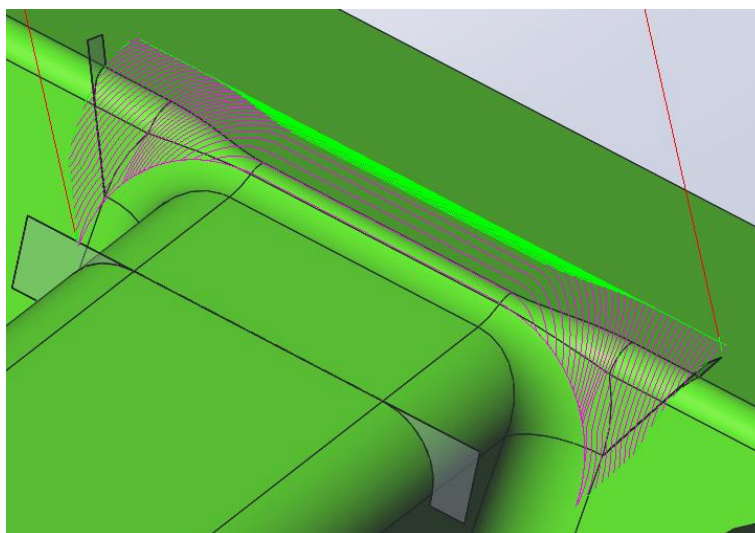
Obr. 3.2 Dráhy nástroje při technologii zbytkového hrubování.

Další použitou technologií je technologie HSM. Tato technologie je vhodná k řádkování. Vypočítává si dráhy nástroje v zadaných hranicích. Opět je v této technologii nutné mít správně namodelovanou součást, která je v určených hranicích definována. Nástroj se pohybuje pouze v osách X,Y. Po dojetí jedné dráhy se posune v o určený krok v ose Z. Dráha nástroje při použití technologie HSM na součásti je znázorněna na obrázku 3.3.



Obr. 3.3 Dráhy nástroje při technologii HSM.

Poslední použitá technologie v programu SolidCAM je operace HSS neboli vysokorychlostní frézování ploch. V této operaci byla použita technologie rovnoběžně s křivkou. V této technologii se definuje plocha, která se bude obrábět a řídící křivka, kterou bude nástroj při obrábění opisovat. Program SolidCAM má v základu nastaveny parametry, které usnadňují programování drah nástroje. Při programování těchto drah je nutné použít speciální tvarový nástroj. Dráhy nástroje při použití této technologie jsou znázorněny na obrázku 3.4.

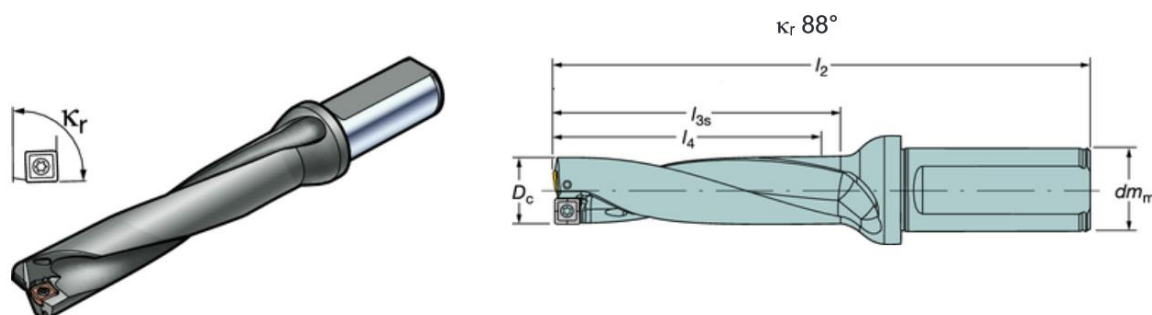


Obr. 3.4 Dráhy nástroje při technologii HSS.

3.4 Nástroje

Při návrhu nové technologie byly použity některé nástroje ze stávající technologie. Pro nově navržené technologie byly použity nové nástroje zobrazené níže.

1. Vrták s VBD CoroDrill 880 5xD $\varnothing 32$



Obr. 3.5 CoroDrill 880 [26].

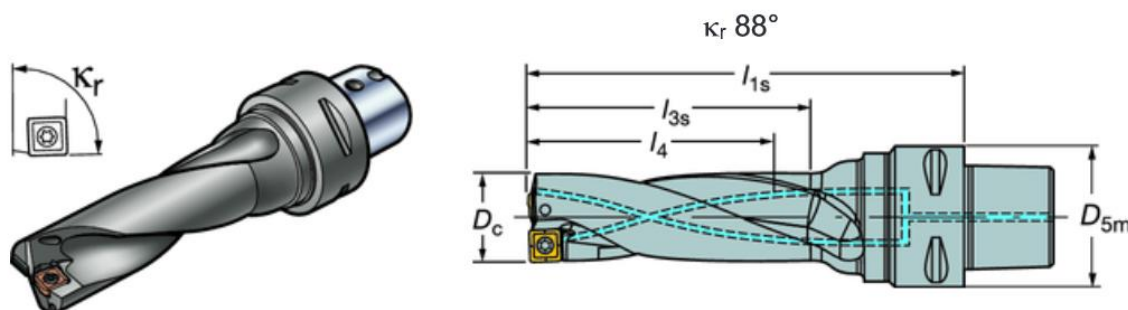
Tab. 3.1 Parametry nástroje dle [26].

dm_m [mm]	l_{1s} [mm]	l_2 [mm]	l_{3s} [mm]	l_4 [mm]	DC_{max} [mm]
30	138	60	64	60	32

Vnější břitová destička: 880-0604W08H-P-LM 4024

Vnitřní břitová destička: 880-060406H-C-LM 1044

2. Vrták s VBD CoroDrill 880 $\varnothing 43$



Obr. 3.6 CoroDrill 880 [27].

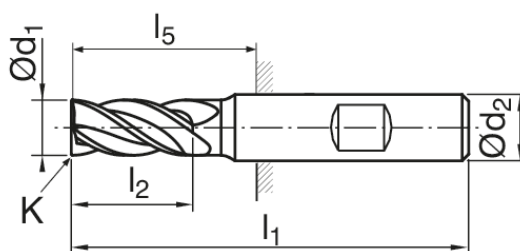
Tab. 3.2 Parametry nástroje dle [27].

D_{5m} [mm]	dm_m [mm]	l_{1s} [mm]	l_2 [mm]	l_{3s} [mm]	l_4 [mm]	D_{cmax} [mm]
50	35	190	60	133	129	44

Vnější břitová destička: 880-0704W10H-P-LM 4024

Vnitřní břitová destička: 880-070406H-C-LM 1044

3. Válcová fréza $\varnothing 4$

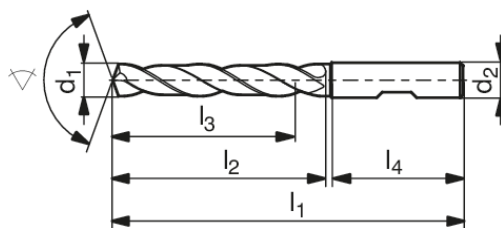


Obr 3.7 Válcová fréza [28].

Tab. 3.3 Parametry nástroje dle [28].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	z [-]	K [mm]	L_5 [mm]
4	6	57	11	3	0	21

4. Vrták $\varnothing 10$

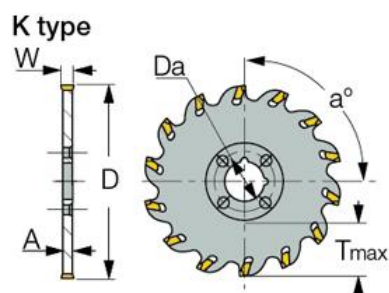


Obr. 3.8 Vrták [29].

Tab. 3.4 Parametry nástroje dle [29].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	l_3 [mm]	l_4 [mm]
10	10	103	61	49	40

5. Plátková kotoučová pila $\varnothing 100$



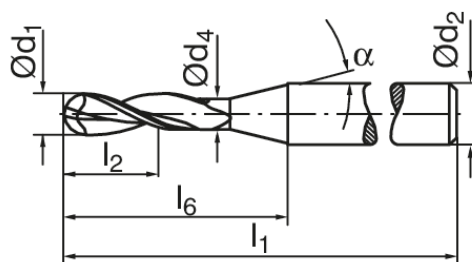
Obr. 3.9 Pila [30].

Tab. 3.5 Parametry nástroje dle [30].

D [mm]	A [mm]	W [mm]	Da [mm]	T _{max} [mm]	z [-]
100	1,6	2,69	22	29	10

destička: GSFN 2 IC928, šířka břitu 2 mm, poloměr špičky 0,2 mm.

6. Stopková kopírovací fréza s kulovým čelem $\varnothing 1$



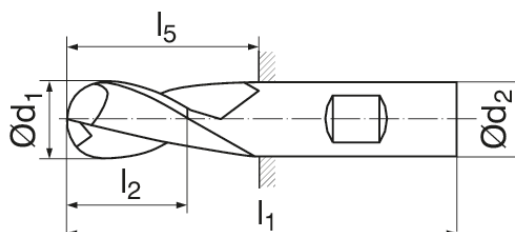
Obr. 3.10 Stopková kopírovací fréza s kulovým čelem [31].

Výrobce neuvádí materiál nástroje

Tab. 3.6 Parametry nástroje dle [31].

d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	l ₁ [mm]	l ₆ [mm]	z [-]	α [°]	r [mm]
1	6	54	16	2	12	0,5

7. Stopková kopírovací fréza s kulovým čelem Ø3

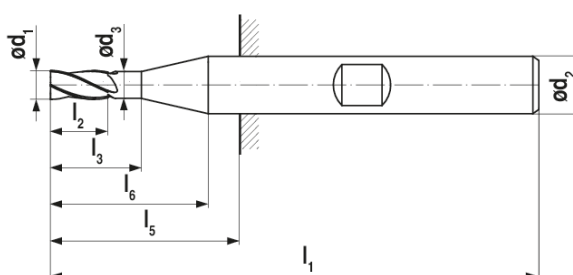


Obr. 3.11 Stopková kopírovací fréza s kulovým čelem [34].

Tab. 3.7 Parametry nástroje dle [34].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_6 [mm]	z [-]	α [°]	r [mm]
1	6	54	16	2	12	0,5

8. Válcová fréza Ø16



Obr. 3.12 Válcová fréza [35].

Tab. 3.8 Parametry nástroje dle [35].

d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_2 [mm]	l_5 [mm]	z [-]
16	16	48	60	4

Výpočet pro čelní frézu Ø54 u které je předpokládáno největší zatížení stroje.

Rychlost úběru materiálu Q [36]:

$$Q = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f}{1000} \quad (3.1)$$

kde:

- Q [cm³/min] rychlost úběru materiálu
- a_p [mm] hloubka řezu
- a_e [mm] šířka pracovního záběru
- v_f [mm/min] posuvová rychlost

Posuvová rychlost v_f [36]:

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z_c \quad (3.2)$$

Dosazení, výpočet do rovnice (3.2):

$$v_f = 0,5 \cdot 12000 \cdot 1 = 6000 \text{ mm/min}$$

Dosazení, výpočet do rovnice (3.1):

$$Q = \frac{4 \cdot 54 \cdot 6000}{1000} = 1296 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Požadovaný užitečný výkon P_c [36]:

$$P_c = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} \quad (3.3)$$

kde:

- P_c [kW] požadovaný užitečný výkon
- k_c [N/mm²] specifická řezná síla

Dosazení, výpočet do rovnice (3.3):

$$P_c = \frac{4 \cdot 54 \cdot 6000 \cdot 700}{60 \cdot 10^6} = 15,12 \text{ kW}$$

Z parametrů stroje je dán výkon na vřetenu 22kW. Čelní fréza $\varnothing 54$ při nastavení maximálních otáček stroje 12 000 min⁻¹ by měla obrábět bez přetížení stroje.

3.4 Postup výroby přípravku

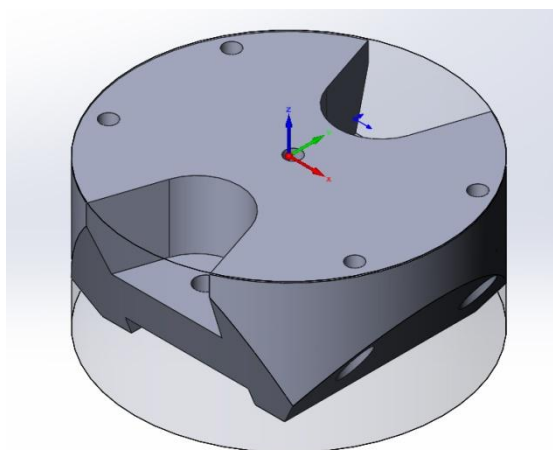
Přípravek bude vyroben ze stejného materiálu jako součást, tedy ze slitiny hliníku EN AW-6082. Materiál a jeho vlastnosti jsou popsány výše v kapitole 2. Z důvodu malého počtu vyráběných kusů a relativně malé tolerance, není potřeba používat tvrdší materiál. Přípravek slouží pro upnutí, aby se obrobek mohl obrábět na jedno upnutí. Upnutí bude tužší než ve stávající technologii, čímž se odstraní možnost posunutí obrobku při obrábění.

Výchozí materiál bude přířez z hliníkové kruhové tyče o průměru 250 mm a délce 120 mm.

Přípravek se bude frézovat na obráběcím centru Variaxis 500-5X II, který je popsán výše v kapitole 2. Obrábění bude probíhat ve 2 polohách. Upnutí polotovaru bude v obou polohách realizováno ve 3-čelistovém sklíčidle $\varnothing 250$ mm za vnější průměr polotovaru. Druhá poloha bude upnuta ve sklíčidle a

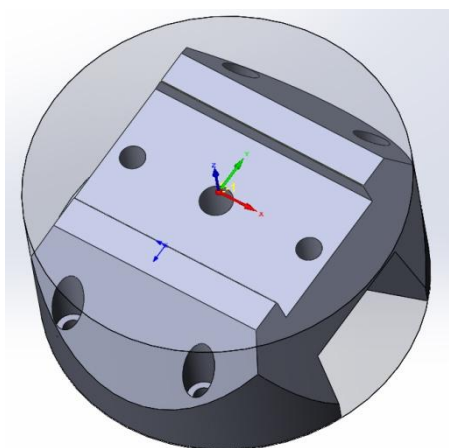
kus bude vyrovnán v ose vybrání, kvůli přesnějšímu napojení otvorů pro upínání do vyfrézovaných vybrání v první poloze.

V první poloze materiál upneme do univerzálního sklíčidla $\varnothing 250$ mm. Pomocí dotykové sondy naměříme nulový bod obroku, který je umístěn na horní ploše ve středu obráběného kusu jak je znázorněno na obrázku 3.13. Horní plochu přípravku ofrézujeme a zhotovíme 2x vybrání. Vybrání slouží pro utažení matek M16 na uchycení polotovaru obráběné součásti.



Obr. 3.13 Nulový bod obroku první polohy.

Ve druhé poloze upneme přípravek do sklíčidla vybráním dolů. Vybrání vyrovnáme v ose drážky z důvodu vrtání děr pro upnutí polotovaru obráběné součásti. Pomocí dotykové sondy naměříme nulový bod obroku, který je umístěn ve středu polotovaru a na horní ploše ve výšce 110 mm od spodní plochy obroku. Nulový bod je znázorněn na obrázku 3.14. Horní stranu ofrézujeme. Zhotovíme drážku pro ustavení polotovaru součásti, vyvrtáme díry pro upnutí přípravku do palety stroje a uchycení obráběné součásti. Na přípravku ještě ofrézujeme úkosy z každé strany z důvodu dostupnosti nástrojů při obrábění součásti.

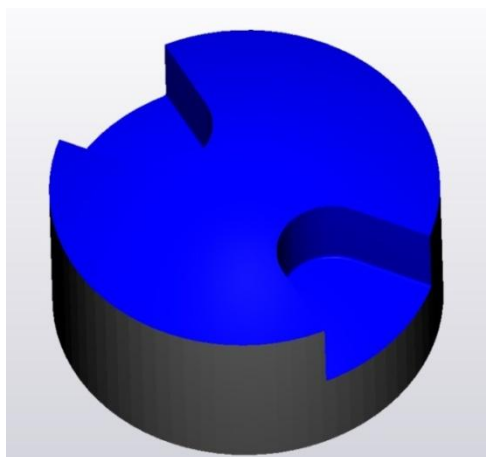


Obr. 3.14 Nulový bod obroku druhé polohy.

Výkresová dokumentace přípravku je v příloze č. 2

Výrobní postup přípravku 1. poloha

číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
1.	Frézovat horní plochu načisto	čelní fréza $\varnothing 54$	0:29	2035	0,5	1
2.	Frézovat na hotovo vybrání na obou stranách, hloubka 55	čelní fréza $\varnothing 54$	2:10	2035	0,5	3

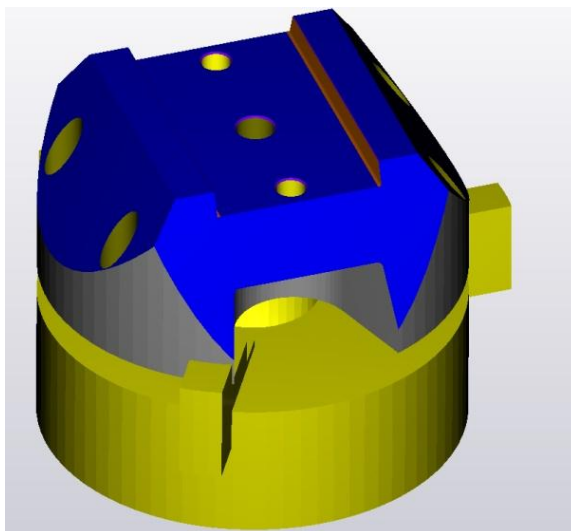


Obr.3.15 Dokončená 1. poloha přípravku.

Výrobní postup přípravku 2. poloha

číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
1.	Frézovat horní plochu na výšku 110	čelní fréza $\varnothing 54$	1:29	2035	0,5	3
2.	Frézovat drážku šířky 100 s přídavkem 0,2, hloubka 14 hotově	čelní fréza $\varnothing 54$	0:38	2035	0,5	3
3.	Dokončit stěny drážky šířky 100	válcová fréza $\varnothing 16$	1:27	80	0,25	14
4.	Vrtat 5x díru $\varnothing 22$, hloubka 70	vrták s VBD $\varnothing 22$	1:20	200	0,1	
5.	Frézovat 2x zkosení 34°	čelní fréza $\varnothing 54$	3:30	2035	0,5	3
6.	Frézovat 2x zkosení 22°	čelní fréza $\varnothing 54$	4:06	2035	0,5	3
7.	Navrtat díry $\varnothing 13$	středící vrták $\varnothing 10$	0:10	157	0,1	
8.	Vrtat 5x díru $\varnothing 13$, průchozí	vrták s VBD $\varnothing 12,7$	1:06	70	0,1	
9.	Vrtat 2x díru $\varnothing 17$, průchozí	vrták s VBD $\varnothing 17$	0:20	200	0,1	

číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
10.	Srazit 2x hranu drážky šířky 100, 0,5x45°	středící vrták ø10	0:43	157	0,1	
11.	Srazit hrany děr v drážce, 1x45°	středící vrták ø10	0:21	157	0,1	

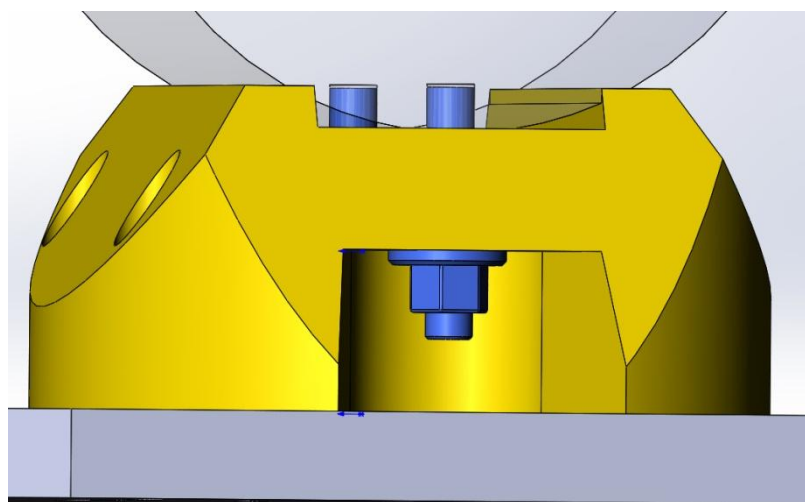


Obr. 3.16 Dokončená 2. poloha přípravku.

Celkový čas simulace výroby z programu SolidCAM je 19 minut.

3.5 Postup výroby součásti

Součást bude upnuta na navrhnutém přípravku. Pro upnutí na přípravek se na polotovaru budou obrábět dosedací a fixační plochy v přípravné poloze. Přířez tyče o délce 155 mm bude upnut ve svěráku jak je znázorněno na obrázku 3.18. V přípravné poloze se obrobí dosedací plochy pro přípravek a dva závit M16 do hloubky 15 mm. Po obrobení přípravné polohy budou do závitů polotovaru našroubovány závitové tyče M16 o délce 85 mm do hloubky polotovaru 15 mm. Polotovar bude usazen do drážky a na dosedací plochy přípravku. Přišroubován bude pomocí dvou matic M16 a podložek. Upnutí je znázorněno na obrázku 3.17.



Obr. 3.17 Upnutí polotovaru pomocí závitové tyče.

Výpočet síly šroubů

Závitová tyč M16x2, pevnostní třída 10.9, hloubka závitů v polotovaru je 15 mm.

Dovolený tlak p_D vnitřního závitu hliníkové slitiny a materiálu šroubu je 80 MPa dle [33].

Z počtu závitů matice dle [33] vyjádříme sílu v ose šroubu F :

$$F = z \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_D \quad (3.4)$$

kde:

- F [N] síla v ose šroubu
- z [-] počet závitů
- d_2 [mm]
- H_1 [mm] nosná výška závitu
- p_D [Mpa] dovolený tlak v závitech

Nosná výška závitu H_1 :

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} \quad (3.5)$$

kde:

- d [mm] jmenovitý průměr závitu šroubu
- D_1 [mm] malý průměr závitu matice

Z výpočtu pro výšku matice m vyjádříme počet funkčních závitů:

$$z = \frac{m}{P} \quad (3.6)$$

kde:

- m [mm] výška matice
- P [mm] stoupání závitu

Dosazení, výpočet do rovnice (3.4):

$$F = 7,5 \cdot \pi \cdot 14,701 \cdot 1,0825 \cdot 80 = 29\,996,86 \text{ N} \cong 30 \text{ kN}$$

Dosazení, výpočet do rovnice (3.5):

$$H_1 = \frac{16 - 13,835}{2} = 1,0825 \text{ mm}$$

Dosazení, výpočet do rovnice (3.6):

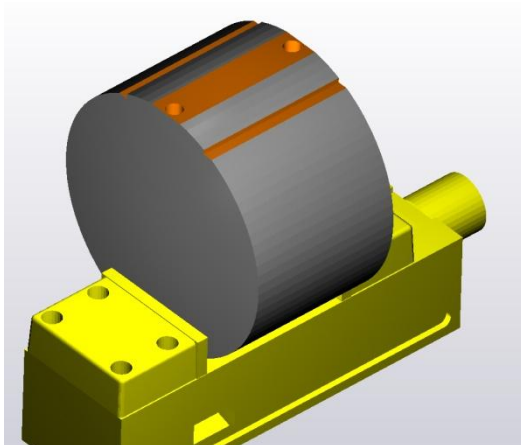
$$z = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ závitů}$$

Pro výpočet síly šroubového spoje byl použit spoj ocelového šroubu a hliníkového vnitřního závitu, který má menší dovolený tlak v závitech. Pomocí výpočtu byla zjištěna síla v ose jednoho šroubu a to 30 kN. Polotovar je zajištěn dvěma šrouby, tím se celková síla 2x zvětší na hodnotu 60 kN.

Výrobní postup přípravné polohy součásti

číslo	Popis operace	Nástroj	t _s [min]	Řezné podmínky		
				v _c [m/min]	f [mm]	a _p [mm]
1.	Frézovat na čisto 2x drážku 10, hloubka 5	Válcová fréza ø16D	0:36	120	0,25	5
2.	Frézovat na čisto plochu šířka 38, hloubka 5	Válcová fréza ø16D	2:52	120	0,25	5
3.	Navrtat 2x díru ø16	Středicí vrták ø10	0:02	120	0,1	
4.	Vrtat 2x díru ø16, hloubka 15	Vrták ø14	0:12	70	0,15	
5.	Srazit 2x díru ø16, 0,2x45°	Středicí vrták ø10	0:10	120	0,1	
6.	Zhotovit 2x závit M16, hloubka 15	Závitník M16	0:03	50	2	

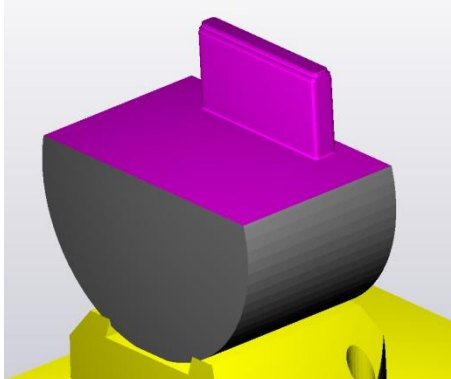
Celkový čas simulace přípravné polohy z programu SolidCAM je 4 minuty. Výsledek simulace dokončené součásti je zobrazen na obrázku 3.18.



Obr. 3.18 Dokončená přípravná poloha součásti.

Výrobní postup součásti

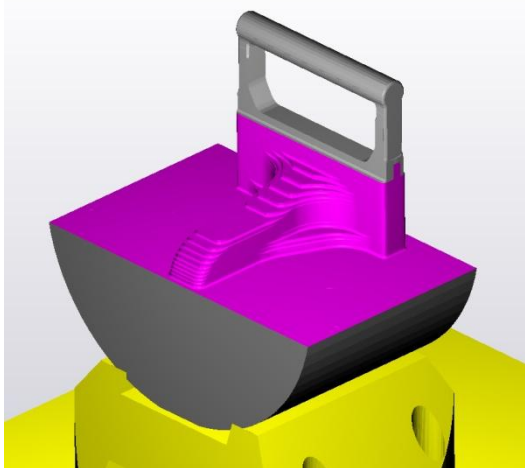
číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
1.	Hrubovat konturu součásti shora, hloubka 96	Čelní fréza $\varnothing 54$	7:12	2035	0,5	4



Obr. 3.19 Simulace výrobního postupu po úsek č.1.

číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
2.	Frézovat shora 2x poloměr R10	Čtvrtkruhovátvarová fréza s R10	1:40	25	0,2	
3.	Dokončit rozměr 140	Čelní fréza $\varnothing 54$	0:03	2035	0,5	1
4.	Dokončit rozměr 16	Čelní fréza $\varnothing 54$	0:05	2035	0,5	1
5.	Vrtat díru $\varnothing 43$	Vrták s VBD $\varnothing 43$	0:07	220	0,1	
6.	Hrubovat zdola $\varnothing 20$	Válcová fréza $\varnothing 16$	0:30	100	0,4	12
7.	Hrubovat a dokončit zdola $\varnothing 20$	Čtvrtkruhovátvarová fréza s R10	1:09	25	0,2	
8.	Hrubovat a dokončit zepředu zdola $\varnothing 20$	Čtvrtkruhovátvarová fréza s R10	1:10	25	0,2	
9.	Hrubovat a dokončit napojení (vlevo) poloměru R5 a R10, hloubka 17	Válcová fréza $\varnothing 10$	0:30	100	0,12	10
10.	Zaoblit hranu R2	Čtvrtkruhovátvarová fréza s R2	0:56	22	0,12	
11.	Hrubovat a dokončit napojení (vpravo) poloměru R5 a R10, hloubka 17	Válcová fréza $\varnothing 10$	0:30	100	0,12	
12.	Dokončit zaoblení R2	Čtvrtkruhovátvarová fréza s R2	0:56	22	0,12	
13.	Hrubovat vnitřní zaoblení R2 na obou stranách, hloubka 16	Válcová fréza $\varnothing 4$	0:41	60	0,04	

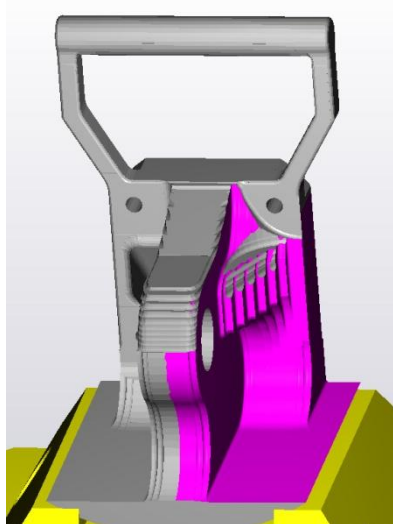
číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
14.	Řádkovat 2x vnitřní zaoblení R2 na obou stranách	Kulová fréza $\varnothing 3$	2:47	113	0,12	
15.	Hrubovat kapsu	Vrták s VBD $\varnothing 43$	0:16	220	0,1	
16.	Hrubovat vnitřní rozměr 120	Válcová fréza $\varnothing 16H$	0:24	100	0,4	
17.	Dokončit vnitřní rozměr 120	Válcová fréza $\varnothing 10$	0:56	100	0,12	
18.	Hrubovat konturu součásti shora, (Z -96), hloubka 54	Čelní fréza $\varnothing 54$	7:48	2035	0,5	4



Obr. 3.20 Simulace výrobního postupu po úsek č.18.

19.	Hrubovat kapsu	Vrták s VBD $\varnothing 43$	0:41	220	0,1	
20.	Dokončit rozměr 16 zezadu, hloubka 14	Čelní fréza $\varnothing 54$	0:14	2035	0,5	4
21.	Hrubovat spodní stranu kapsy, hloubka 16	Válcová fréza $\varnothing 16H$	0:22	100	0,4	8
22.	Dokončit spodní stranu kapsy, hloubka 16	Válcová fréza $\varnothing 10$	0:44	100	0,12	16
23.	Dokončit přední stranu rozměr 16	Čelní fréza $\varnothing 54$	0:33	2035	0,5	4
24.	Dokončit zaoblení přední části kapsy R2	Čtvrtkruhová tvarová fréza s R2	1:12	22	0,12	
25.	Dokončit zaoblení zadní části kapsy R2	Čtvrtkruhová tvarová fréza s R2	0:57	22	0,12	
26.	Hrubovat vnější strany madla R16	Čelní fréza $\varnothing 54$	0:39	2035	0,5	4
27.	Dokončit vnější strany madla s R16	Válcová fréza $\varnothing 16D$	0:17	80	0,3	
28.	Dokončit zaoblení zadní vnější části kapsy R2	Čtvrtkruhová tvarová fréza s R2	0:46	22	0,12	

číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
29.	Dokončit zaoblení přední vnější části kapsy R2	Čtvrtkruhová tvarová fréza s R2	0:47	22	0,12	
30.	Řádkovat 4x zaoblení R2 na zadní straně	Kulová fréza $\varnothing 1$	0:39	38	0,1	
31.	Frézovat na čisto zadní plochu	čelní fréza $\varnothing 54$	0:06	2035	0,5	2
32.	Předvrtat průměr 76, hloubka 15	Vrták s VBD $\varnothing 43$	0:07	200	0,1	
33.	Hrubovat průměr 76, hloubka 15	Čelní fréza $\varnothing 54$	0:04	2035	0,5	3
34.	Hrubovat průměr 90H7, hloubka 8	Čelní fréza $\varnothing 54$	0:04	2035	0,5	3
35.	Dokončit stěny i dno průměr 76	Válcová fréza $\varnothing 16D$	0:51	80	0,3	
36.	Dokončit stěny i dno průměr 90H7	Válcová fréza $\varnothing 16D$	0:33	80	0,3	
37.	Navrtat 4x díru $\varnothing 8,4$	Středící vrták $\varnothing 10$	0:02	267	0,3	
38.	Vrtat 4x díru $\varnothing 8,4$	Vrták $\varnothing 8,4$	0:31	100	0,1	
39.	Frézovat na čisto zkosení shora	Čelní fréza $\varnothing 54$	0:04	2035	0,5	
40.	Frézovat na čisto horní plochu oka	Čelní fréza $\varnothing 54$	0:02	2035	0,5	
41.	Hrubovat konturu zleva, hloubka 125	Čelní fréza $\varnothing 54$	4:22	2035	0,5	4

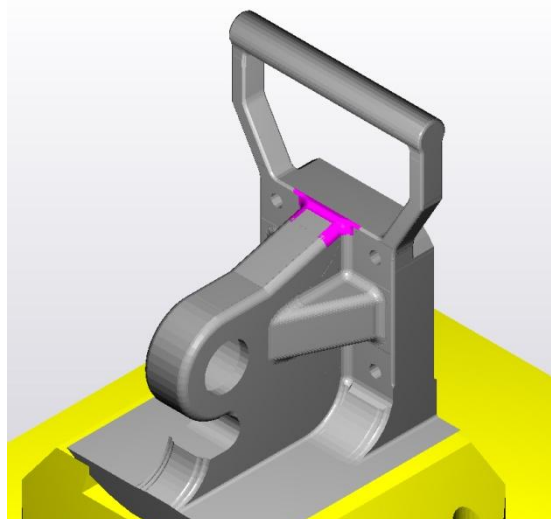


Obr. 3.21 Simulace výrobního postupu po úsek č.41.

42.	Vrtat $\varnothing 47H7$, hloubka 24	Vrták s VBD $\varnothing 43$	0:13	200	0,1	
43.	Vrtat $\varnothing 42H7$, hloubka 7	Vrták s VBD $\varnothing 32$	0:05	200	0,1	
44.	Hrubovat boky levého žebra a přední stěnu	Válcová fréza $\varnothing 16H$	0:16	100	0,4	

číslo	Popis operace	Nástroj	t _s [min]	Řezné podmínky		
				v _c [m/min]	f [mm]	a _p [mm]
45.	Dokončit boky levého žebra a přední stěnu	Válcová fréza ø16D	0:26	80	0,3	
46.	Hrubovat a dokončit vnitřní poloměr žebra R5	Válcová fréza ø10	0:40	100	0,12	10
47.	Hrubovat vnitřní poloměr žebra R5	Válcová fréza ø16H	0:18	100	0,4	
48.	Dokončit stěnu okolo vnitřního poloměru R5	Válcová fréza ø16D	0:25	80	0,3	0,2
49.	Hrubovat vnitřní poloměr žebra R5	Válcová fréza ø10	0:09	100	0,12	5
50.	Hrubovat vnitřní poloměr žebra R5	Kulová fréza ø10	1:22	38	0,12	5
51.	Dokončit vnitřní poloměr žebra R5	Kulová fréza ø10	1:22	38	0,12	0,2
52.	Dokončit zkosení žebra	čelní fréza ø54	0:03	2035	0,5	4
53.	Hrubovat vnitřní poloměr žebra R5	Kulová fréza ø10	0:28	38	0,12	
54.	Dokončit vnitřní poloměr žebra R5	Kulová fréza ø10	0:28	38	0,12	0,1
55.	Rádkovat vnější poloměr zkosení žebra R5	Kulová fréza ø10	1:18	377	0,15	
56.	Dokončit stěnu základny u vnitřního poloměru R5	Válcová fréza ø4	0:20	50	0,12	3
57.	Dokončit zaoblení R2 levé přední vnější části	Čtvrtkruhovú tvarová fréza s R2	0:35	22	0,12	
58.	Hrubovat konturu zprava, hloubka 125	Čelní fréza ø54	4:23	2035	0,5	4
59.	Hrubovat boky pravého žebra a přední stěnu	Válcová fréza ø16H	0:16	100	0,4	
60.	Dokončit boky pravého žebra a přední stěnu	Válcová fréza ø16D	0:25	80	0,3	
61.	Hrubovat a dokončit vnitřní poloměr žebra R5	Válcová fréza ø10	0:40	100	0,12	10
62.	Hrubovat vnitřní poloměr žebra R5	Válcová fréza ø16H	0:12	100	0,4	
63.	Dokončit stěnu okolo vnitřního poloměru R5	Válcová fréza ø16D	0:23	80	0,3	0,2
64.	Hrubovat vnitřní poloměr žebra R5	Válcová fréza ø10	0:09	100	0,12	5
65.	Hrubovat vnitřní poloměr žebra R5	Kulová fréza ø10	1:22	38	0,12	5
66.	Dokončit vnitřní poloměr žebra R5	Kulová fréza ø10	1:22	38	0,12	0,2

číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Řezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
67.	Dokončit zkosení žebra	Čelní fréza $\varnothing 54$	0:03	2035	0,5	4
68.	Hrubovat vnitřní poloměr žebra R5	Kulová fréza $\varnothing 10$	0:28	38	0,12	
69.	Dokončit vnitřní poloměr žebra R5	Kulová fréza $\varnothing 10$	0:28	38	0,12	0,1
70.	Řádkovat vnější poloměr zkosení žebra R5	Kulová fréza $\varnothing 10$	1:18	377	0,15	
71.	Dokončit stěnu základny u vnitřního poloměru R5	Válcová fréza $\varnothing 4$	0:20	50	0,12	3
72.	Dokončit zaoblení R2 pravé přední vnější části	Čtvrtkruhovátvarová fréza s R2	0:35	22	0,12	
73.	Hrubovat vnější poloměr oka R32,5	Válcová fréza $\varnothing 16H$	0:26	100	0,4	16
74.	Dokončit vnější poloměr oka R32,5	Válcová fréza $\varnothing 16D$	0:17	80	0,3	30
75.	Dokončit vnější zaoblení R5 oka	Čtvrtkruhovátvarová fréza s R5	0:38	100	0,12	
76.	Řádkovat napojení vnějšího poloměru R5 (shora)	Kulová fréza $\varnothing 10$	1:43	377	0,15	

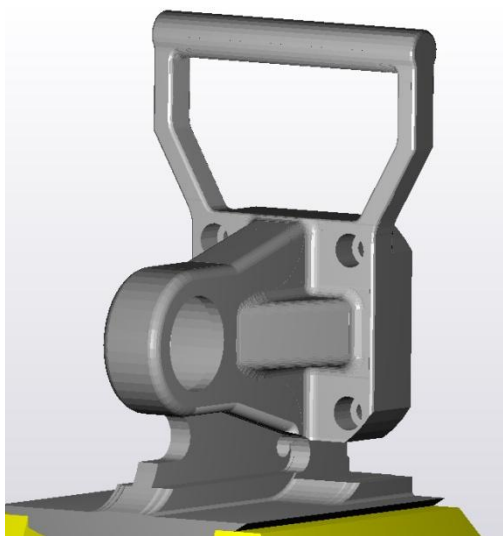


Obr. 3.22 Simulace výrobního postupu po úsek č.76.

77.	Hrubovat spodní částí základny $\varnothing 120$	Válcová fréza $\varnothing 16H$	0:23	100	0,4	16
78.	Dokončit spodní částí základny $\varnothing 120$	Válcová fréza $\varnothing 16D$	0:37	80	0,3	16

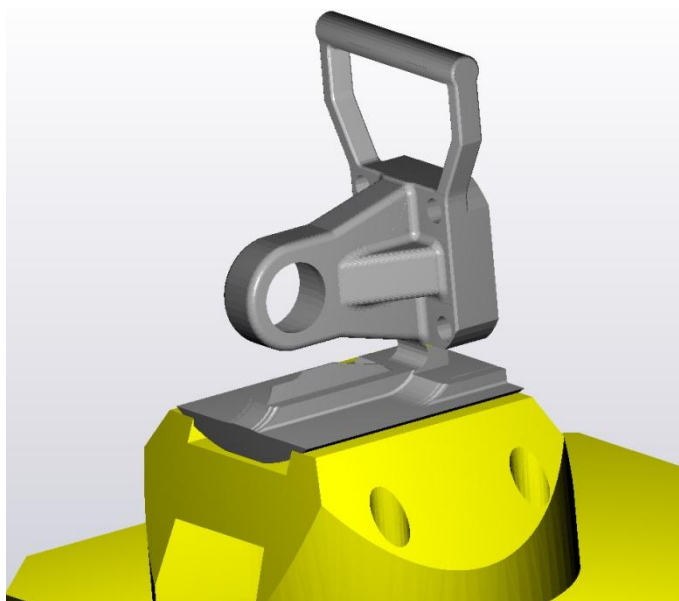
FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	55
---------	-----------------	------	----

číslo	Popis operace	Nástroj	t _s [min]	Řezné podmínky		
				v _c [m/min]	f [mm]	a _p [mm]
79.	Hrubovat spodní plochu základny zleva, hloubka 22	Válcová fréza ø16H (dlouhá)	0:27	40	0,3	22
80.	Dokončit spodní plochu základny zleva, hloubka 22	Válcová fréza ø16 (dlouhá)	0:29	40	0,3	15
81.	Hrubovat průměr 47H7, hloubka 24	Válcová fréza ø16H	0:09	100	0,3	24
82.	Hrubovat průměr 42H7, hloubka 6	Válcová fréza ø16H	0:08	100	0,3	6
83.	Dokončit průměr 47H7, hloubka 24	Válcová fréza ø16D	1:02	80	0,3	24
84.	Dokončit průměr 42H7, hloubka 24	Válcová fréza ø16D	0:14	80	0,3	6
85.	Dokončit 4x zahloubení díry ø15, hloubka 13	Válcová fréza ø10	3:32	100	0,12	
86.	Hrubovat spodní plochu základny zleva, hloubka 22	Válcová fréza ø16D (dlouhá) 16x48E	0:27	40	0,3	22
87.	Dokončit spodní plochu základny zleva, hloubka 22	Válcová fréza ø16H (dlouhá)	0:29	40	0,3	15
88.	Navrtat díru ø10	Středicí vrták ø10	0:04	300	0,3	1
89.	Vrtat poloměr napojení žebra na základnu R5	Vrták ø10	0:09	70	0,15	
90.	Dokončit ø90H7, hloubka 8	Válcová fréza ø16D	0:33	80	0,3	8
91.	Hrubovat spodní stranu a zkosení žebra zleva, hloubka 10	Válcová fréza ø16H (dlouhá)	1:35	40	0,35	5
92.	Dokončit spodní stranu a zkosení žebra zleva, hloubka 10	Válcová fréza ø16 (dlouhá)	0:52	40	0,35	10
93.	Dokončit vnější poloměr R5 zdola zleva	Čtvrtkruhovú tvarová fréza s R5	0:08	100	0,12	
94.	Hrubovat spodní stranu a zkosení žebra zprava, hloubka 10	Válcová fréza ø16H (dlouhá)	1:35	40	0,35	5
95.	Dokončit spodní stranu a zkosení žebra zprava, hloubka 10	Válcová fréza ø16 (dlouhá)	0:52	40	0,35	10
96.	Dokončit vnější poloměr R5 zdola zprava	Čtvrtkruhovú tvarová fréza s R5	0:08	100	0,12	



Obr. 3.23 Simulace výrobního postupu po úsek č.76.

číslo	Popis operace	Nástroj	t_s [min]	Rezné podmínky		
				v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]
97.	Řádkovat vnější poloměr R5 napojení žebra na základnu zdola zprava	Kulová fréza $\varnothing 10$	0:53	300	0,15	
98.	Řádkovat vnější poloměr R5 napojení žebra na základnu zdola zleva	Kulová fréza $\varnothing 10$	0:54	300	0,45	
99.	Frézovat zbylý materiál pod okem součásti	Válcová fréza $\varnothing 16H$ (dlouhá)	1:49	40	0,3	8
100.	Dokončit spodní část a zkosení na cele délce 20	Válcová fréza $\varnothing 16$ (dlouhá)	0:25	40	0,3	20
101.	Frézovat zbytek na spodní části základny, hloubka 15	Válcová fréza $\varnothing 16H$	0:07	100	0,4	15
102.	Dokončit spodní část základny, hloubka 15	Válcová fréza $\varnothing 16D$	0:10	80	0,3	15
103.	Řezat s přídavkem 0,5	Plátková kotoučová pila $\varnothing 100$	0:24	200	0,6	2



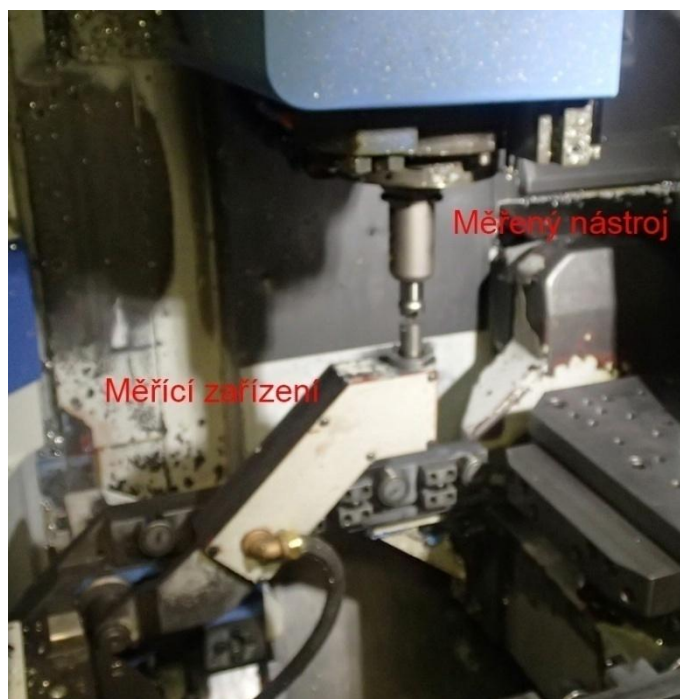
Obr.3.24 Obrobená součást v simulaci programu SolidCAM.

Celkový čas simulace v programu SolidCAM je 85 minut. Program SolidCAM nezahrnuje v simulaci čas na výměnu nástroje ve stroji. Přesnější čas získáme přímo na stroji při výrobě nebo ze simulace přímo na stroji, kde bývá čas shodný s opravdovým časem výroby.

4 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ

4.1 Výroba na stroji

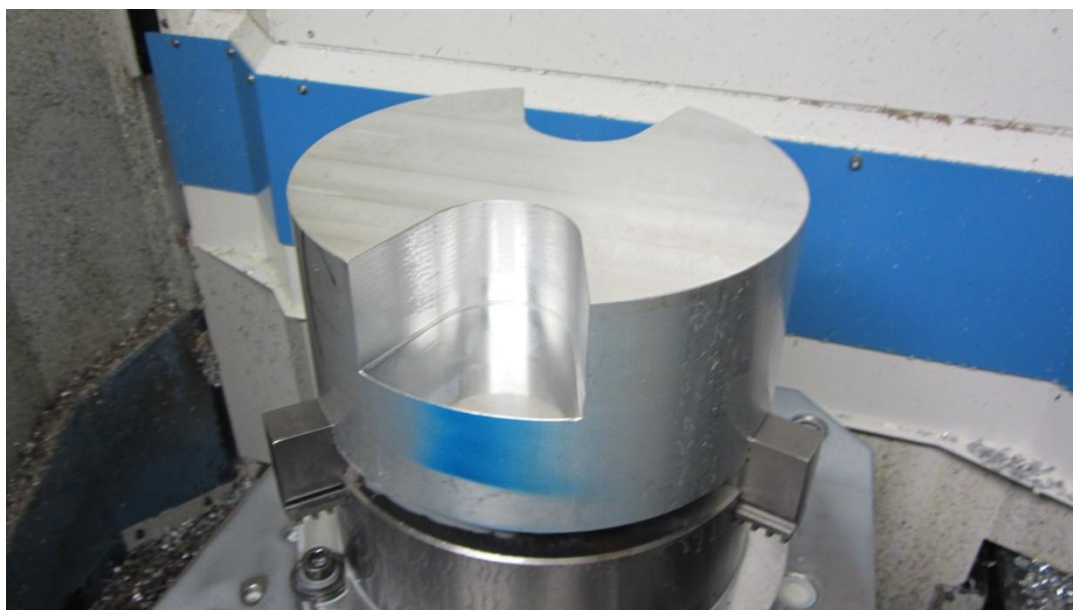
Jako první po zapnutí stroje musíme najet referenční body ve všech osách. Poté naskládáme nástroje do zásobníku nástrojů dle seřizovacího listu, aby čísla nástrojů v zásobníku odpovídala číslům vygenerovaných programem SolidCAM. Ve stroji provedeme měření délky nástrojů za pomoci měřicího zařízení ve stroji jak je vidět na obrázku 4.1. Stroj automaticky napíše hodnoty do tabulky dat nástrojů. Průměrové korekce změříme mimo stroj a zapíšeme do tabulky dat nástrojů. Dále pomocí číselníkového úchylkoměru vyrovnáme polotovary a případné odchylky odstraníme manuálním natočením osy C a manuálně zapíšeme do tabulky nulového bodu v ose C. Pomocí dotykové sondy naměříme hodnoty nulového bodu v ose X,Y,Z. Tyto hodnoty se automaticky zapíší do tabulky nulových bodů. Následně vygenerujeme program ze SolidCAMu pomocí postprocesoru pro daný stroj a nahrajeme ho přes síť do paměti stroje.



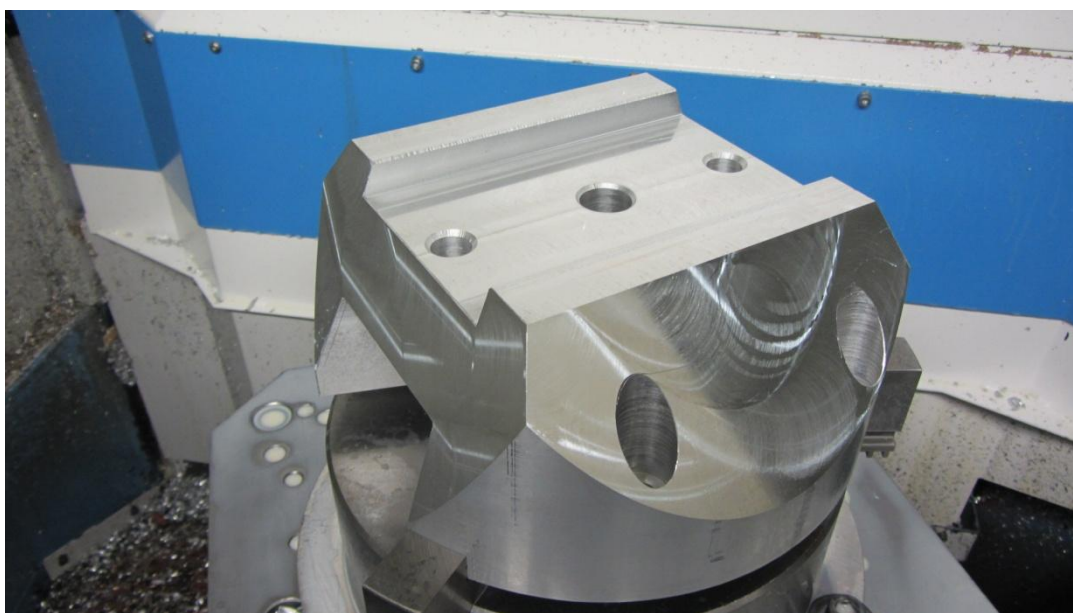
Obr. 4.1 Měření délkové korekce nástrojů ve stroji.

Výroba přípravku

Přípravek byl obroben na 2 polohy dle navrhnuté technologie a za stejných řezných podmínek jako v simulaci SolidCAM. Po obrobení první polohy byly odjehleny ostré hrany na dosedací ploše kvůli upnutí pro druhou polohu. Dokončená první poloha je znázorněna na obrázku 4.2. Při obrábění druhé polohy byla ve stroji změřena šířka drážky na kterou bude dosedat polotovar. Obrobená druhá poloha je znázorněna na obrázku 4.3. Po odepnutí byl přípravek odjehlen. Celkový čas výroby přípravku na stroji byl 20 minut.



Obr. 4.2 Obrobená první poloha přípravku.



Obr. 4.3 Obrobená druhá poloha přípravku.

Výroba součásti

Jako první byla obrobena přípravná poloha polotovaru. Polotovar byl upnut ve svěráku silou 40 kN. Celkový čas výroby přípravné polohy polotovaru na stroji byl 5 minut.

Vyrobený přípravek byl upnut na upínací desce 5ti šrouby M12 (pevnostní třída šroubu 10,9). Délka závitů v upínací desce je 20 mm. Byly očištěny dosedací plochy polotovaru i přípravku. Polotovar byl pomocí dvou závitových tyčí M16, podložek a matic zajištěn na přípravku. Při obrábění součásti proběhli ve stroji měření pomocí tříbodových dutinovým mikrometrů a to tolerovaných rozměrů děr

90H7, 47H7 a 42H7. Všechny měřené rozměry byly v toleranci. obrobená součást je znázorněna na obrázku 4.4 Celkový čas výroby součásti na stroji byl 89 minut.

Čas celé výroby na stroji byl 94 minut.



Obr. 4.4 Obrobená součást.

5 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Byla poskytnuta jedna z vyráběných součástí k analýze a technologickému zpracování. Úkolem bylo zkontrolovat stávající výrobní technologii a navrhnout novou technologickou změnu, které měla za úkol vést k zefektivnění výrobního procesu. Jako prioritou bylo snížení nákladů na vyráběnou součást. Analýzou zpracování jsem došel k několika zjištěním, při kterých by bylo možné provést úsporu.

Výpočtem bylo zjištěno, že spotřeba materiálu při výrobě součásti je velmi vysoká. Podle analýzy bylo vypočteno, že hodnota normy spotřeba materiálu je 0,064. Optimální norma spotřeby materiálu by se měla pohybovat v rozmezí 0,4 až 0,8. Při zjišťování cen materiálu místo kruhové tyče na tyč čtvercovou nebo přířezu z plechu by byla cena o hodně vyšší. Tento materiál se v této velikosti standardně vyrábí jako kruhové tyče. Ve čtvercových tyčích nebo přířezech je vyrobeno pouze na zakázku, což odpovídá zvýšené ceně. Při malé sériovosti cca 20 kusů ročně by se změna materiálu z ekonomického hlediska nevyplatila. Úspora by se dala zvažovat pouze při zavedení větších sérií.

Bylo zpracováno analytické zhodnocení stávající technologie a navrhnutá nová technologie. Při návrhu nové technologie byl použit moderní obráběcí program SolidCAM umožňující používat nejmodernější obráběcí strategie. Na základě vytvoření nové technologie, analýzy stávající technologie a výpočtu nákladů byla vypočítána úspora 48 minut na kus. Bylo projednáno a schváleno ověření nové technologie v praxi včetně výroby přípravku potřebného při použití nové technologie.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo snížení výrobních nákladů na výrobu součásti Zadního madla. Po zjištěných dostupných informacích o nákladech na výrobu a teoretickém zpracování v moderním počítačovém programu SolidCAM byla možná úspora. Následně byla vypracována nová technologie na výrobu této součásti. Součást byla technologicky zpracována počítačovými programy SolidWorks, kde byl vytvořen 3D model Zadního madla, polotovaru a přípravku. V programu SolidCAM byla zhotovena nová technologie z důrazem efektivního využití programu. V porovnání stávající a nové technologie se došlo k těmto závěrům.

Novou technologií byl odstraněn technický nedostatek při stávající výrobě součásti. Byl vytvořen upínací přípravek. Tento přípravek zajistil stabilitu obráběné součásti a obrábění při jednom upnutí. Tuhost upnutí umožnila použití progresivnějších obráběcích metod. Nová technologie byla ověřena v praxi. Nové zpracování technologie a zhotovené programy byly na zálohovány do složky výroby Zadního madla a budou použity ve výrobě. Výrobní časy byly přímo měřeny na stroji.

Z analýzy výrobního procesu a časové potřeby při použití inovativní technologie byly vyvozeny tyto výsledky:

- celkový čas obrábění stávající technologií o činí 153 minut na jeden kus,
- čas potřebný na pracoviště apretury k dokončení napojení radiusů a odjehlení činí 90 minut na jeden kus,
- celkový čas obrábění nové technologie činí 94 minut na jeden kus. Výrobní čas se snížil o 59 minut. Úspora času na této operaci činí 38,56%,
- čas potřebný na pracoviště apretury pouze k odjehlení a sjednocení povrchu součástky činí 15 minut. Úspora času na této operaci činí 83,33%.

Z analýzy výrobních časů, výroby vyplývá úspora výrobních nákladů za použití nových technologií. Cíl této diplomové práce ve smyslu zvýšení zisku nebo zlevnění obráběné součásti z důvodů větší konkurenceschopnosti vůči ostatním firmám na trhu byl splněn.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-7300-207-8.
2. *Obecný úvod do problematiky CNC programování Velká Bíteš program EU* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://www.sosbites.cz/images/stories/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf
3. PABLA, B.S. a M. ADITHAN. *CNC machines*. 1. vydání. New Delhi: Wiley Eastern, 1994. ISBN 81-224-0669-6.
4. PETERKA, J. -- JANÁČ, A. *CAD/CAM systémy*. Bratislava: STU v Bratislave, 2002. 63 s. ISBN 80-227-1685-5.
5. YAMAZAKI MAZAK CENTRAL EUROPE S.R.O. *Variaxis 500-5X II (VRX500II) - Mazatrol Matrix Control: Nabídka stroje*. 2012.
6. *Hliník AlMg1Si1Mn - ČSN 424400* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.proal.cz/info/424400.htm>
7. *EN AW 6082* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://gleich.de/cz/produkty/tye/en-aw-6082#sheet>
8. *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005, 700 s. ISBN 80-89041-88-4.
9. ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno: CERM, 2002, 158s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2219-X.
10. *What is Post-Processing?* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.icam.com/html/products/whatis/what_is_post.php/
11. BORO VAN, Petr. *Upínače nástrojů (2)* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/upinace-nastroju/upinace-nastroju-2_8498.html
12. *Čelní fréza pro frézování do rohu CoroMill® 790* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=R790-036C3S1-16L>
13. *Břitové destičky CoroMill® 790 pro frézování* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=R790-160431PH-NL%20%20%20%20H13A>
14. *VRTÁKY S VYMĚNITELNÝMI DESTIČKAMI* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.octopustools.com//dr-41.php>
15. *VRTACÍ DESTIČKY* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.octopustools.com//turning-inserts/WCMX.php>
16. *Monolitní tvrdokovové válcové frézy hrubovací* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.carbide.cz/produkty/frezy/hrubovaci/monolitni-tvrdokovove-valcove-frezy-hrubovaci-s327625290>
17. *Monolitní tvrdokovové válcové frézy dokončovací 3 až 4 břité* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.carbide.cz/produkty/frezy/valcove-dokoncovaci/monolitni-tvrdokovove-valcove-frezy-dokoncovaci-3-s327625240>
18. *High-performance end mill tools 2011/12: Fraisa SA* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.fraisa.com/us/assets/media/pdf/kataloge/en/high-performance_end_mill_tools_2011-12.pdf

19. *Odhrotovač NC* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <https://www.toolingcenter.com/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/Monilitn%C3%AD%20TK%20fr%C3%A9zy/Tvarov%C3%A9%20odhrotovac%C3%AD%20fr%C3%A9zy%20a%20fr%C3%A9zy%20na%20z%C3%A1pustky/NC%20fr%C3%A9za%20na%20sr%C3%A1%C5%BEEen%C3%AD%20hran/%C3%BAhel%2090%C2%B0/TK%20NC-ODHROTOVA%C4%8C%20N-NE-96-60-9Z4-90%C2%B0-9R-990%C2%B0-9HB%20K10F%2052151060>
20. *NC navrtávky dílenská norma* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <https://www.toolingcenter.com/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Vrt%C3%A1n%C3%AD/HSS%20vrt%C3%A1ky/V%C3%A1lcov%C3%A1%20stopka/NC%20navrt%C3%A1v%C3%A1ky/Typ%20NC-A%20-%2090%C2%B0/HSS%20NC%20NAVRT%C3%81V%C3%81K%20N10-600-9R-990%C2%B0-9WN%2010520100>
21. *Vysoce výkonný vrták, DIN 6537, dlouhý, s chladicími kanálky* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <https://www.toolingcenter.com/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Vrt%C3%A1n%C3%AD/TK%20vrt%C3%A1ky/do%205xD/Typ%20WPC%20UNI/DIN%206535%20HA/s%20vnit%C5%99-9%20chlaz-9/TK%20VYSOCEV%C3%9DKONN%C3%9D%20-%20HPC%20VRT%C3%81K%20WPC-UNI-98-640-9R-95D-9IK-9DIN6535-9HA%20TIALN%2011609084>
22. *Čtvrťkruhová tvarová fréza HSS-E Co 5, konkávní* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <https://www.toolingcenter.com/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/HSS%20fr%C3%A9zovac%C3%AD%20n%C3%A1stroje/Tvarov%C3%A9%20-%20kotou%C4%8Dov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/%C4%8Dvrtkruhov%C3%A9%20profilov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/DIN%206518%20konk%C3%A1vn%C3%AD/HSS-E%20%C4%8CTVRTKRUHOV%C3%81%20FR%C3%89ZA%20KONK-9%20N-VR-910-60-9Z4-9R-9HB%2050248100>
23. *Čtvrťkruhová tvarová fréza HSS-E Co 5, konkávní* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <https://www.toolingcenter.com/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/HSS%20fr%C3%A9zovac%C3%AD%20n%C3%A1stroje/Tvarov%C3%A9%20-%20kotou%C4%8Dov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/%C4%8Dvrtkruhov%C3%A9%20profilov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/DIN%206518%20konk%C3%A1vn%C3%AD/HSS-E%20%C4%8CTVRTKRUHOV%C3%81%20FR%C3%89ZA%20KONK-9%20N-VR-92-60-9Z4-9R-9HB%2050248020>
24. *Frézy kopírovací dlouhé, s půlkruhovými břity, ploška weldon 531718 Rychlořezná ocel HSS Co8 PN 222291, ~DIN 1889, ISO 3940 Upínací prvek - stopka s ploškou. Geometrie. Materiál HSS Co8. Délka. Možné směry posuvu.* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/frezy->

- kopirovací-hss/3363id/frezy-kopirovací-dlouhé,-s-pulkruhovými-brity,-pn-222291,-din-1889,-iso-3940,-ploska-weldon,-rychlořezná-ocel-hss-co8/
25. *Čtvrtkruhová tvarová fréza HSS-E Co 5, konkávní* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <https://www.toolingcenter.com/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/HSS%20fr%C3%A9zovac%C3%AD%20n%C3%A1stroje/Tvarov%C3%A9%20%20kotou%C4%8Dov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/%C4%8Dvrtkruhov%C3%A9%20profilov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/DIN%206518%20konk%C3%A1vn%C3%AD/HSS-E%20%C4%8CTVRTKRUHOV%C3%81%20FR%C3%89ZA%20KONK-9%20N-VR-95-60-9Z4-9R-9HB%2050248050>
26. *Vrták CoroDrill® 880 s vyměnitelnými břitovými destičkami* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=880-D3200L40-0>
27. *CoroDrill® 880 indexable insert drill* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=880-D4300C5-03M1>
28. *Stopková fréza* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <https://www.toolingcenter.com/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/Monilitn%C3%AD%20TK%20fr%C3%A9zy/Stopkov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/DIN%206535%20HB/Dokon%C4%8Dov%C3%A1n%C3%AD/Typ%20N/blank/TK%20DOKON%C4%8COVAC%C3%8D%20FR%C3%89ZA%20N-SC-94-60-9Z3-945%C2%B0-9R-9HB-9L%20K10F%2050614040>
29. *Vysoce výkonný vrták, DIN 6537, dlouhý, bez chladicích kanálků* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <https://www.toolingcenter.com/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Vrt%C3%A1n%C3%AD/TK%20vrt%C3%A1ky/do%205xD/Typ%20WPC%20UNI/DIN%206535%20HB/bez%20vnit%C5%99-9%20chlazen%C3%AD/TK%20VYSOCEV%C3%9DKONN%C3%9D%20%20HPC%20VRT%C3%81K%20WPC-UNI-910-600-9R-95D-9DIN6535-9HB%20TIALN%2011607100>
30. *Slitting cutters, with self-clamped inserts (SELF-GRIP)*. [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=2301354>
31. *Rádusová fréza* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <https://www.toolingcenter.com/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/Monilitn%C3%AD%20TK%20fr%C3%A9zy/R%C3%A1diusov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/DIN%206535%20HA/Typ%20N/blank/TK%20R%C3%81DIUSOV%C3%81%20FR%C3%89ZA%20N-RD-91-60-9Z2-930%C2%B0-9R-9R0-65-9HA-9K%20K10F%2052250106>
32. *SolidCAM je kompletní CAM řešení s revolučním iMachiningem, které je integrováno do SolidWorks* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.solidcam.cz/cam-solutions>
33. POKORNÝ, Břetislav. *Výpočet šroubu* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: www.isstechn.cz/objekty/vypocty-sroubu.doc
34. *Rádusová fréza* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <https://www.toolingcenter.com/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/Monilitn%C3%AD%20TK%20fr%C3%A9zy/R%C3%A1diusov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/DIN%206535%20HA/Typ%20N/blank/TK%20R%C3%81DIUSOV%C3%81%20FR%C3%89ZA%20N-RD-91-60-9Z2-930%C2%B0-9R-9R0-65-9HA-9K%20K10F%2052250106>

- C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/Monilitn%C3%AD%20TK%20fr%C3%A9zy/R%C3%A1diusov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/DIN%206535%20HA/Typ%20N/blank/TK%20R%C3%81DIUSOV%C3%81%20FR%C3%89ZA%20N-RD-93-60-9Z2-945%C2%B0-9R-9R1-65-9HA-9K%20K10F%2052261030
35. *Jemná hrubovací fréza HSS-E Co 8F* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z:
<https://www.toolingcenter.com/CS/product/Hlavn%C3%AD%20katalog/Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD/HSS%20fr%C3%A9zovac%C3%AD%20n%C3%A1stroje/Stopkov%C3%A9%20fr%C3%A9zy/Hrubov%C3%A1n%C3%AD/Typ%20HR/HSS-E%20HRUBOVAC%C3%8D%20FR%C3%89ZA%20HR-SR-916-60-9Z4-930%C2%B0-9R-9HB-9K%2050140160>
36. *Výpočtové vztahy* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z:
http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/formulas_and_definitions/formulas/pages/default.aspx

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Al	[-]	hliník
CAD	[-]	Computer Aided Design
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing
CNC	[-]	Computer Numerical Control
Cu	[-]	měď
Fe	[-]	železo
HSM	[-]	High Speed Machining
HSS	[-]	High-Speed Surface Machining
HSR	[-]	High Speed Roughing
Mn	[-]	mangan
Mg	[-]	hořčík
NC	[-]	Numerical Control
Si	[-]	křemík
Ti	[-]	titan
Zn	[-]	zinek

F	[N]	síla
P_c	[kW]	Požadovaný užitečný výkon
Q	[cm ³ /min]	Rychlost úběru materiálu
Q_p	[kg]	Hmotnost polotovaru
Q_s	[kg]	Hmotnost součásti
R_a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
R_m	[MPa]	mez pevnosti
R_{p0,2}	[MPa]	smluvní mez kluzu
a_e	[mm]	šířka pracovního záběru
a_p	[mm]	Hloubka třísky
f	[mm]	Posuv na zub

k_c	[N/mm ²]	specifická řezná síla
k_m	[-]	Koeficient spotřeby materiálu
p_D	[MPa]	Dovolený tlak
q_o	[kg]	Ztráty vzniklé obráběním
t_s	[min]	Čas simulace
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v_f	[mm/min]	Posuvová rychlost
z	[-]	Počet zubů nástroje

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkresová dokumentace součásti
Příloha 2 Výkresová dokumentace přípravku