

Výrobní postup formy pro sponu

Bc. Lukáš Balušek

Diplomová práce
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Balušek**
Osobní číslo: **T20102**
Studijní program: **N0788A270002 Výrobní inženýrství**
Specializace: **Stroje a nástroje pro zpracování polymerů a kompozitů**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Výrobní postup formy pro sponu**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Proveďte analýzu vyrobiteľnosti
3. Navrhněte výrobní postup
4. Proveďte finanční analýzu výroby

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. Výrobní inženýrství a technologie. Ve Zlíně. Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.
2. KOČMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM., 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
3. GRZESIK, Wit. Advanced Machining Processes of Metallic Materials: Theory, Modelling and Applications. Elsevier Books, 2016. ISBN 9780444637116.
4. SMID, Peter, 2008. CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming. Third edition. South Norwalk: Industrial Press Inc., U.S. ISBN 978-0-8311-3347-4.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Řezníček, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 18. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta: Lukáš Balušek

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce popisuje návrh výroby vstřikovací formy pro spony, které slouží k zapínání batohu. Práce je rozdělena na dvě části, a to na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou popsány výrobní metody, které se používají při výrobě vstřikovací formy. Praktická část začíná představením zadané vstřikovací formy a následně se zaměřuje na výrobu jednotlivých komponentů formy. Dále je pak popsána volba obráběcího stroje a jeho charakteristické vlastnosti, pracovní prostředí, ve kterém jsou součásti programovány. V praktické části jsou také uvedeny jednotlivé měřicí nástroje, které slouží k zajištění rozměrových tolerancí výroby. V závěru praktické části je zhotovena finanční analýza na výrobu zadané vstřikovací formy.

Klíčová slova: Vstřikovací forma, CNC stroje, výroba, měřicí nástroje

ABSTRACT

The thesis describes the production of an injection mold for the production of buckles used to fasten a backpack. The thesis is divided into two parts, namely the theoretical and practical part. The practical part starts with the introduction of the specified injection mold and then focuses on the production of the individual components of the mold. Then the selection of the machine tool and its characteristics are described, as well as the working environment in which the components are programmed. The practical part also refers to the various measuring tools used to ensure dimensional tolerances production. At the end of the practical part, a financial analysis is made for the production of the specified injection mold.

Keywords: Injection mold, CNC machine, manufacturing, measuring tools

Touto cestou bych chtěl poděkovat Ing. Martinovi Řezníčkovi Ph.D. za cenné rady, ochotu a čas, který mi věnoval během vypracování diplomové práce. Dále chci poděkovat své rodině za trpělivost, kterou se mnou měli při psaní diplomové práce.

„Veškerý pokrok se děje mimo zónu komfortu.“

Michael John Bobak

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 FRÉZOVÁNÍ	12
1.1.1 Konzolové frézky	13
1.1.2 Rovinné frézky	14
1.1.3 Speciální frézky.....	14
1.2 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE	15
1.2.1 Nástrojové materiály	15
1.2.2 Charakteristika ocelí.....	16
1.2.3 Charakteristika povlaků	16
1.2.4 Trendy ve výrobě nástrojů	17
1.2.5 Upínání nástrojů	17
1.3 ŘEZNÉ PODMÍNKY	18
1.4 OPERACE PŘI FRÉZOVÁNÍ	19
1.4.1 Hrubovací operace	19
1.4.2 Dokončovací operace	20
1.4.3 Srovnání operací.....	20
2 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE	21
2.1 SCHÉMA CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE	21
2.2 PROVOZNÍ REŽIMY CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE	23
2.3 SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM STROJE	23
2.4 NULOVÉ A VZTAŽNÉ BODY CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE.....	24
2.5 VÝHODY, NEVÝHODY, APLIKACE CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ.....	26
2.5.1 Výhody CNC obráběcích strojů	26
2.5.2 Nevýhody CNC obráběcích strojů	26
2.5.3 Aplikace CNC obráběcích strojů	26
3 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ	27
3.1 STRUKTURA CNC PROGRAMU	27
3.2 NEJPOUŽÍVANĚJŠÍ G A M FUNKCE	28
3.3 ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ	29
3.3.1 Manuální programování	29
3.3.2 Dialogové programování.....	29
3.3.3 CAD/CAM programování.....	30
4 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ	31
4.1 PRINCIP ELEKTROEROZIVNÍHO OBRÁBĚNÍ.....	31
4.2 DRUHY ELEKTRICKÉHO VÝBOJE	32
4.3 PARAMETRY ELEKTROEROZIVNÍHO OBRÁBĚNÍ	32

4.4	DRUHY ELEKTROEROZIVNÍHO OBRÁBĚNÍ	33
4.4.1	Elektroerozivní drátové řezání	34
4.4.2	Elektroerozivní vrtání.....	34
4.4.3	Elektroerozivní hloubení	35
5	TECHNICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY	37
5.1	KONSTRUKČNÍ PŘÍPRAVA VÝROBY	37
5.2	TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY	38
5.3	ORGANIZAČNÍ PŘÍPRAVA VÝROBY.....	38
II	PRAKTICKÁ ČÁST	40
6	CÍL PRÁCE	41
7	VSTŘIKOVACÍ FORMA	42
7.1	NÁSOBNOST FORMY	43
7.2	VYHAZOVACÍ SYSTÉM FORMY	43
7.3	TVÁRNÍK	44
8	CNC FRÉZKA DMU 50	45
8.1	CAM PROSTŘEDÍ NX1926	46
8.2	UŽIVATELSKÉ MOŽNOSTI	46
9	VOLBA NÁSTROJŮ	47
9.1	FRÉZA R217.94-1632.RE-12-3A	47
9.2	FRÉZA R217.69-0816.RE-10-2A	48
9.3	FRÉZA JS554120D3C.0Z4C-SIRA.....	48
9.4	FRÉZA JS520080D3C.0Z5-NXT	49
9.5	VOLBA VRTÁKŮ	50
9.5.1	Vrtáky plátkové	50
9.5.2	Monolitní vrtáky MS.....	51
9.6	STROJNÍ ZÁVITNÍK.....	51
9.7	UPNUTÍ NÁSTROJŮ.....	52
9.7.1	Kleštinové upnutí	52
9.7.2	Upínací trn.....	53
9.7.3	Weldon upnutí	53
10	VOLBA POLOTOVARU	54
10.1	POLOTOVAR BEZ PŘÍDAVKŮ	54
10.2	POLOTOVAR S PŘÍDAVKY	55
11	PROGRAMOVÁNÍ SOUČÁSTÍ.....	56
11.1	VÝROBNÍ OPERACE.....	56
11.1.1	Hrubování.....	56
11.1.2	Dokončení čelních ploch.....	57

11.1.3	Dokončení obvodových ploch.....	57
11.1.4	Vrtání.....	58
11.1.5	Tvorba závitu	58
11.2	PROGRAMOVÁNÍ TVAROVÉ DESKY	59
11.2.1	Založení projektu	59
11.2.2	Zvolení polotovaru	59
11.2.3	Tvorba nástroje.....	60
11.2.4	Tvorba operací	60
11.2.5	Analýza zbytkového materiálu.....	61
11.2.6	Odhad čistého strojního času	61
11.3	PROGRAMOVÁNÍ TVAROVÉ VLOŽKY	62
11.3.1	První upnutí tvárnice	62
11.3.2	Druhé upnutí tvárnice.....	63
11.4	ZHOTOVENÍ NÁSTROJE PRO ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ	64
12	KONTROLA VÝROBY	65
12.1	POSUVNÉ MĚŘÍTKO DIGITÁLNÍ.....	65
12.2	DOTYKOVÁ SONDA.....	65
12.3	ZÁVITOVÉ TRNY	66
12.4	SKENER SCANCONTROL 3D.....	67
12.5	DRSNOMĚR SURFTEST SJ – 210.....	67
13	FINANČNÍ ANALÝZA	68
	ZÁVĚR	72
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	73
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ	78
	SEZNAM TABULEK.....	80
	SEZNAM PŘÍLOH.....	81

ÚVOD

Téma diplomové práce zobrazuje neustále rozvíjející se obor, a to technickou přípravu výroby vstřikovací formy pro plastové výrobky. Vstřikované plastové výrobky jsou v současné době časté výrobní součástky, z důvodu jejich široké škály využití pro většinu odvětví, což je způsobeno velkou poptávkou po plastových výrobcích. Plastové výrobky jsou žádané z důvodu jejich mechanických vlastností, nízké hmotnosti a také nízké pořizovací ceně. Na výrobu výrobků je neustále kladen větší důraz, jak z pohledu kvality materiálu, tak z pohledu přesnosti rozměrů. Na základě těchto požadavků, je také kladen větší důraz na samotnou výrobu vstřikovacích forem a zároveň je cílem formu vyrobit v co nejkratším čase. Pro výrobu jednotlivých součástí se používají CNC stroje, aby byla zachována rozměrová přesnost, tvarová složitost a výroba byla zároveň co nejrychlejší a nejlevnější.

CNC stroje umožňují velmi efektivní a přesnou výrobu, ať už součástí, které jsou jednoduché, tak i součástí, které mají složité tvarové plochy. Důraz je kladen především na neustálé zrychlování a zkvalitňování výroby. CNC stroje jsou v současné době standardem většiny strojírenských firem. Se stroji se můžeme střetnout jak při výrobě jedinečných součástí, tak při velkosériové výrobě. Pomocí CNC strojů lze obrábět velké množství materiálů jako jsou například kovy, plasty, kompozity, dřevo.

Samotný mozek všech strojů je tvořen řídicí jednotkou. Stroj je řízen pomocí číslicově vytvořeného programu, který vygeneruje programátor pomocí příslušného programu. Je tedy možno konstatovat, že zásah lidské činnosti je zde pouze minimální a člověk je potřeba pro programování a kontrolu. To v praxi znamená, že je předcházeno spoustě chyb, které byly v minulosti závislé na dovednostech obsluhy. Podrobnější popis je rozebrán v teoretické části, a to v kapitole 2.

Pozornost je také věnována organizaci přípravy výroby, a to navrhnout co nejoptimálněji rozmístění jednotlivých pracovišť. Snahou je zajistit plynulou výrobu a zkrátit časy potřebné na manipulaci s výrobkem. Výrobek, který opustí pracovní linku je třeba důkladně zkontrolovat a změřit veškeré předepsané parametry. Se samotným měřením se setkáváme v celém průběhu výroby součástí. Důkladné měření předepsaných parametrů je velmi důležité, jelikož forma využívá normalizovaných komponentů, což by mohlo při nedodržení rozměrů vést ke špatnému fungování formy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

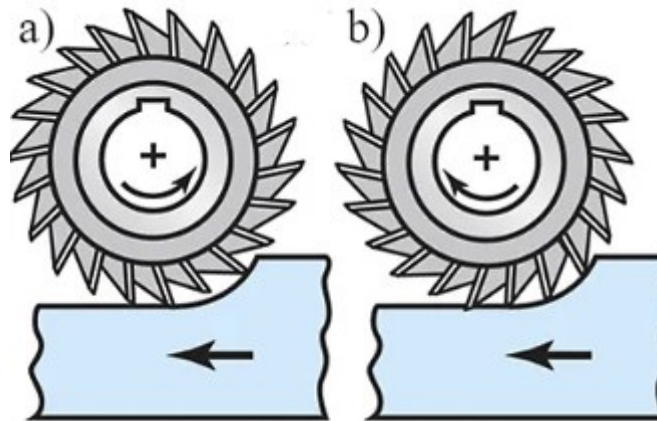
1 FRÉZOVÁNÍ

Jedna z nejrozšířenějších metod obrábění, kde je tříska odebrána jednotlivými břitými rotujícími nástroji – frézami. Hlavní pohyb při frézování je rotační a koná jej nástroj. Vedlejší pohyb je posuv, který je většinou přímočarý a zajišťuje jej obrobek. Jedná se o přerušovaný řezný proces, kde každý zub frézy odřezává třísky proměnlivé tloušťky. Frézování lze rozdělit podle polohy nástroje osy nástroje k ploše, která je obráběna následně:

- **Válcové** – frézování je prováděno obvodem nástroje, osa nástroje je rovnoběžná s obráběnou plochou.
- **Čelní** – frézování je prováděno čelem nástroje, osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu.
- **Okružní** – frézování je prováděno obvodem nástroje na obrobku, který je taktéž rotačního tvaru. Osy nástroje i obrobku jsou vzájemně skloněny.
- **Planetové** – speciální druh frézování, který je využíván k obrábění vnějších i vnitřních válcových ploch. [1,2]

Obr. 1 zobrazuje, že frézování je také důležité z hlediska kinematiky, kde rozlišujeme:

- **Sousledné** – Při sousledném frézování je smysl rotace nástroje takový, že v místě styku se pohybuje ve stejném směru jako obrobek. Tloušťka třísky se mění tak, že přechází z maximální hodnoty do minimální. Výhodou sousledného frézování je vyšší trvanlivost nástroje, vyšší řezné parametry, vyšší jakost obrobené plochy, menší sklon ke kmitání. Nevýhodou je, že nelze použít na obrábění tvrdých a znečištěných polotovarů. [2,3]
- **Nesousledné** – Při nesousledném frézování je smysl rotace nástroje takový, že v místě styku se pohybuje proti směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se mění tak, že vychází z nulové hodnoty a přechází do maximální. Výhodou nesousledného frézování je menší opotřebení stroje, na trvanlivost nástroje nemá velký vliv povrch obrobku. Mezi hlavní nevýhody patří špatná jakost obrobené plochy. [2,3]



Obr. 1 Ukázka frézování [3]

a) *nesousledné frézování* b) *sousledné frézování*

1.1 Frézovací stroje

Frézky jsou nejuniverzálnější zařízení na strojírenské dílně. Největší využití nachází při výrobě drážek, nerotačních ploch a součástek. Frézky se vyskytují ve velkém počtu konfigurací. Nejčastější jsou konzolové, rovinné a speciální. [4]

1.1.1 Konzolové frézky

Jedná se o nejvíce rozšířený typ frézek, kde hlavní část tvoří konzola, která je svisle upevněna na vedení stojanu a je možno ji výškově nastavovat. Na konzole se nadále nachází pracovní stůl, který slouží k upínání obrobků. Veškerý pohyb frézky zajišťují šrouby a matice. Jedná se o pohyb svislý, který zajišťuje konzola (osa Z), dále pohyb příčný a podélný (osa X, Y), který je zajišťován pracovním stolem. Pohon posuvu obstarává samostatný motor, který je vybaven převodovkou a je nezávislý na otáčkách vřetene. Konzolové frézky lze rozdělit na tři základní skupiny:

- **Vodorovné konzolové frézky** – na první pohled je lze poznat tak, že mají vřeteno uloženo horizontálně, rovnoběžně s rovinou pracovní plochy. Nachází využití zejména při výrobě drážek a rovinných ploch. Do vodorovných konzolových frézek lze upnout kotoučové frézky, tvarové frézky, stopkové frézky. [4]
- **Svislé konzolové frézky** – vyznačují se uložením vřetena ve vertikálním směru, kolmo na rovinu pracovní plochy. Vřeteno je uloženo ve svislé hlavě, kterou lze pootočit kolem vodorovné osy o 45°. Využití nachází většinou při obrábění rovinných ploch, které je prováděno čelními frézami. [4]

- **Univerzální konzolové frézky** – vyznačují se podobnou konstrukcí jako vodorovné konzolové frézky s tím rozdílem, že je možnost otočit pracovní stůl o 45°. V praxi to znamená, že frézky lze využít na výrobu šroubovic za pomoci univerzálního dělicího přístroje. V příslušenství frézky lze najít svislou nebo univerzální hlavu, kterou lze použít na svislé vedení frézky. [4]

1.1.2 Rovinné frézky

Rozdíl oproti konzolovým frézám lze pozorovat v tom, že pracovní stůl se pohybuje pouze v podélném směru, který zajišťuje pevné lože. Na svislém stojanu lze pozorovat pohyb vřeteníku, který zajišťuje pohybový šroub. Pohyb nástroje zajišťuje příčné vysouvání pinoly z vřeteníku. Rovinné frézky mohou být vyrobeny s jedním vřeteníkem nebo s druhým stojanem opatřeným vřeteníkem na druhé straně stolu. Vřeteníky jsou na sobě nezávislé a každý má svůj motor a převodovku. Využití nacházejí rovinné frézky při obrábění rovinných, šikmých, svislých ploch, ale také na výrobu drážek větších součástí. Vyznačují se také velkým výkonem a velkou geometrickou přesností. [4]

1.1.3 Speciální frézky

Jak už název napovídá, využívají se pro různé speciální operace. Spadají zde frézky na ozubení, závity, drážky, vačky, pantografické frézy. [4]

- **Frézky na závity** – závity lze zhotovit pomocí tvarové kotoučové, okružovací či válcové frézy. Kotoučová fréza se nejvíce využívá při výrobě lichoběžníkových závitů. Fréza má tvar závitové mezery a je nakloněna o úhel stoupání šroubovice. Fréza vykonává rotační a současně posuvný pohyb, který odpovídá stoupání závitu. [4]
- **Frézky na drážky** – vyznačují se posuvným vřeteníkem ve vedení rovnoběžném s podélným posuvem stolu, což umožňuje posuvem vřeteníku frézovat drážky a pera do hřídelů. [4]
- **Frézky na vačky** – frézování tvaru vaček nebo drážek v křivkových bubnech podle šablon nebo modelů. [4]
- **Pantografické frézky** – Největší využití našly při frézování písmen, číslic a ploch podle šablon.

1.2 Frézovací nástroje

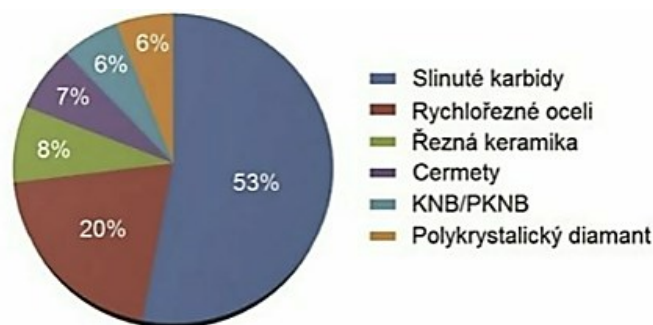
Jedná se o nejdůležitější část výbavy stroje, pomocí které jsme schopni odebrat zbytkový materiál na povrchu obrobku. Frézu lze popsat jako několikabřitý rotační nástroj, kdy každý břit je po určitou dobu v kontaktu s obráběným materiálem. Břity lze nalézt na kuželové, čelní či jiné tvarové ploše. [4,5]

Vzhledem k velkému rozsahu technologie se setkáváme s velkým počtem fréz, které jsou většinou normalizovány a dělí se následovně:

- **Podle konstrukce** – celistvé, skládané, s vyměnitelnými břitovými destičkami.
- **Podle tvaru břitů** – s frézovanými zuby, s pod soustruženými zuby.
- **Podle způsobu upínání** – stopkové, nástrčné.
- **Podle průběhu ostří břitu** – břity do šroubovice, přímé břity.
- **Podle plochy umístění břitů** – válcové, čelní, kotoučové, kuželové, tvarové. [4]

1.2.1 Nástrojové materiály

Soudobé řezné materiály jsou vyráběny z různých materiálů, kde lze zařadit nástrojové oceli (rychlořezné), slinuté karbidy (bez povlaků nebo s tvrdými, otěruvzdornými povlaky), cermety, řeznou keramiku, super tvrdé materiály (syntetický diamant, kubický nitrid bóru). Široký sortiment materiálů je důsledkem vývoje konstrukčních materiálů, které je potřeba efektivně obrábět. Obr. 2 zobrazuje, že v praxi jsou používány nejvíce nástroje, které jsou opatřeny povlakem, a to z důvodu, že povlaky zvyšují životnost a také umožňují zvyšovat řezné parametry. [4]



Obr. 2 Ukázka nástrojových materiálů současnosti [10]

1.2.2 Charakteristika ocelí

Nástrojové oceli se zařazují do třídy 19. Požadavky na tyto oceli jsou vysoká pevnost, tvrdost, odolnost proti opotřebení. Oceli lze rozdělit následovně:

- **HSS** – rychlořezná ocel, obvykle se skládají z uhlíkové oceli legované wolframem či molybdenem, dále se zde objevuje chrom, vanad a kobalt. Díky zmiňovaným prvkům jsou rychlořezné oceli schopny pracovat při teplotách 650 °C při tvrdosti 750 HV, což umožňuje obrábět většinu kovů. [6]
- **HSSE** – vysoká odolnost proti tření, stabilita bříty. Svými vlastnostmi je vhodná pro vystružování. [6]
- **HSS Co5** – vysoká tepelná odolnost. Vhodná na hrubovací operace nebo při absenci chladicí kapaliny. [6]
- **HSSE – PM** – vyrobena pomocí práškové metalurgie. Vyznačuje se homogenní strukturou, což způsobuje vyšší rozměrovou stálost a trvanlivost ostří. Vhodná především pro těžko obrobitelné materiály. [6]

1.2.3 Charakteristika povlaků

Povlakované nástroje jsou vyráběny tak, že se na podkladový materiál nanese tenká vrstva, která má vysokou tvrdost a výbornou odolnost proti opotřebení. Povlaky lze rozdělit následovně:

- **TiN** – základní povlak, který má všeobecné použití. Snižuje tření, prokazuje vyšší teplotní stabilitu a snižuje lepení materiálu, ke kterému dochází při obrábění měkkých ocelí. TiN je vhodný na povlakování nástrojů, které jsou vyrobeny ze slinutých karbidů. [7]
- **TiCN** – odolnější povlak vůči nárazům. Vyniká především nízkým koeficientem tření. Využití lze najít při frézování vysokopevnostních ocelí. Má nižší teplotní stabilitu, proto je nezbytné chlazení. [8]
- **TiAlN** – vynikající povlak jak z pohledu tvrdosti, tak tepelné a oxidační odolnosti. Je vhodný zejména pro monolitické frézy na tvrdý kov, břitové destičky a tvarovací nože. Nevyžaduje tak intenzivní chlazení. [7]

- **AlTiN** – velmi vysoká oxidační odolnost, využití je především pro obrábění s vysokými reznými rychlostmi. Další výhodnou vlastností je, že lze obrábět bez chlazení. [8]
- **AlTiCrN** – povlak určený pro náročné frézování. Vyniká velmi vysokou odolností proti otěru. [8]
- **CrN** – povlak vyznačující se vysokou tvrdostí a nízkým povrchovým pnutím. Největší využití je při obrábění slitin neželezných kovů. [8]

1.2.4 Trendy ve výrobě nástrojů

S některými typy fréz se v dnešní době prakticky nesetkáme, a to frézami válcovými, čelními, které jsou větších průměrů a vyrobeny z rychlořezné oceli. Nejvíce oblíbené jsou frézovací hlavy, které mají vyměnitelné břitové destičky. Další variantou je výroba vysoce výkonných čelních celistvých fréz, a to až do průměru 25 mm, které jsou vyrobeny ze slinutých karbidů či stelitů, metodami práškové metalurgie. Velkým tématem je i chvění fréz při obrábění, pro snížení vzniku se frézy vyrábí s nepravidelnou roztečí zubů nebo zuby ve šroubovici. Velké frézovací hlavy vyžadují stroje vysokého výkonu, které musí být značně tuhé. Přičemž do frézovací hlavy může být vložena hladící destička, která zajišťuje, že i při hrubování lze dosáhnout velmi kvalitní povrch. [4]

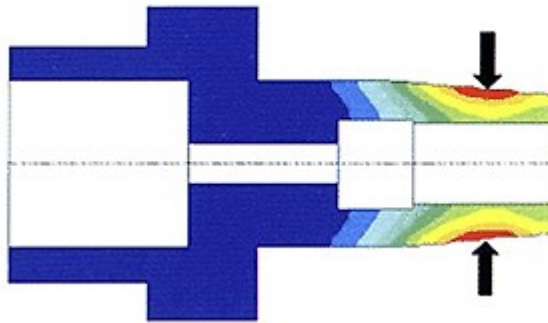
1.2.5 Upínání nástrojů

Důležitým aspektem při frézování je, aby nástroj nevykazoval házení v radiálním a axiálním směru. Tento jev je u ostřených fréz dán házením upínacího trnu či nepřesností upnutí. U fréz s vyměnitelnými břitovými destičkami to může být způsobeno špatným upnutím či výrobními tolerancemi tělesa nástroje. Házení je možné tolerovat v setinách milimetru. Upnutí musí zaručit maximální tuhost nástroje, dále pak minimální házení v radiálním a axiálním směru. [4]

Upnutí je realizováno následujícími způsoby:

- Frézy s válcovou stopkou lze upnout do sklíčidla či kleštiny. [4]
- Frézy s kuželovou stopkou, které jsou definovány normou ISO lze upnout přímo do vřetene. Upnutí je jištěno šroubem, točivý moment se přenáší za pomoci tření a unášecích kamenů [4]

- Frézy se stopkou MORSE, které lze do vřetene upnout přímo nebo za pomoci redukce. Točivý moment je přenášen pomocí tření a unášecích kamenů. [4]
- Tepelný upínač, který zobrazuje Obr. 3 pracuje na smrštění materiálu. Ve sklíčidle se nachází díra, která je menší než průměr stopky. Při výměně nástroje se sklíčidlo zahřeje tak, aby se průměr dočasně zvětšil. Nástroj se upne a následuje chlazení proudem vzduchu. Z hlediska času je tento proces tak rychlý, že ke zvýšení teploty nástroje dojde jen minimálně. [10]



Obr. 3 Ukázka tepelného upínače [11]

1.3 Řezné podmínky

Zvolení vhodných řezných podmínek je závislé na vlastnostech stroje, nástroje, obrobku, prostředí (výkonnost stroje, druh řezného materiálu, druh materiálu, chlazení apod.) a také na požadovaných vlastnostech obrobeného výrobku (přesnost výrobku, drsnost obrobené plochy apod.). [12]

Základními řeznými podmínkami jsou:

- **Řezná rychlost v_c**

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1)$$

Kde: π – Ludolfovo číslo

D – Průměr nástroje

n – Otáčky nástroje

- Posuv na otáčku f_n .

$$f_n = f_z \cdot z \text{ [mm]} \quad (2)$$

Kde: f_z – Posuv na zub [mm]

z – Počet břitů nástroje

- Posuvová rychlost v_f

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3)$$

Kde: f_n – Posuv na otáčku [mm]

n – otáčky nástroje [min^{-1}]

- Posuv na zub f_z

$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n} \text{ [mm]} \quad (4)$$

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

n – otáčky nástroje [min^{-1}]

z – Počet břitů nástroj

1.4 Operace při frézování

Pro obrábění různých kontur je důležité se zamyslet nad posloupností výrobních operací. Obrábění se obecně provádí ve dvou krocích s různými parametry řezání, což způsobuje odlišné dosahované výsledky. Mohou být využity různé druhy operací (hrubování, dohrubování, předdokončování, dokončování, hlazení apod.). Hrubování je obvykle první proces, po kterém následují dokončovací operace. [13,14]

1.4.1 Hrubovací operace

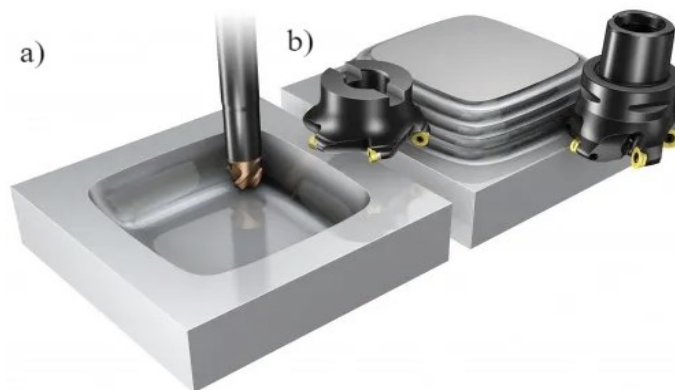
Podstatou hrubovacích operací, je v co nejkratším čase odebrat, co největší množství materiálu a tím vytvořit požadovaný tvar před dokončením. Hrubování se vyznačuje tím, že je zvolena velká hloubka řezu a zvolen velký posuv. Takto hrubě opracovaný výrobek se vyznačuje velmi nízkou přesností a špatnou drsností povrchu. Při hrubování se dosahuje nejnižší hranice drsnosti $R_a 6,3 \mu\text{m}$. [14]

1.4.2 Dokončovací operace

Po vyhrubování následují předdokončovací a dokončovací operace, kterých je velké množství. Vše se volí na základě složitosti obrobku. Dokončovací operace má za úkol přiblížit výsledek finálnímu tvaru s nulovým přídatkem. Operace musí být uzpůsobena tak, aby odebrala veškeré přídatky po hrubování. K dokončování bylo vyvinuto spoustu operací a volí se na základě tvaru obráběné plochy. [14,15]

1.4.3 Srovnání operací

Zásadní rozdíl mezi hrubovací a dokončovací operací zobrazuje Obr. 4, kde je na první pohled patrné, jak se každá z rozebíraných operací chová při obrábění. Dále pak Tab. 1 zobrazuje základní rozdíly hrubování a dokončování při frézování.



Obr. 4 Srovnání frézovacích operací [15]

a) dokončovací operace, b) hrubovací operace

Tab. 1 Rozdíl mezi hrubováním a dokončováním [16]

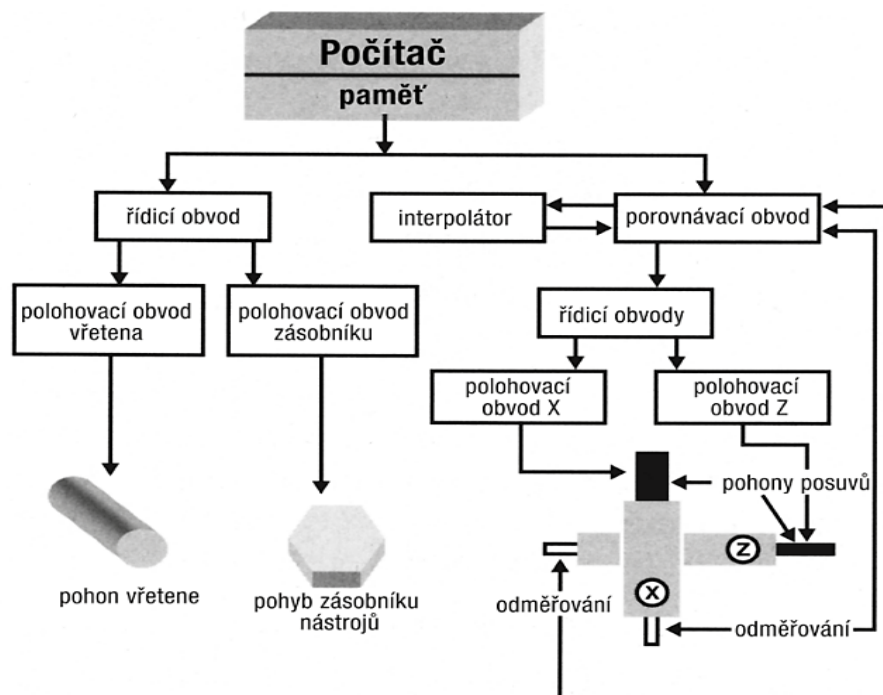
Hrubování	Dokončování
Cílem je odebrat velké množství materiálu z obrobku při každém záběru zubu	Cílem je zlepšit povrchovou úpravu a zlepšit rozměrovou toleranci a přesnost
Vyšší hloubka řezu, velký posuv	Malá hloubka řezu, nízký posuv
Vysoká rychlost úběru materiálu	Rychlost úběru materiálu je nízká
Drsnost povrchu dosahuje špatných hodnot	Drsnost povrchu dosahuje výborných hodnot
Neposkytuje rozměrovou přesnost	Poskytuje rozměrovou přesnost
Lze použít méně přesné frézy	Je třeba volit přesné frézy
Zařazeno před dokončováním	Prováděno po hrubování

2 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE

Zkratka CNC (Computer Numerical Control) nebo také číslicově řízený stroj znamená, že se jedná o stroj, jehož řízení je prováděno pomocí řídicího systému, který je naváděn pomocí vygenerovaného programu. U moderních CNC strojů je použit mikroprocesor. Jedná se o počítač, který je opatřen paměťovými registry ukládající různé typy postupů, které jsou schopny ovládat logické funkce. V praxi to znamená, že obsluha stroje či programátor jsou schopni měnit program v řídicí jednotce s okamžitými výsledky. Jedná se o největší výhodu CNC strojů, která přispěla k modernímu rozvoji současné výroby. Díky pružnosti CNC strojů je možné se rychle přizpůsobit jiné výrobě a minimalizovat tak finanční ztráty. [13,17]

2.1 Schéma CNC obráběcího stroje

Na trhu se lze setkat s velkou škálou strojů. Stroje jsou využívány pro velké množství operací jako je soustružení, frézování, multifunkční, popř. stroje na speciální technologie. Schéma popisující CNC stroj a jeho řízení zobrazuje Obr. 5.



Obr. 5 Blokové schéma CNC stroje [13]

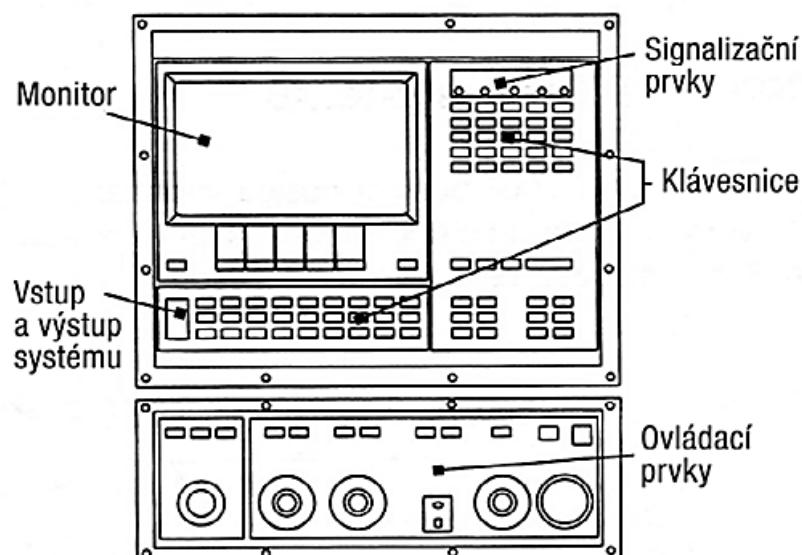
Popis jednotlivých částí:

- **Počítač** – Zde je zastoupen průmyslový počítač, do kterého je nahrán řídicí systém, který je vyráběn velkým množstvím dodavatelů, ale musí vyhovovat možnostem stroje a požadavkům výroby. Za pomoci ovládacího panelu lze provádět příkazy pro

ruční ovládání stroje či práci v jiných režimech. Program se ukládá v paměti a je vyvolán příkazem. [13]

- **Řídicí obvody** – zde se logické signály převádí na silnoproudé elektrické signály, které umožňují ovládání částí stroje (motor vřetene, posuv apod.). [13]
- **Interpolátor** – řešena je zde dráha nástroje, která je zadána pomocí geometrie. Zahrnutý jsou jak délkové korekce nástroje, tak průměr nástroje. Vypočítává elementy dráhy mezi startovacími bloky a cílovými bloky. Možnosti dráhy mohou být např.: přímková (lineární interpolace), kruhová (rádiusová interpolace). V případě vyspělejších řídicích systémů lze pozorovat dráhy šroubovice či obecné (spline). Interpolátor tedy zajišťuje geometrickou přesnost výrobku. [13]
- **Porovnávací obvod** – zařízení, které zpětnou vazbou přenáší informace o dosažených geometrických hodnotách. Tyto souřadnice jsou porovnány s hodnotami zadanými. Dojde – li k zjištění nesprávných hodnot, pohony posuvů dostanou příkaz k dosažení správných hodnot. Je tak dosahována vyšší přesnost výroby. [13]

Řídicí panel je vyhotoven v mnoha provedeních, toto provedení je závislé na výrobci. Na Obr. 6 lze vidět, že řídicí panel se dělí na několik částí, které se odlišují svým významem.



Obr. 6 Řídicí panel CNC stroje [13]

- **Vstup dat** – alfanumerická část, díky které lze zapisovat program, případně upravovat data o nástrojích či strojní konstanty. [13]

- **Ovládací prvky** – část pomocí které lze manipulovat s nástrojem či obrobkem, spuštění otáček, velikost posuvu, otáček, ruční manipulace se strojem. [13]
- **Volba režimu práce** – volí se ruční, automatický či jiný režim. Je možno upravovat otáčky, posuv, rychloposuv, ověřovat program, editovat program. [13]
- **Aktivace paměti** – vyvolání, přepnutí paměti. [13]
- **Monitor** – kontrola daných činností. [13]

2.2 Provozní režimy CNC obráběcího stroje

Při obsluze stroje lze pozorovat několik druhů provozních činností stroje, které jsou dány jeho řídicím systémem. Lze je nastavit na řídicím panelu a jsou obvykle označovány takto:

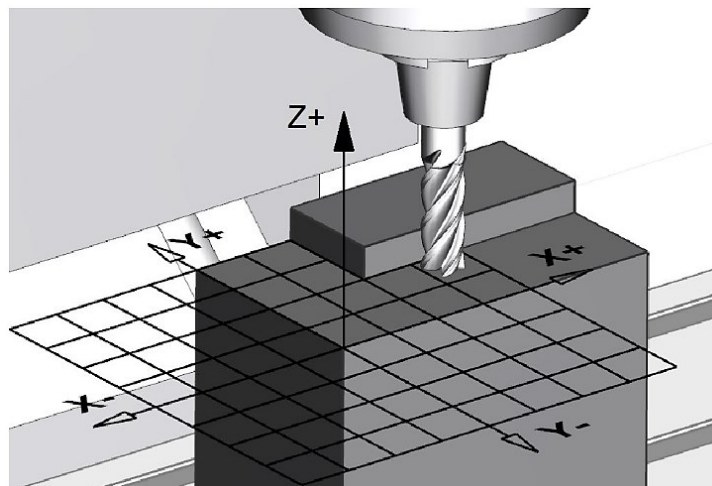
- Režim **MANUAL** – označován také jako ruční provoz, slouží k přestavení nástroje, zjištění korekcí nástroje, najíždění k obrobku, k rozběhu otáček, ale i k samotnému obrábění. [13]
- Režim **AUTO** – automatický režim, který umožňuje plynulé provádění programu, jedná se tedy o kontinuální proces obrábění. [13]
- Režim **B-B** – stroj se zastaví po zpracovaném bloku a po opakovaném startu čte a zpracovává další blok, režim slouží jako kontrola správnosti programu. [13]
- Režim **TOLL MEMORY** – nazýván také jako tabulka nástrojů, umožňuje vyvolat, uložit či opravit korekce nástroje. Zapisované parametry mohou být odlišné jak názvem, tak také počtem informací k danému nástroji. Každý nástroj má přiřazené své korekce v tabulce, která obsahuje údaje o délce, průměru a velikosti rádiusu, které řídicí systém zpracuje a načte. [13]
- Režim **EDITACE** – program lze zapsat pomocí editoru přímo na stroji nebo je vložen pomocí externího úložiště (flash disku). Editor umožňuje dělat potřebné úpravy tak, aby byl program co nejvíce odladěn a výroba probíhala v požadovaných tolerancích. [13]

2.3 Souřadnicový systém stroje

Při používání stroje se stroj řídí pomocí souřadnicového systému viz Obr. 7. Jedná se o systém, který je pravotočivý, pravouhlý a používá při orientaci souřadnice X, Y, Z. Osa Z musí směřovat vždy do vřetene a je vždy totožná s osou rotace. Se souřadnicovým

systemem se setkáme jak při řízení stroje, tak při programování zadané součásti. Kartézský souřadnicový systém se používá při měření nástrojů a také při manipulaci se strojem, to znamená, že osy mohou být různě otáčeny či naklápěny. Se souřadnicovým systémem se programátor setkává hned v počátku. Vložení počátku je čistě na programátorovi a měl by být vložen do nejvhodnějšího místa obrobku. Tento bod je nazýván také jako nulový bod obrobku. Nulový bod se volí tak, aby byl co nejlépe přístupný a ulehčil co nejvíce vyčítání geometrických bodů obrobku. Stanovení obrobku může být ovlivněno také následujícími faktory:

- **Kótováním na výkrese** – nulový bod je volen na konstrukční základně (plocha od které konstruktér kótoval výkres). [13]
- **Souměrností výrobku** – nulový bod je volen do osy souměrnosti, což lze poté využít při zrcadlení programu. [13]
- **Programátorskými zvyklostmi** – nulový bod volí programátor na základě zkušeností. [13]



Obr. 7 Souřadnicový systém CNC stroje [18]

2.4 Nulové a vztahné body CNC obráběcího stroje

Po zapnutí CNC stroje se aktivuje kartézský souřadnicový systém, který má svůj počátek a musí být jasně definován. Další důležité body jsou následující:

- **R – Referenční bod** – dochází zde ke sladění polohy nástroje s odměrovacím systémem. Nájezd do referenčního bodu se aktivuje vždy po zapnutí stroje. V ojedinělých případech dochází k najetí při aktivaci NC kódu. Hledání bodu je automatické a probíhá postupně po jednotlivých ručně zvolených osách. [19]

- **W – Nulový bod obrobku** – pozice bodu je přiřazena programátorem. Jedná se o bod na součásti, ke kterému jsou vztaženy výkresové kóty. Souřadnice nulového bodu jsou zapsány do tabulky řídicího systému stroje. V jednom NC kódu lze použít více nulových bodů. Obsluha či programátor mají následující možnosti nalezení bodu:
 - Naškrábnutím nástroje
 - Pomocí excentrického měřicího dotyku
 - Pomocí dotykové sondy (viz Obr. 8) [13,19]
- **C – Výchozí bod programu** – bod stanovený programátorem, který se nachází mimo obrobek. Volí se tak, aby mohla bez problémů proběhnout výměna nástrojů nebo obrobku. Pozice bodu je zapsána v NC kódu pomocí pohybové funkce. [19]
- **P – Body špičky nástroje** – určuje délkovou korekci nástroje. Důležitým parametrem při měření je i poloměr zaoblení nástroje, což je důležitou součástí výpočtu korekcí. [13]
- **M – Nulový bod stroje** – bod, který udává výrobce stroje a jedná se o výchozí bod veškerých souřadnicových systémů a vztažných bodů na stroji. Z hlediska programátora se jedná o bod, který nelze měnit. Poloha bodu je určena při montáži stroje a je fixována polohou měřicích nástrojů. [13,19]



Obr. 8 Dotyková sonda [20]

2.5 Výhody, nevýhody, aplikace CNC obráběcích strojů

Obrábění pomocí CNC obráběcích strojů je v dnešní době využíváno ve vysoké míře ve výrobním průmyslu. CNC obráběcí stroje řízené pomocí řídicího systému nahradili klasické ruční frézky. [21]

2.5.1 Výhody CNC obráběcích strojů

- Vysoká hospodárnost a produktivita
- Vysoká pružnost, program se tvoří mimo obráběcí centrum, což zaručuje nízké riziko výpadku výroby při seřizování
- Zaručení vysoké tvarové přesnosti a kvality výroby
- Výrobní program lze libovolně měnit, zajištění snadného přizpůsobení stroje
- Obsluha není nutná nepřetržitě, lze obsluhovat více strojů
- Zmenšuje se potřebná kvalifikace obsluhy, důraz je kladen na kvalitní seřízení a servis stroje
- Výrobní čas určuje program, nezáleží na dovednostech obsluhy
- Je umožněna výroba složitých tvarů, které definují složité matematické funkce [21,17]

2.5.2 Nevýhody CNC obráběcích strojů

- Vysoké počáteční náklady
- Nutnost vysoké kvalifikace pracovníků starajících se o seřízení a servis stroje
- Složitá technologie přípravy
- Náročná likvidace pracovních kapalin stroje, což má za následek zatížení životního prostředí [21,17]

2.5.3 Aplikace CNC obráběcích strojů

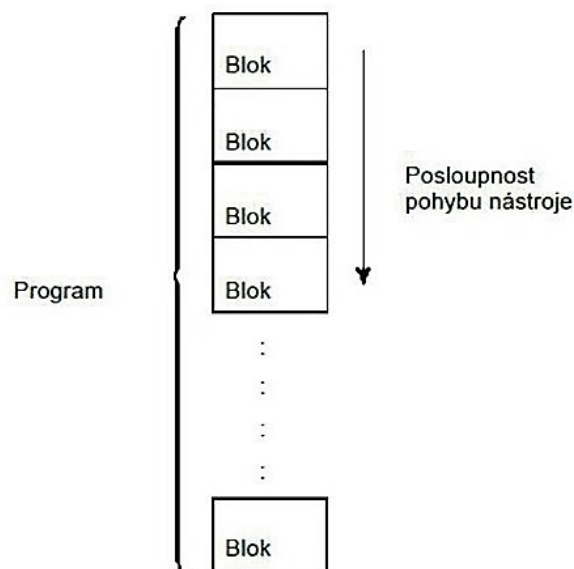
S obráběcími stroji se setkáváme již prakticky všude ve strojírenské výrobě. Jedná se například o obráběcí frézky, brusky, soustruhy.

3 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

CNC stroje prochází neustálým vývojem a modernizací. Stroje poskytují vyšší komfort při programování, obsahují již předdefinované funkce, což výrazně snižuje výrobní časy. V této kapitole budou rozebírány funkce, které se využívají při programování, tedy s jejich stavbou a strukturou. [13]

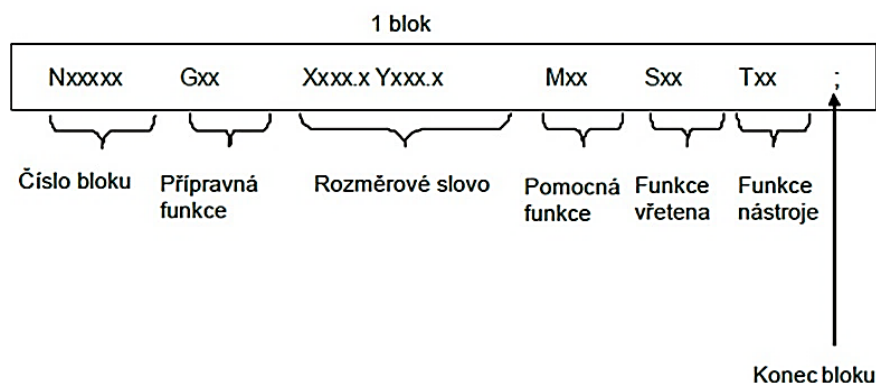
3.1 Struktura CNC programu

Každý program pro CNC stroj je tvořen souborem bloků, které v sobě nesou instrukce a skládají se z adresy a hodnoty. Pro lepší představu to lze přirovnat k lidské řeči, kde bloky jsou věty, instrukce slova, adresa písmena a hodnoty čísla. [13,22]



Obr. 9 Zapsání programu pomocí bloků [22]

„Každý blok musí být ukončen symbolem EOB: ; . Je to proto, že jeden blok se může na menší obrazovce stroje zobrazit na více řádků. Při editaci na počítači středníky nepíšeme, stačí ENTER. Na pořadí slov v bloku v drtivé většině případů nezáleží. Blok „G0 X100 Y100 M3 S1000“ vykoná to samé jako blok „X100 G0 S1000 M3 Y100;“. Ale doporučuji psát program a bloky přehledně a pokud možno dodržovat strukturu bloků, z důvodu čitelnosti. Dále může být program doplněn o komentář, který píšeme mezi kulaté závorky. Komentář napsaný za názvem programu se nám zobrazí v seznamu programů. Název programu může být na nových systémech libovolný, ale z důvodu zpětné kompatibility budeme v těchto člancích používat běžnou syntax: Oxxxx, kde xxxx je libovolné, maximálně 4místné číslo. Program tedy začíná názvem a je ukončen pomocnou funkcí M2 nebo M3.“ [22]



Obr. 10 Zapsání bloku [22]

3.2 Nejpoužívanější G a M funkce

M – funkce a G – funkce jsou připraveny výrobcem stroje a mají za úkol spustit základní příkazy stroje. V Tab. 2 je uveden seznam nejpoužívanějších funkcí. [22]

Tab. 2 Přehled nejpoužívanějších funkcí [13]

Označení funkce	Význam
G00	Rychloposuv
G01	Lineární pracovní posuv
G02	Kruhový pracovní posuv (směr hodinových ručiček)
G03	Kruhový pracovní posuv (proti směru hodinových ručiček)
G17	Výběr roviny XY
G18	Výběr roviny XZ
G19	Výběr roviny YZ
G33	Řezání závitů
G40	Zrušení korekce dráhy nástroje
G41	Korekce dráhy nástroje vlevo
G42	Korekce dráhy nástroje vpravo
G54..G59	Posunutí nulového bodu obrobku
G94	Nastavení jednotek posuvu [mm/min.]
G95	Nastavení jednotek posuvu [mm/ot.]
M00	Zastavení programu, otáček, stroje
M03	Zapnutí otáček vřetene (směr hodinových ručiček)
M04	Zapnutí otáček vřetene (proti směru hodinových ručiček)
M05	Zastavení vřetene
M06	Výměna nástroje
M07, M08	Aktivace chlazení
M09	Deaktivace chlazení
M17	Konec podprogramu
M30	Konec hlavního programu

3.3 Způsoby programování

Při používání CNC strojů máme více možností, jak daný stroj naprogramovat a to následovně:

- Manuální programování
- Dialogové programování
- CAD/CAM programování [13]

3.3.1 Manuální programování

Manuální programování, označováno jako ruční, se používá nejčastěji při výrobě jednoduchých tvarů. Dále se s manuálním programováním setkáváme při tvorbě programů pro vrtání děr či řezání závitů. Při manuálním programování je nutnost znát základní funkce CNC stroje a mít k dispozici G a M funkce. Většina výrobců stroje využívá ISO – kódy vytvořené výrobcem FANUC. Jedná se o typ programování, kdy je NC kód vytvářen přímo na CNC stroji nebo psán pomocí vět v textovém editoru a následně přenesen do stroje. Pro správné zapsání NC kódu dává každý výrobce k dispozici seznam specifických funkcí, aby bylo psaní NC kódu co nejjednodušší. Ukázka ručně zapsaného bloku je zobrazena v Tab. 3.[13]

Tab. 3 Složení programu [13]

Příklad				Název	Poznámka
N 40 G 00 X1 00 Z -50				BLOK (věta)	Doporučené pořadí slov ve větě je N G (M) X Y Z F STD
N40	G 00	X 100	Z -50	PŘÍKAZ (slovo)	
N	G	X	Z	ADRESA	
40		0		VÝZNAMOVÁ ČÁST	
100		-50		ROZMĚROVÁ ČÁST	

3.3.2 Dialogové programování

Dialogové programování, označováno také jako dílenské programování, je vhodné používat pro malosériovou či kusovou výrobu. NC kód je vytvářen přímo na pracovišti v systému CNC stroje, a to pomocí předdefinovaných funkcí stroje a ISO – kódů. Při tvorbě programu je využívána grafická podpora, která je zabudována přímo v systému stroje. Díky těmto možnostem je možno vytvářet i tvarově složitější tvary. Velkou nevýhodou dialogového programování je, že při tvoření NC kódu stroj nepracuje. [13]

3.3.3 CAD/CAM programování

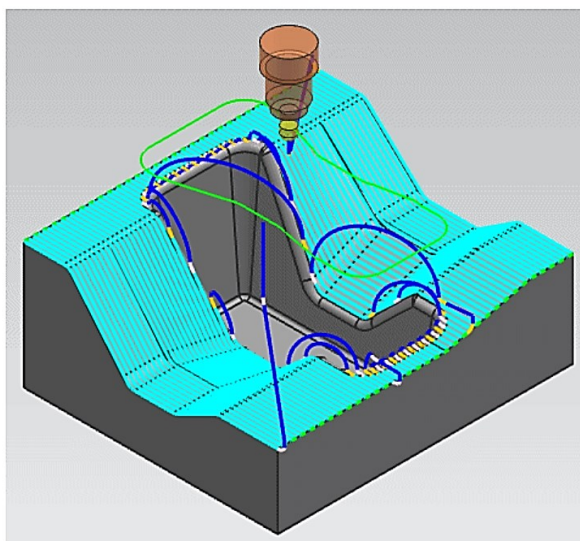
CAM = Computer Aided Manufacturing (počítačová podpora obrábění).

CAD = Computer Aided Design (počítačová podpora navrhování)

Programování v systémech CAM je v dnešní době nejvíce používané pro tvorbu programů pro CNC stroje. Hlavním důvodem používání těchto systémů je rychlost tvorby programu zejména u tvarově složitých součástí (viz Obr. 11). Další obrovskou výhodou je komunikace mezi CAD a CAM systémem. V praxi to znamená, že navržený díl od konstruktéra v digitální podobě přebírá technolog (programátor) a rovnou vytváří programy pro výrobu. Tvorba programu vypadá následovně:

- Vytvoření modelu pomocí CAD systému
- Volba nástrojů pro obrábění
- Navržení podmínek pro obrábění (strategie obrábění, poloha obrábění vůči kontuře, způsob obrábění, chlazení, mazání)
- Tvorba CL dat pro kontrolu správnosti programu (kontrola kolizí)
- Přenos dat z programu CAD/CAM pomocí postprocesoru do řídicího systému stroje
- Výroba součásti [13,23]

Z pohledu trhu jsou na výrobce kladeny stále větší požadavky, které musí splňovat náročné požadavky zákazníků. Jedná se především o tvarovou složitost součástí. Tvorba složitých tvarů by bez podpory CAD/CAM systémů nebyla možná. [23]



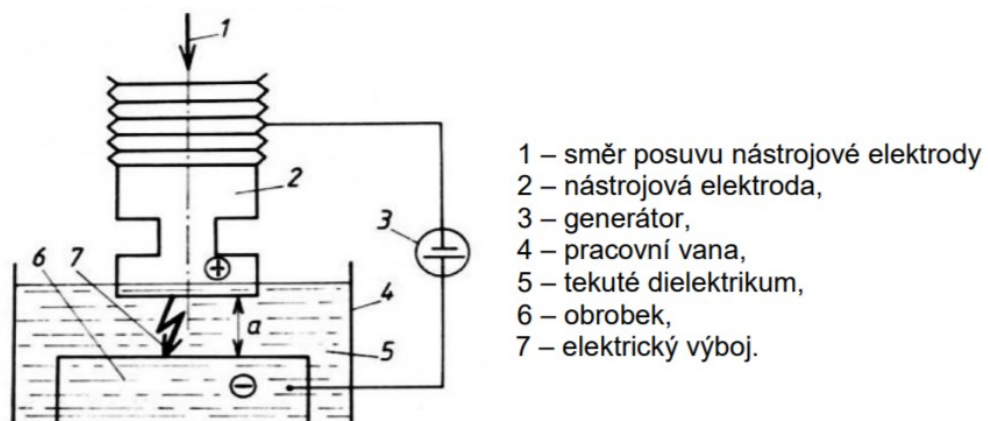
Obr. 11 Využití CAD/CAM systému [24]

4 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ

Při použití technologie elektroerozivního obrábění dochází k úběru materiálu pomocí elektrického výboje mezi katodou a anodou v podobě nástroje (elektrody) a obrobku ponořené do dielektrika. V této kapitole bude rozebráno elektroerozivní obrábění z pohledu fyzikálního principu a možností elektroerozivního obrábění. [25]

4.1 Princip elektroerozivního obrábění

K úběru materiálu dochází za vzniku elektrického výboje, který probíhá za pomoci periodicky opakujících se impulzů. Při elektrickém výboji pozorujeme narušení materiálu a vznik kráterů na elektrodách. Úběr materiálu probíhá tavením a vypařováním mikročástic, které jsou odváděny pomocí dielektrika. Na ponořené elektrody v dielektriku je připojen zdroj elektrického napětí. Princip elektroerozivního obrábění je zobrazen na Obr. 12. Se zvyšujícím se elektrickým napětím dochází v prostoru mezi elektrodami vznik pochodů, které vedou k průrazu dielektrika a ke vzniku elektrického výboje. Místo, kde elektrický výboj vznikne, se označuje jako místo s nejsilnějším elektrickým napětovým polem. V napětovém poli lze sledovat pohyb volných kladných a záporných iontů. V okamžiku, kdy dojde k překonání dielektrika, dochází ke vzniku ionizovaného prostředí a mezi elektrodami začíná protékat elektrický proud. Vzniklé plazmové pásmo, které má velmi vysokou teplotu, je příčinou strukturálních a tvarových změn elektrod. Jakmile dojde k přerušení elektrického proudu, nastane prudké ochlazení a natavený materiál na elektrodách je z místa odveden pomocí elektrodynamických sil a spádu vnitřních napětí v důsledku teplotního pole. Je velmi důležité, aby byl natavený materiál odveden z prostoru mezi elektrodami za prostřednictví dielektrika a nedocházelo k ovlivnění dalšího výboje. [4,12]



Obr. 12 Elektroerozivní obrábění [27]

4.2 Druhy elektrického výboje

Při elektroerozivním obrábění může dojít k následujícím druhům výboje:

- **Nestacionární výboj** (výboj s jiskrou)
- **Stacionární výboj** (výboj s elektrickým obloukem)

Nestacionární výboj se se vyznačuje krátkou dobou trvání impulzů. Dále je dosahováno vysokých frekvencí a hustota elektrického proudu je se pohybuje $10^6 A \cdot mm^{-2}$. Ve výbojovém kanále jsou dosahovány teploty až 12 000 °C. Při průběhu výboje s jiskrou převažuje elektronová vodivost, což znamená, že k většímu úběru materiálu dochází na anodě. Nestacionární výboj je vhodné použít k dokončovacím operacím, a to z důvodu menšího úběru materiálu. [4,12]

Stacionární výboj se vyznačuje delší dobou trvání impulzu. Hustota elektrického proudu se pohybuje v rozmezí $10^2 - 10^3 A \cdot mm^{-2}$ a teploty ve výbojovém kanálu se pohybují v rozmezí 3 300 °C až 3 600 °C. Při výboji převládá iontová vodivost, což znamená, že k většímu úběru materiálu dochází na katodě. Stacionární výboj se používá na hrubovací operace z důvodu možnosti velkého odběru materiálu. [4,12]

4.3 Parametry elektroerozivního obrábění

Velikost a tvar vzniklého kráteru má značný vliv na účinnost úběru materiálu, jakost povrchu a také na tvarovou přesnost výrobku. Velikost vzniklého kráteru je závislá především na velikosti přivedené energie do výboje a na časovém impulzu, což je možno korigovat zvolením vhodných technologických podmínek obrábění. Současné stroje umožňují nastavit velké množství technologických podmínek pro dosažení stabilního procesu obrábění a možnost kontrolovat průběh impulzů. Ve většině případů není nutné nastavovat všechny parametry obrábění. Generátory moderních strojů mají adaptivní řízení technologických podmínek pro řízení elektroerozivního obrábění. [26,28]

Základní parametry, které ovlivňují proces úběru materiálu jsou:

- **Pracovní proud**
- **Zapalovací napětí**
- **Vzdálenost mezi elektrodami**
- **Čas trvání jednoho pulzu**

- **Čas prodlevy mezi jednotlivými pulzy**

Pracovní proud je jedním z hlavních parametrů. Hodnota pracovního proudu určuje, kolik energie je přivedeno do jiskry. Při použití nadměrného pracovního proudu může způsobit zahřátí elektrody (nežádoucí jev), což má za následek její velké opotřebení. Deformace elektrody ovlivňuje finální tvar a rozměr erodované plochy. [29]

Zapalovací napětí udává velikost napětí při zapojení generátoru. Při dosažení tohoto napětí dochází k průrazu dielektrika a vzniká výboj. Zapalovací napětí umožňuje zapálit jiskru tak, aby byla dodržena dostatečná vzdálenost mezi elektrodami. Je – li přivedeno větší zapalovací napětí, dovoluje zvětšit jiskrovou mezeru a pomáhá ke stabilitě erodování. Zapalovací napětí také určuje polaritu elektroerozivního obrábění. V případě, že je použito kladné zapalovací napětí, je obrobek anodou a nástroj katodou. Tento případ se také označuje jako přímá polarita. Je – li použito záporné zapalovací napětí, jedná se o nepřímou polaritu. [12,29]

Vzdálenost mezi elektrodami je závislá na velikosti zapalovacího napětí a vlastnostech dielektrika. Je – li vzdálenost mezi nástrojovou elektrodou a obrobkem příliš velká, je velmi obtížné prorazit dielektrikum. V opačném případě, kdy je vzdálenost malá, dochází k průrazu dielektrika hned a vzniká oblouk, který doprovází světelná emise. Proces se v této chvíli stává nestabilní. [12,28]

Čas trvání jednoho pulzu je doba mezi připojením a odpojením generátoru při jednom cyklu výboje. Množství odebraného materiálu je závislé na velikosti energie, která je spotřebována během jednoho cyklu. Čím vyšší je hodnota času trvání jednoho výboje, tím vyšší je úběr materiálu během jednoho cyklu. Vznikají větší krátery a teplo prostupuje hlouběji. [28]

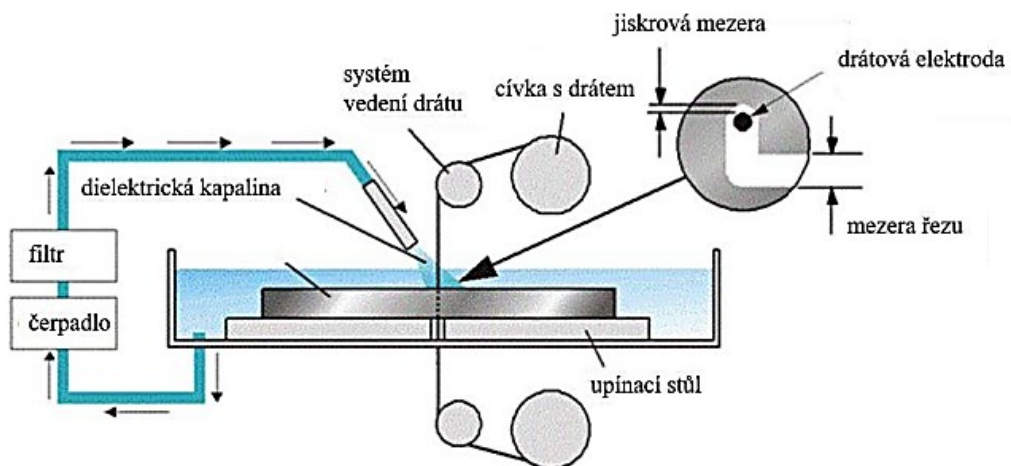
Aby byly zabezpečeny stabilní výboje, je nutné zajistit obnovování dielektrika v prostoru mezi elektrodami a zajistit tak dielektriku jeho izolační schopnosti pro následný výboj. Tohoto jevu lze docílit vypnutím generátoru na předem určený čas nebo – li označováno také jako prodleva mezi pulzy. Pokud by nebyla doba mezi cykly dostatečně dlouhá v pracovním prostoru by se vyskytovalo ionizované dielektrikum, které by mělo za následek nestabilních výbojů. [28]

4.4 Druhy elektroerozivního obrábění

V této kapitole budou rozebrány vybrané druhy elektroerozivního obrábění a popsány principy metod.

4.4.1 Elektroerozivní drátové řezání

Elektroerozivní drátové řezání, označováno zkratkou WEDM (Wire Electrical Discharge Machining) je způsob elektroerozivního obrábění, kde je nástrojová elektroda zastoupena v podobě odvíjejícího se drátu. Princip elektroerozivního drátového řezání je zobrazen na Obr. 13. [28]

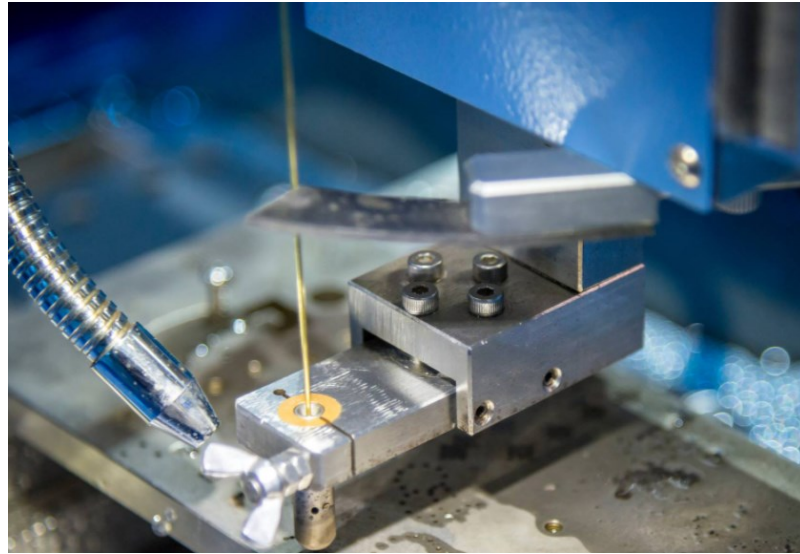


Obr. 13 Elektroerozivní drátové řezání [30]

Tenký drát musí být dostatečně napnutý, aby byla dosažena požadovaná přesnost řezu. Drát je napnut mezi vodícími válci, které je možno polohovat a tím měnit úhel řezu. Drát je určen pouze pro jedno použití z důvodu velkého opotřebení. Je důležité zajistit pohyb drátu během řezu, což je zajištěno postupným odvíjením drátu ze zásobníku pomocí naváděcích válců. [28]

4.4.2 Elektroerozivní vrtání

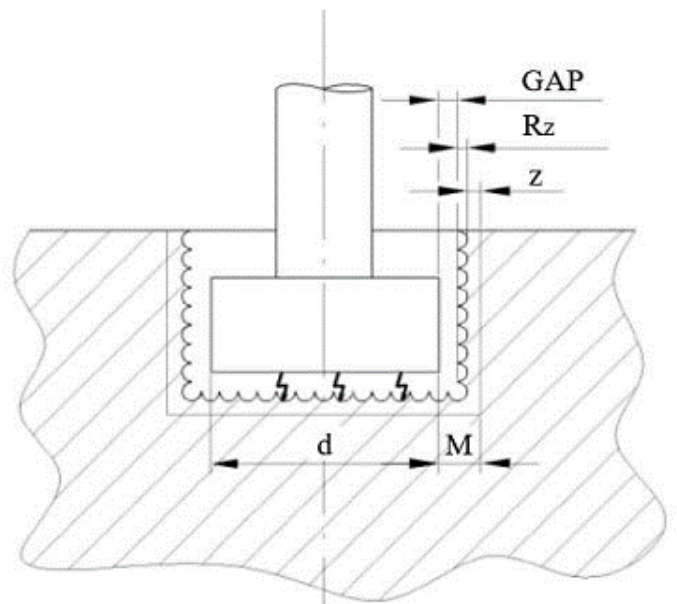
Nástrojem pro elektroerozivní vrtání jsou kulaté duté elektrody, které rotují kolem své osy. Většina používaných elektrod jsou vícekanálové z důvodu, aby materiál obrobku erodován i uvnitř a nevznikaly trny. Důležitým parametrem při elektroerozivním vrtání je vhánění dielektrika pod vysokým tlakem, díky němuž jsou částice z erodované plochy efektivně odplavovány viz Obr. 14. Kdyby nebylo zajištěno odvedení erodovaného materiálu, docházelo by ke zkratům. Elektroerozivní vrtání je využito na vrtání děr, jejichž průměr je 1 mm a míň. Jedná se o bezkontaktní metodu, tudíž jde zhotovovat hluboké díry, které mohou být i pod úhlem. Nejvhodnější materiály pro elektroerozivní vrtání jsou tvrdé a vodivé. [31,32]



Obr. 14 Elektroerozivní vrtání [31]

4.4.3 Elektroerozivní hloubení

Elektroerozivní hloubení používá tvarové elektrody pro hloubení dutiny, která má stejný tvar jak elektroda. Proces hloubení je realizován pomocí postupného pohybu nástroje na koncové souřadnice. Je třeba počítat, že dutina je zvětšena o velikost GAP viz Obr. 15. V případě, že není dodržena mezi nástrojem a obrobkem dochází ke zkratu. [28]



Obr. 15 Válcová elektroda pro elektroerozivní hloubení [27]

Celý proces hloubení využívá několik postupných operací s různými technologickými parametry. Postupuje se stejně jako u frézování a to tak, že se nejdříve používají hrubovací operace a poté dokončovací. Pro optimální proces hloubení je třeba využít rozdílné elektrody pro hrubování a dokončování. Před tím, než elektroda pronikne celou plochou do obrobku,

je třeba provést zajiskření. Tedy použít jemnější operace pře hrubování. V případě, že je dosaženo koncového bodu erodování, se stroj na krátký čas zastaví a je prováděno dojiskření. Poté následuje planetovací cyklus, při němž elektroda s definovanou dráhou rozšíří objem obráběné plochy, tak aby se elektroda dostala do všech míst a dokončování proběhlo, jak v ose hlavního vektoru, tak i prostorově. [28]

Elektroerozivní hloubení se používá pro obrábění děr s ostrými rohy, obrábění tvarových ploch s malými elementy a tenkostěnných příček. Konkrétní příklady jsou hloubení drážek pro pera, hloubení vnitřního drážkování, obrábění zápustek, forem pro vstřikování polymerů. [28]

5 TECHNICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY

Pod pojmem technická příprava výroby (TPV) chápeme soubor technicko – ekonomických činností, které jsou v podniku realizovány a mají za úkol zvolit nejvíce efektivní řešení pro zhotovení výrobku. Odsouhlasené řešení musí splňovat konkurenci schopnost a efektivní soubor činností pro proces přípravy výroby. Příprava výroby klade důraz na vysokou jakost výrobku a jeho co nejrychlejší zavedení do výroby. TPV se skládá ze tří samostatných skupin:

- Konstrukční
- Technologická
- Organizační

Jednotlivé úkoly mají ve firmě samostatně pracující týmy, které mají za úkol zdokonalovat provedení jednotlivých skupin a tím zlepšovat celkovou TPV. [33]

5.1 Konstrukční příprava výroby

Podobně jako TPV, je i konstrukční příprava výroby velmi rozsáhlý soubor činností. Konstrukční příprava výroby je chápána jako příprava veškeré potřebné dokumentace, která je použita při každém dalším kroku přípravy výrobku a také při samotné výrobě. Pod pojmem konstrukční dokumentace se rozumí:

- Výkresová dokumentace výrobku
- Kusovníky
- Sestavy
- Výkresy přístrojů a pomůcek

Zásadní při tvorbě konstrukční dokumentace je, aby obsahovala veškeré potřebné údaje s dobrou přehledností a vhodným označením. Pouze v takovém případě bude zajištěn kvalitní vstup pro následující TPV. Důležitou roli zde hraje také pružnost dokumentace, aby mohla být v budoucnosti kdykoliv upravena. Je – li zapotřebí zhotovení větších a složitějších výrobků, stoupá význam kvalitně zpracované dokumentace, čemuž může pomoci značení výkresů číslováním. [33,34]

5.2 Technologická příprava výroby

Technologická příprava výroby neřeší pouze principy výroby, ale zajišťuje volbu technologie, informace o spotřebě materiálu a dalších zdrojů. Snahou technologické přípravy výroby je minimalizovat náklady a maximalizovat urychlení TPV.

Kromě jiného řeší technologická příprava výroby bezpečnost práce či hygienická opatření. Pojem technologičnost konstrukce se skládá z několika úloh. Kontroluje se návrh konstrukce, dále je zde zahrnuta příprava prototypu a kontrola výkresové dokumentace. Je zde také odůvodněna volba materiálu pro navržený výrobek, dále pak správné zvolení technologického postupu. Při navrhování výrobku se usiluje o jeho geometricky jednoduché tvary, ale i o dostupnost při opracování. Stejně velký důraz je kladen na jakost opracování povrchu. Hlavním úkolem je v této fázi příprava postupů, norem, předpisů. Se kterými bude pracováno při realizaci výrobku. V této fázi tedy vzniká obsah, dostupnost a přehlednost dokumentace, jež hraje zásadní roli při zrychlování a zkvalitňování výrobního procesu. Dokumenty vznikající v průběhu technologické přípravy výroby jsou:

- Technologické návodky
- Pracovní postupy
- Montážní schémata
- Technické normy

Dalším výstupem může být například protokol o výstupní kontrole kvality či záznam o korektnosti měřících přístrojů. Dále pak nachystat podklady pro veškeré speciální pomůcky a stanovit pravidla pro jejich manipulaci.

Je třeba myslet na to, že zaměstnanci nepotřebují znát veškeré informace, které se týkají technologických příprav. Jelikož čím větší množství informací bude obsahovat jedno pracoviště, tím větší je šance, že časem vznikne chyba. Technolog by měl předávat pracovišti jen ty informace, které jsou nezbytné k provedení operace. [33,35]

5.3 Organizační příprava výroby

Organizační příprava výroby je třetí stupeň TPV. Hlavním úkolem je zefektivňovat a organizovat výrobní proces, tedy dosáhnout co neoptimálnějšího rozmístění strojů v hale, dále přemísťovat produkty mezi jednotlivými technologickými operacemi. Organizační

příprava výroby také počítá s komunikací zásobování skladu materiálu. V podstatě se jedná o minimalizování časových ztrát, které vznikají při velkém množství manipulací.

Hlavní úkol je na základě informací a hmotných toků navrhnout co nejoptimálnější rozmístění pracovišť pro návaznost technologických operací. Dalším úkolem je vytvoření pracovních skupin, tak aby byla zajištěna dostatečná kvalifikace pracovníků včetně potřebného školení. Svou roli zde hraje také způsob a místo skladování včetně přepravy materiálů či jednotlivých strojů.

Zaměříme – li se na uspořádání strojů na hale, lze na základě klíčových faktorů rozdělit uspořádání do několika skupin. Radíme zde rozsah výroby (sériová či kusová), předpoklad automatizace výroby, technickou vybavenost firmy, charakter výrobku, případné existence jiných typově podobných výrobků. Důležitou součástí je také specifikace norem, dle kterých se výroba musí řídit. Nejčastěji se jedná o organizační normy, které sledují výrobu z hlediska časové náročnosti. [34]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL PRÁCE

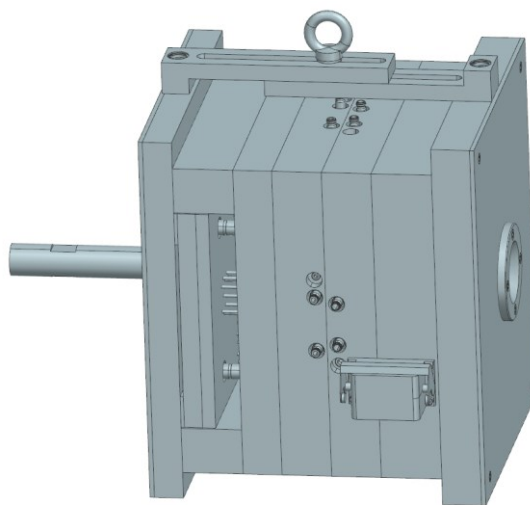
Cílem praktické části diplomové práce je navrhnout výrobní postup pro jednotlivé části vstřikovací formy. Dále zvolit potřebné nástroje pro výrobu včetně řezných podmínek. Nástroje musí splňovat podmínku obrobiteľnosti oceli 1.2343 a celková výroba musí splňovat tyto podmínky:

- Dodržení normalizace
- Využití obráběcího centra DMU 50
- Navrhnout kontrolu zhotovených geometrií
- Vygenerování dráhy nástrojů pro případné obrábění

Cílem práce je také zhotovit finanční analýzu výroby součástí a provádět průběžné měření vyráběných součástí.

7 VSTŘIKOVACÍ FORMA

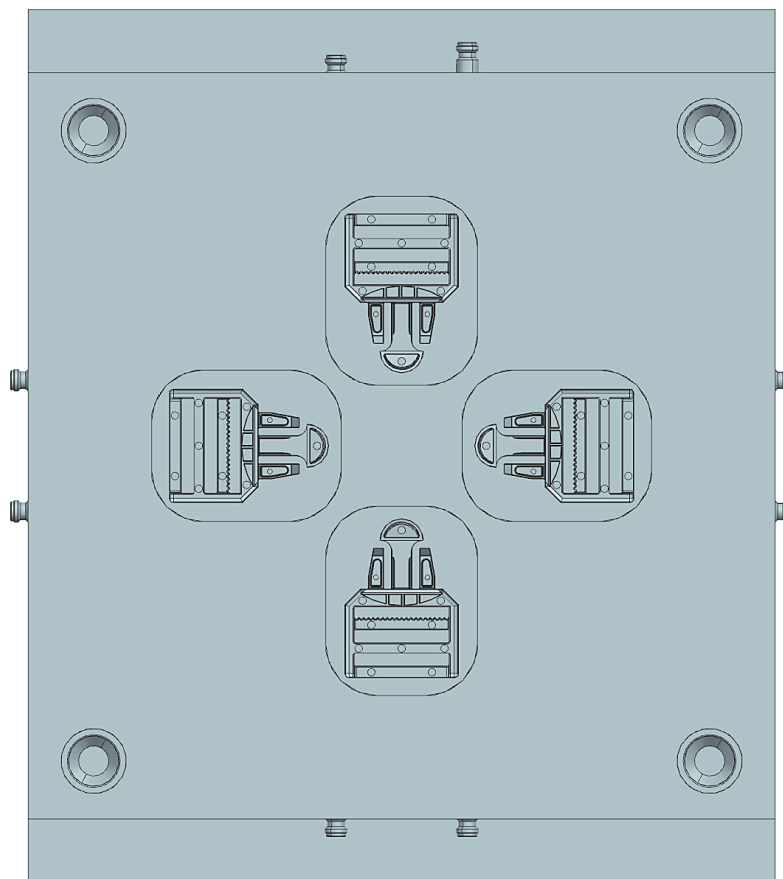
Vstřikovací forma byla vytvořena v konstrukčním programu CATIA V5 a slouží pro výrobu upínacích spon pro batoh. Forma se skládá z dvanácti desek. Materiál zvolený pro desky vstřikovací formy je 1.2343. Jedná se o nástrojovou ocel, která se vyznačuje dobrou houževnatostí, tvárností za tepla a obrobiteľností. Dále je charakteristické pro vybranou ocel, že dobře odolává tepelnému zatěžování a dobře snáší teplotní rázy. Hlavní výhodou je, že při výrobě je nástroje možné chladit vodou. Tvrdost po kalení je stanovena na 52 HRC. Pro samotnou výrobu byly navrženy již zformátované a obroušené desky, aby tak došlo k co nejmenším chybám při obrábění. Před samotným programováním jednotlivých desek byla provedena vizuální kontrola jednotlivých desek. V případě nevyrobitelných geometrií upraveno a proveden rozbor v práci. U zadané formy se objevila pouze jedna zásadní chyba, a to nulová geometrie na stěně, do které zapadá tvarová vložka. Hlavní rozměry vstřikovací formy jsou 346x296x36 mm. Vstřikovací forma využívá k transportu závěsné oko. Díky takto navržené konstrukci je jednoduché pomocí jeřábu či manipulátoru s formou libovolně pohybovat. Forma je složena z knihovny komponentů od firmy HASCO viz Obr. 16. Zadaná forma obsahuje jednu dělicí rovinu a vstříknutý výrobek je navržen na pohyblivé části formy, kde je dále pak vyjmut pomocí vyhazovacího systému. Při kontrole vstřikovací formy bylo zjištěno, že tvarové vložky nepůjde zhotovit pomocí konvenčních obráběcích metod. Dutiny obsahují velmi malé rádiusy, na které bude potřeba využít nekonvenční metody obrábění. Zvolená technologie nekonvenčního obrábění je elektroerozivní obrábění. Tvarové vložky, budou předchystané na frézovacím stroji, v co největší možné míře dovoleného opracování pomocí konvenčních metod a dále pak poslány na elektroerozivní obrábění. [36]



Obr. 16 Zadaná vstřikovací forma

7.1 Násobnost formy

Vstřikovací forma je navrhována jako čtyřnásobná viz Obr. 17. Hlavním parametrem pro násobnost formy je velikost rozměru tvárníku. Na základě velikosti výrobku se konstruktér rozhodne pro násobnost formy. Jedním ze zásadních problémů je rozvod kanálků a jejich délka. Kanálky zajišťují, že tavenina dorazí do formy ve stejnou dobu. Dalším důležitým aspektem pro násobnost formy je ekonomická stránka výroby. Vše je založeno na komunikaci se zákazníkem. Veškeré zmíněné parametry hrají důležitou roli pro násobnost formy.

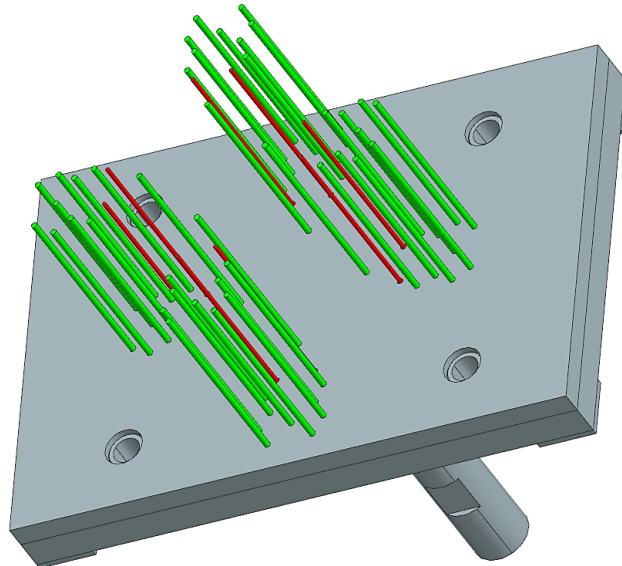


Obr. 17 Násobnost zadané formy

7.2 Vyhazovací systém formy

Z Obr. 18 vyplývá, že o rovnoměrné vyhození výrobku z formy se stará 48 válcových vyhazovačů, z čehož čtyřicet má průměr 3,2 mm (označeny zelenou barvou) a osm průměr 3 mm (označeny červenou barvou). Vyhazovače jsou konstruovány tak, aby nezasahovaly do pohledové strany výrobku. Každý vyhazovač je zapuštěný ve vyhazovací desce B a

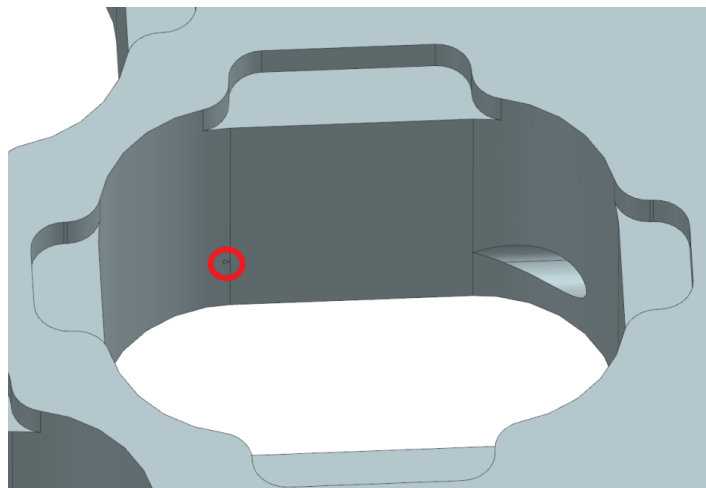
přikrytý vyhazovací deskou A. Obě desky společně s vyhazovači jsou připojeny pomocí šroubu k táhlu.



Obr. 18 Vyhazovací systém formy

7.3 Tvárník

Při kontrole tvarových ploch byla objevena chyba, která by ve výrobě mohla vést ke kolizi. Jednalo se o nulovou geometrii na stěně tvárníku viz Obr. 19, která vznikla konstrukční chybou a pro výrobu součásti musela být odstraněna, jak z důvodu bezpečnosti, tak z důvodu správného fungování formy. Kdyby tam tato geometrie zůstala nedošlo by k dokonalému dosednutí tvarové vložky do tvárnice, a to by vedlo ke špatnému fungování formy.



Obr. 19 Nulová geometrie v desce tvárníku

8 CNC FRÉZKA DMU 50

Jako stroj byla zvolena 5-ti osá obráběcí frézka DMU 50. Hlavní předností frézky je, že umožňuje využít naklápění a zároveň otáčení pracovního stolu, což vede k velké škále operací, které lze použít na jedno upnutí. Frézka umožňuje využít systém SIEMENS NX 1926, ve kterém jsou jednotlivé části formy programovány. Frézka byla vybrána na základě případného obrábění na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně, kde se frézka nachází v dílnách.



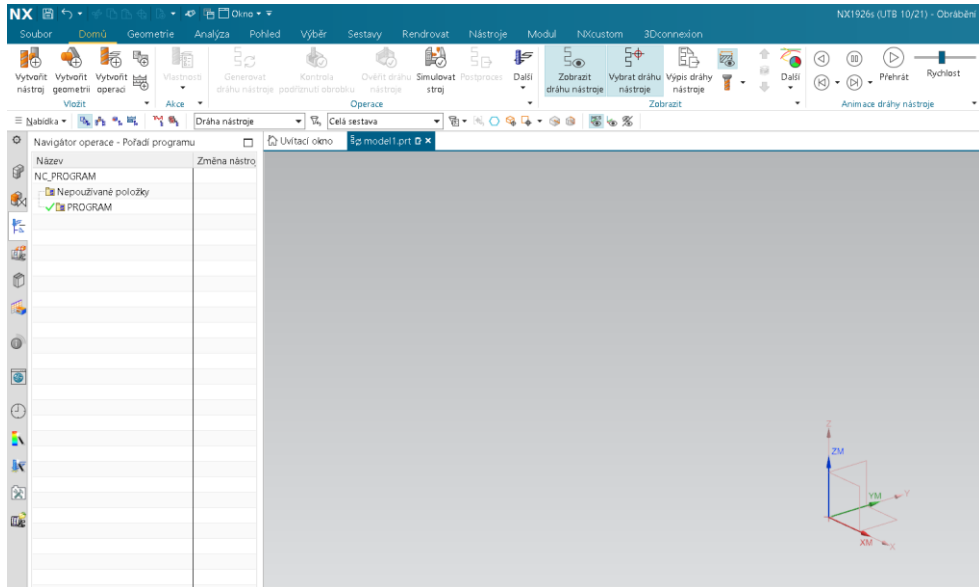
Obr. 20 Univerzální frézka DMU 50 [37]

Tab. 4 Základní parametry frézky DMU 50 [37]

Pojezd	
Max. osa X	500 mm
Max. osa Y	450 mm
Max. osa Z	400 mm
Rozměry stolu	
Max. Zatíženost	300 kg
Průměr stolu	630 mm
Vřeteno	
Standard. otáčky	14 000 ot./min
Max. otáčky	15 000 ot./min
Rozměry obrobku	
Max. výška obrobku	300 mm
Rychloposuv	
Max. pojezd v ose X	30 m/min
Max. pojezd v ose Y	30 m/min
Max. pojezd v ose Z	30 m/min

8.1 CAM prostředí NX1926

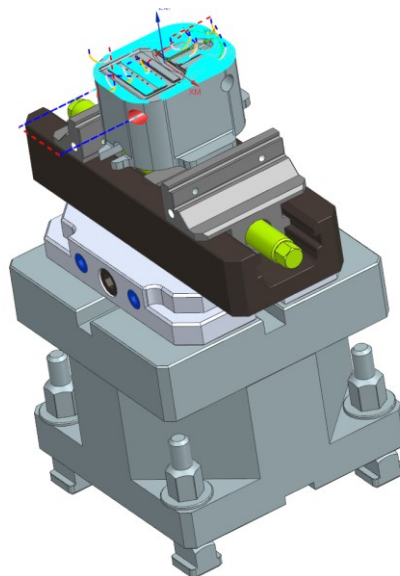
Všechny komponenty vstřikovací formy byly programovány V CAM prostředí NX 1926, které je zobrazeno na Obr. 21. Jedná se o prostředí, které umožňuje využít velké množství operací počínaje od hrubovacích po dokončovací.



Obr. 21 CAM prostředí NX1926

8.2 Uživatelské možnosti

V případě použití CAM prostředí NX 1926 je umožněno využít pěti osých operací (Obr. 22), což výrazně zrychluje výrobu a snižuje celková náklady na výrobu.



Obr. 22 Ukázka 5-ti osého obrábění

9 VOLBA NÁSTROJŮ

Jednotlivé nástroje byly vybrány na základě požadovaných rozměrů a dostupnosti u výrobce. Dále musely splňovat vhodnost k obrábění zadaného materiálu. Jako dodavatel nástrojů byla zvolena firma SECO. Řezné podmínky byly voleny na základě osobní zkušenosti v kombinaci s doporučením od výrobce. Všechny nástroje budou v práci označeny pod obchodním číslem, který bude možno najít v přiloženém vyhledávači.

9.1 Fréza R217.94-1632.RE-12-3A

Pro lepší přehlednost bude fréza - R217.94-1632.RE-12-3A (viz Obr. 23) označována jako T1. Jedná se o frézovací hlavu, která má obráběcí průměr 32 mm, funkční délka hlavy je 40 mm. Fréza je vhodná jak pro čelní, tak pro boční obrábění. Dále byly k frézovací hlavě vybrány řezné destičky, které doporučil výrobce na základě obráběného materiálu s obchodním označením LOEX120716R-M09 F40M. Destičky mají 2 řezné hrany a rohový rádius 1.6 mm. Zvolené parametry pro obrábění jsou uvedeny v Tab. 5.



Obr. 23 Frézovací hlava R217.94-1632.RE-12-3A [38]

Tab. 5 Zvolené řezné podmínky pro nástroj R217.94-1632.RE-12-3A

ŘEZNÉ PODMÍNKY	
Řezná rychlost	165 m/min
Hloubka řezu	3 mm
Rychlost posuvu	650 mm/min
Posuv na zub	0.14 mm/zub

9.2 Fréza R217.69-0816.RE-10-2A

Pro lepší přehlednost bude fréza - R217.69-0816.RE-10-2A (viz Obr. 24) označována jako T2. Jedná se o frézovací hlavu, která má obráběcí průměr 16 mm, funkční délka hlavy je 23 mm. Dále byly k frézovací hlavě vybrány řezné destičky, které doporučil výrobce na základě obráběného materiálu s obchodním označením XOMX10T304TR-ME07 F40M. Destičky mají 2 řezné hrany a rohový rádius 0.4 mm. Fréza je vhodná jak pro čelní, tak pro boční obrábění. Zvolené parametry pro obrábění jsou uvedeny v Tab. 6. Zvolené řezné podmínky pro nástroj



Obr. 24 Frézovací hlava R217.69-0816.RE-10-2A [39]

Tab. 6 Zvolené řezné podmínky pro nástroj R217.69-0816.RE-10-2A

ŘEZNÉ PODMÍNKY	
Řezná rychlost	185 m/min
Hloubka řezu	2 mm
Rychlost posuvu	700 mm/min
Posuv na zub	0.09 mm/zub

9.3 Fréza JS554120D3C.0Z4C-SIRA

Pro lepší přehlednost bude fréza JS554120D3C.0Z4C-SIRA (viz Obr. 25) označována jako fréza T3. Jedná se o monolitní frézu, která má obráběcí průměr 12 mm a šířku rohového sražení 0.15 mm. Celková délka frézy je 100 mm a funkční délka 45 mm. Parametry obrábění jsou uvedeny v Tab. 7.



Obr. 25 Monolitní fréza JS554120D3C.0Z4C-SIRA [40]

Tab. 7 Zvolené řezné podmínky pro nástroj JS554120D3C.0Z4C-SIRA

ŘEZNÉ PODMÍNKY	
Řezná rychlost	200 m/min
Hloubka řezu	30 mm
Rychlost posuvu	2000 mm/min
Posuv na zub	0.12 mm/zub

9.4 Fréza JS520080D3C.0Z5-NXT

Pro lepší přehlednost bude fréza JS520080D3C.0Z5-NXT (viz Obr. 26 Monolitní fréza JS520080D3C.0Z5-NXT [41] označována jako fréza T4. Jedná se o monolitní frézu, která má obráběcí průměr 8 mm a šířku rohového sražení 0.08 mm. Celková délka frézy je 80 mm a funkční délka 30 mm. Parametry obrábění jsou uvedeny v Tab. 8.



Obr. 26 Monolitní fréza JS520080D3C.0Z5-NXT [41]

Tab. 8 Zvolené řezné podmínky pro nástroj JS520080D3C.0Z5-NXT

ŘEZNÉ PODMÍNKY	
Řezná rychlost	150 m/min
Hloubka řezu	26 mm
Rychlost posuvu	1200 mm/min
Posuv na zub	0.05 mm/zub

9.5 Volba vrtáků

Z důvodu velkého množství vrtáků budou vrtáky rozděleny do 2 skupin a to na vrtáky plátkové a vrtáky monolitní.

9.5.1 Vrtáky plátkové

Pro plátkové vrtáky byla zvolena karbidová výměnná destička od firmy SECO s obchodním označením SCGX050204-P2 T250D. Na Obr. 27 je vidět, že se na destičce nachází čtyři řezné hrany. Každá destička je ošetřena TiN povlakem, díky kterému jsou destičky odolné pro opotřebení. Tloušťka destička je 2,38 mm a rohový rádius 0,4 mm. Destičky byly zvoleny na základě možnosti upnutí plátkového vrtáku v rozsahu od 15mm do 20 mm. Pro lepší přehlednost budou plátkové vrtáky označovány jako T5. Parametry zvolené pro obrábění jsou uvedeny v Tab. 9. [42]



Obr. 27 Cermetová destička SCGX050204-P2 T250D [42]



Obr. 28 Ukázka plátkového vrtáku

Tab. 9 Zvolené řezné podmínky pro nástroje SCGX050204-P2 T250D

ŘEZNÉ PODMÍNKY	
Řezná rychlost	115 m/min
Rychlost posuvu	200 mm/min
Posuv na zub	0.12 mm/zub

9.5.2 Monolitní vrtáky MS

Monolitní vrtáky byly vybrány od firmy SECO s obchodním označením MS. Na vrtáky je nanesen speciální povlak TiAlN, který zajišťuje vysokou tvrdost a vysokou kvalitu otvorů bez předchozí nutnosti navrtání. Vrtáky jsou vyráběny v rozsahu od 2mm do 20mm. Pro lepší přehlednost budou monolitní vrtáky v práci uváděny jako T6. Parametry obrábění jsou uvedeny v Tab. 10.[43]



Obr. 29 Monolitní vrták MS [43]

Tab. 10 Zvolené řezné podmínky pro monolitní vrtáky

ŘEZNÉ PODMÍNKY	
Řezná rychlost	130 m/min
Rychlost posuvu	2000 mm/min
Posuv na zub	0.11 mm/zub

9.6 Strojní závitník

Strojní závitníky byly zvoleny od firmy SECO s obchodním označením MTP. Z důvodu drahého provozu stroje budou závity řezány do hloubky 3 mm. Závity jsou vyhotoveny na stroji z důvodu přesnosti závitu. Dodatečná hloubka závitu bude dořezána pomocí vratidla a závitníku ručně. Parametry pro obrábění jsou uvedeny v Tab. 11. Závitníky se vyrábí v sadě od 1 do 15 mm. Pro lepší přehlednost budou v práci závitníky označovány jako T7.



Obr. 30 Strojní závitník MTP [44]

Tab. 11 Zvolené řezné podmínky pro závitníky skupiny MTP

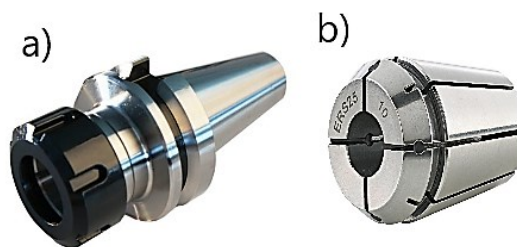
ŘEZNÉ PODMÍNKY	
Řezná rychlost	30 m/min
Rychlost posuvu	500 mm/min
NUTNOST CHLAZENÍ EMULZÍ	

9.7 Upnutí nástrojů

V této kapitole budou rozebrány navrhnuté upínače pro zvolené obráběcí nástroje.

9.7.1 Kleštinové upnutí

Kleštinové upnutí je nejdostupnější upnutí nástrojů s válcovou stopkou. Velkou výhodou kleštinového upnutí je, že umožňuje velký rozsah upnutí průměrů. Kleštinové upnutí se skládá z kleštinového upínače a kleštiny viz Obr. 31. Kleštiny se vyrábí ve velkém rozsahu průměrů od 2 mm do 25 mm. Tento typ upnutí je vhodný pro monolitní vrtáky, monolitní frézy či strojní závitníky.



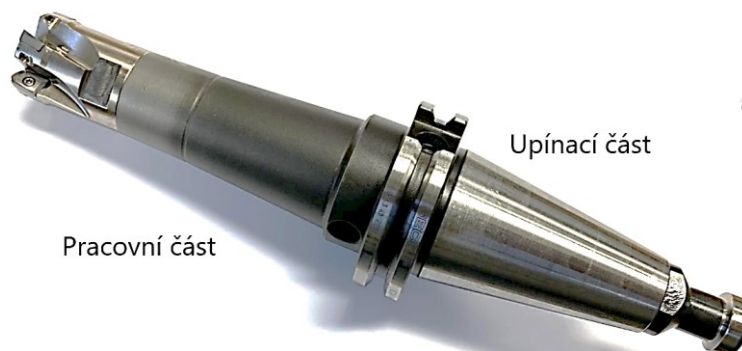
Obr. 31 Kleštinové upnutí

a) Kleštinový upínač, b) kleština

9.7.2 Upínací trn

Upínací trny lze obecně rozdělit na dvě části:

- Pracovní část – je opatřena požadovanou velikostí závitu. V našem případě se jedná o závity M16 (pro frézovací hlavu o průměru 32 mm) a M8 (pro frézovací hlavu o průměru 16 mm).
- Upínací část – umožňuje upnutí trnu do vřetene frézky. Upínací kužel musí splňovat normu DIN40 ADB/ CAT40, aby bylo umožněno upnutí do CNC frézky DMU 50.



Obr. 32 Ukázka upínacího trnu

9.7.3 Weldon upnutí

Tento typ upnutí je zvolen pro destičkové vrtáky. Jedná se o nejjednodušší možné upnutí, které využívá mechanické upnutí pomocí šroubku, který přenáší kroučící moment. Upnutí weldon se obecně považuje za velmi nepřesné z důvodu utahování šroubku, kdy může dojít k vychýlení těla nástroje. Proto bylo toto upnutí použito na díry, které nepožadují tak velkou přesnost.



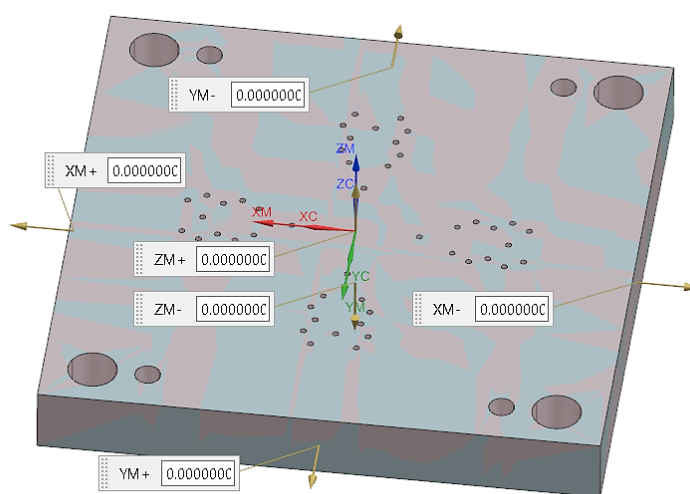
Obr. 33 Weldon upínač [45]

10 VOLBA POLOTOVARU

V této kapitole bude rozebrána volba polotovaru a jeho finanční hledisko. V práci jsou polotovary voleny přímo od výrobce normálií z důvodu, který bude rozebrán v dalších podkapitolách.

10.1 Polotovar bez přídavků

Polotovar vybraného materiálu bez přídavku s garantovanými tolerancemi od dodavatele o rozměrech 296x296x36 mm (viz Obr. 34) stojí dle katalogu dodavatele normálií 9200 Kč.



Obr. 34 Volba polotovaru bez přídavku

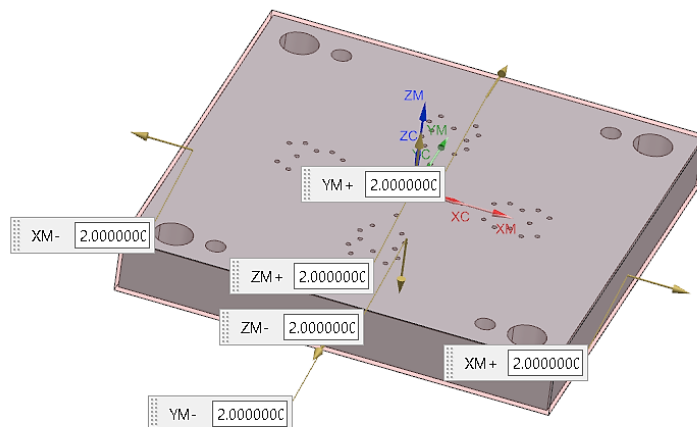
V případě vlastní výroby byl čistý strojní čas odhadnut na 28 minut. Stanovená cena pro CNC frézku DMU 50 je 2300 Kč/hod. Cena pro obsluhu CNC stroje byla stanovena na 200 Kč/hod. Výrobní cena desky je uvedena v Tab. 12.

Tab. 12 Cena zhotovené desky s použitím normalizovaného polotovaru

Náklady na výrobu	
Cena polotovaru	9 200 Kč
Strojní čas	0.5 h
CNC obsluha	1 h
Celková částka	10 550 Kč

10.2 Polotovar s přídávky

Polotovar z vybraného konstrukčního materiálu o rozměrech 300x300x40 mm bez jakékoliv úpravy je zobrazen na Obr. 35.



Obr. 35 Polotovar s přídávky

Na základě rozměrů polotovaru byla spočítána hmotnost, která činila 28,5 kg. Cena za kg materiálu byla po prozkoumání trhu stanovena na 105 Kč/kg. Cena frézky DMU 50 je 2300 Kč/hod. Cena pro obsluhu CNC stroje byla stanovena na 200 Kč/hod. V nákladech na výrobu jsou započteny i půl hodinové prodlevy na přípravu polotovaru a jeho upnutí na stroji. V tomto případě se jedná o 2 upnutí. Výrobní cena desky v tomto případě je uvedena v Tab. 13.

Tab. 13 Cena zhotovené desky s použitím hutního polotovaru

Náklady na výrobu	
Cena polotovaru	2 993 Kč
Strojní čas	4.5 h
CNC obsluha	4.5 h
Celková částka	14 243 Kč

Z analýzy volby polotovaru vyplývá, že z ekonomického hlediska je volba polotovaru zakoupeného od dodavatele normální levnější variantou. Dalším benefitem zakoupeného polotovaru je, že dodavatel garantuje rovinnost dodávaných desek. Což znamená, že je ve velké míře předcházeno vytvoření jakékoliv chyby.

11 PROGRAMOVÁNÍ SOUČÁSTÍ

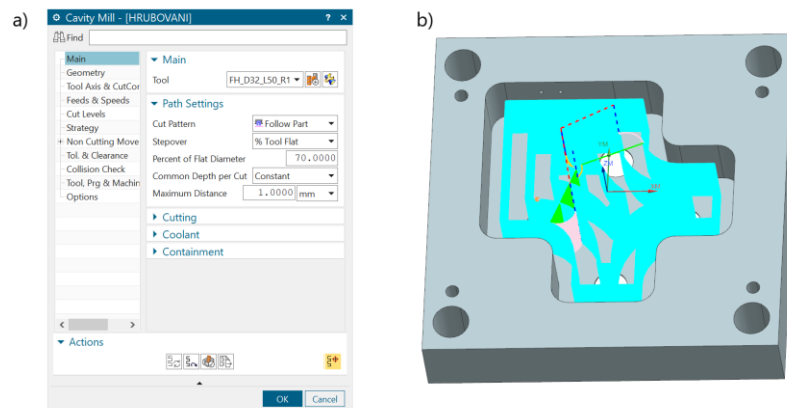
V této kapitole bude rozebráno programování vybraných součástí formy. Při konstrukci formy musí konstruktér již předpokládat způsob výroby a na základě toho volit tvary. V případě výroby vstřikovací formy má technolog na výběr ze dvou možností. Lze objednat již zformátované a broušené desky od výrobce normalizovaných komponentů nebo zakoupit polotovary s přídávky a desky si zhotovit na vlastním CNC stroji. V kapitole 10 bylo rozebráno, proč byly v práci jako polotovary vybrány již zformátované desky. Jedná – li se o neobvyklý tvar, je potřeba zvolit hutní polotovar o požadovaných rozměrech. Před umístění polotovaru na CNC stroj je potřeba vytvořit G – kód, který v sobě nese spoustu informací, jak o samotných nástrojích, tak i jejich dráhách. Před každým spuštěním G – kódu je třeba provést vždy korekci nástroje. Programování bude uskutečněno v programu NX 1926. V následujících podkapitolách budou rozebrány operace při tvorbě programování, které probíhalo stejným způsobem u všech součástí, jaký bude představen.

11.1 Výrobní operace

Výrobní operace musí být navrženy tak, aby na sebe navazovaly a postupovaly v logickém pořadí, a to od největšího průměru nástroje až po nejmenší. Tento postup je navržen z důvodu předcházení kolize nástroje s velkým množstvím zbytkového materiálu. Uvedené operace jsou použity v příložených přílohách.

11.1.1 Hrubování

Pro hrubování dutin či kapes byla v práci použita funkce Cavity Mill (Obr. 36). Parametry pro hrubování byly zadány v sekci Feeds and Speeds.

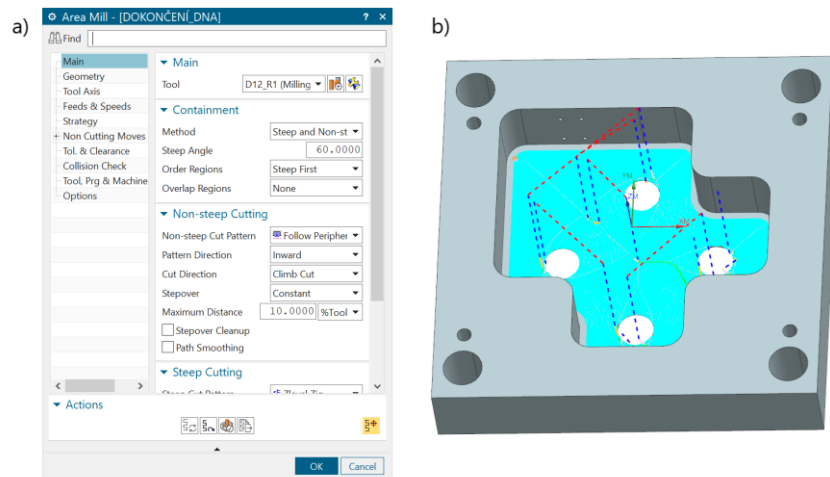


Obr. 36 Funkce Cavity Mill

a) Dialogové okno Cavity Mill, b) vygenerovaná dráha hrubování

11.1.2 Dokončení čelních ploch

Pro dokončení čelních ploch byla zvolena funkce Area Mill (Obr. 37). V záložce Specify Cut je třeba zvolit obráběnou plochu a v záložce Feeds and Speeds zadat požadované parametry pro dokončení. Parametry obrábění jsou voleny stejně v následujících představených operacích.

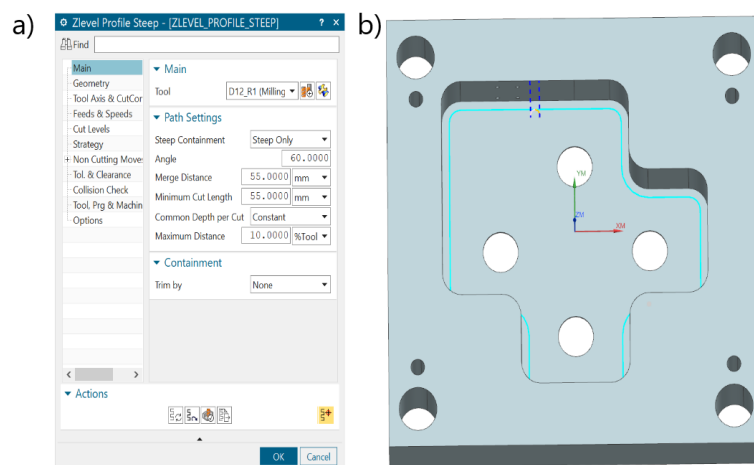


Obr. 37 Funkce Area Mill

a) Dialogové okno Area Mill b) vygenerovaná dráha dokončení čelních stěn

11.1.3 Dokončení obvodových ploch

Pro dokončení obvodových ploch byla zvolena funkce Zlevel Profile (Obr. 38). V záložce Specify Cut je třeba zvolit obráběnou plochu a v záložce Cut levels definovat hloubku řezu. Funkce byla použita i pro rozfrézování děr s tolerancí.

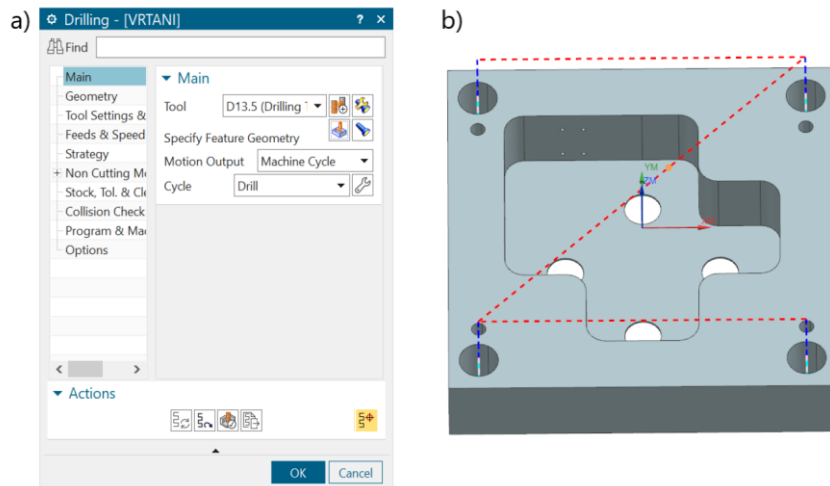


Obr. 38 Funkce Zlevel Profile

a) Dialogové okno Zlevel Profile b) vygenerovaná dráha dokončení obvodových stěn

11.1.4 Vrtání

Pro vrtání děr byla použita funkce Drilling (Obr. 39). V záložce Specify Feature Geometry je třeba zvolit díry a zadat, zda budou slepé či průchozí. Funkce byla použita i pro předvrtání děr pro závit.

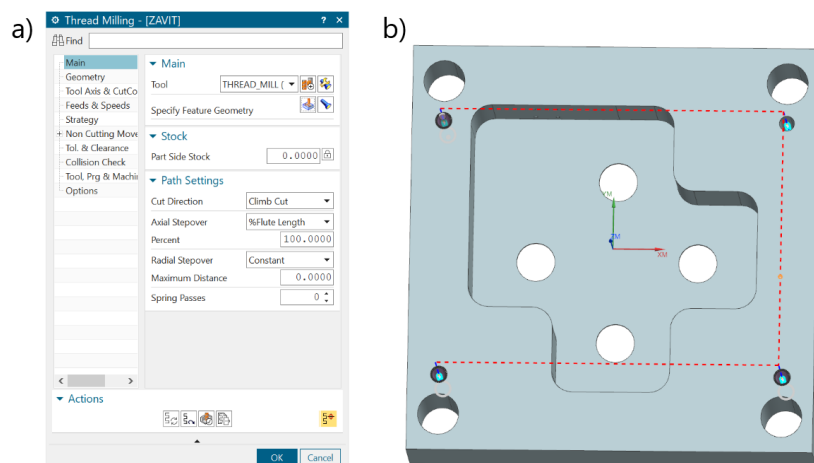


Obr. 39 Funkce Drilling

a) Dialogové okno Drilling b) vygenerovaná dráha vrtání

11.1.5 Tvorba závitu

Pro tvorbu závitu byla použita funkce Thread Milling (Obr. 40). V záložce Specify Feature Geometry je třeba zvolit díry a zadat hloubku závitu. Je důležité brát v potaz, že každý závit musí mít předvrtanou díru dle tabulek závitu.



Obr. 40 Funkce Thread Milling

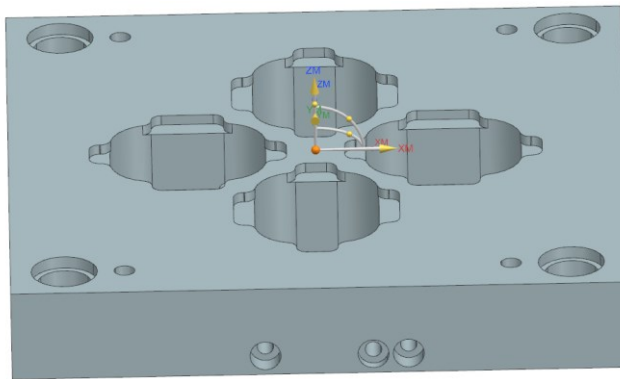
a) Dialogové okno Thread Milling b) vygenerovaná dráha řezání závitu

11.2 Programování tvarové desky

V této podkapitole bude ukázáno programování vybrané tvarové desky a programování tvarové vložky.

11.2.1 Založení projektu

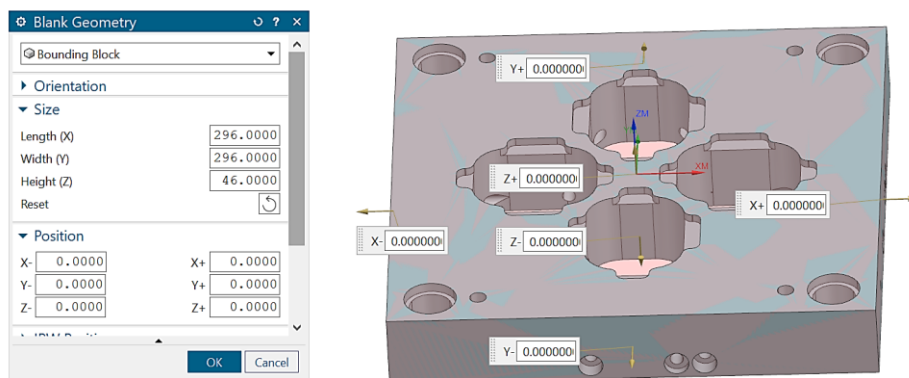
Vše začíná nahráním samotné součásti do programu a zvolení nulového bodu, který je důležitý pro správnou orientaci obrobku, nástroje a stroje viz Obr. 41. Z pravidla se osa X dává na nejdelší stranu výrobku. Zde se jedná o výrobek, který je čtvercového profilu. Osa Z musí vždy směřovat do budoucího vřetene. Z důvodu zaručené rovinnosti a přesných tolerancí byl nulový bod zvolen uprostřed a na povrchu součásti.



Obr. 41 Založení projektu

11.2.2 Zvolení polotovaru

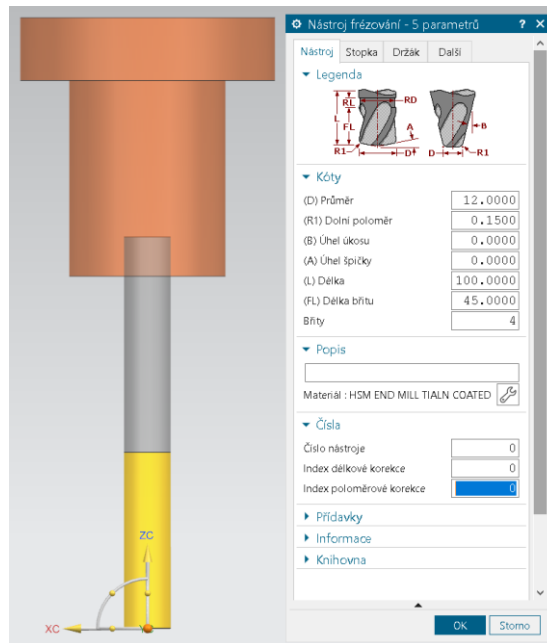
Polotovár byl v tomto případě zvolen 296x296x36 mm. Obr. 42 ukazuje, že při volbě polotovaru nebyly zvoleny žádné přídatky, protože se jednalo o již zformátované desky od výrobce.



Obr. 42 Zvolení polotovaru programu NX 1926

11.2.3 Tvorba nástroje

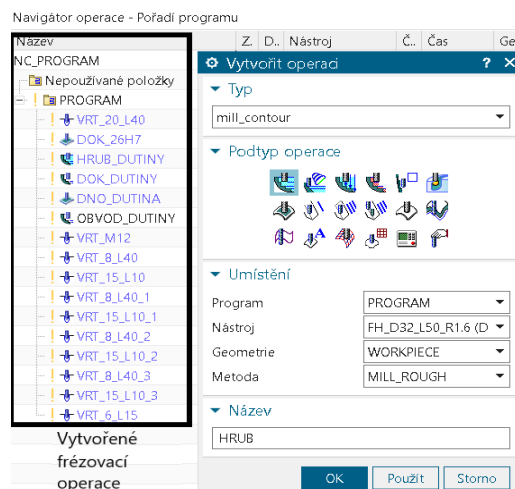
Před každým začátkem programování byly zvoleny a vygenerovány nástroje včetně držáku. Nástroje byly voleny na základě reálných rozměrů z důvodu minimalizace vzniku kolize. Na Obr. 43 Je zobrazena vytvořená fréza včetně držáku.



Obr. 43 Vytvořená monolitní fréza o průměru 12 mm

11.2.4 Tvorba operací

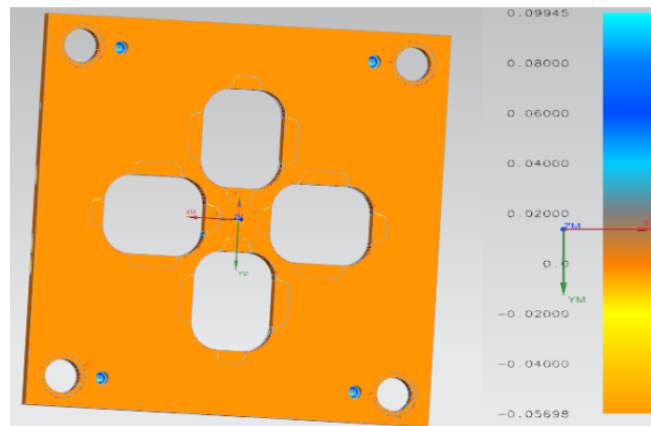
Jednotlivé operace byly voleny tak, aby následovala jejich logická posloupnost a byly zachovány požadované tolerance. Začínalo se vždy hrubovacími operacemi a následovaly operace dokončovací. Na Obr. 44 jsou na levé straně zobrazeny vytvořené operace a na pravé straně tvorba hrubovací operace.



Obr. 44 Ukázka vytvořených operací

11.2.5 Analýza zbytkového materiálu

Po naprogramování každé součásti byla provedena analýza zbytkového materiálu, zda je možné nachystat programový list pro dílenské zpracování. Na Obr. 45 je vidět, že zbytková analýza odhalila přebytek materiálu 0.099 mm. Po kontrole lze vidět, že přebytečný materiál zůstal v závitové díře po stopě od vrtáku. Tato informace tudíž nemusí být brána v potaz a lze považovat programování za úspěšné.



Obr. 45 Analýza zbytkového materiálu

11.2.6 Odhad čistého strojního času

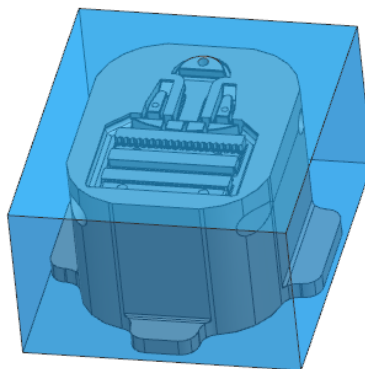
Po zadání všech řezných parametrů byl programem spočítán strojní čas. Tento čas nelze považovat za konečný, jelikož není počítáno s časem upnutí polotovaru ani s časem pro přípravu nástrojů. Dále je důležité brát v potaz, že nemusí být dodrženy stanovené řezné parametry na plno, které se určují na základě tuhosti stroje či nástrojů. Dle vygenerovaných čistých strojních časů byla spočítána celková cena na výrobu součásti. Na Obr. 46 je odhadnutý strojní čas zvýrazněn červenou barvou.

Název	Z.	D.	Nástroj	Č.	Čas	Geom...	Metoda	Posuv	Rychlost
NC_PROGRAM					02:16:27				
Nepoužívané položky					00:00:00				
PROGRAM					02:16:27				
VRT_20_L40	Ø	✓	D20	0	00:00:20	WORK...	DRILL_MET...	1000 mm/min	2069 rpm
DOK_26H7	Ø	✓	FM_D12_R0_1_L45	0	00:08:11	WORK...	MILL_FINISH	2000 mm/min	5305 rpm
HRUB_DUTINY	Ø	✓	FH_D32_L50_R1.6	0	01:01:36	WORK...	MILL_ROUG...	650 mm/min	1641 rpm
DOK_DUTINY	Ø	✓	FM_D16_L35_R2	0	00:48:59	WORK...	MILL_FINISH	700 mm/min	3680 rpm
DNO_DUTINA	Ø	✓	FD_D10_L40_R0.4	0	00:02:25	WORK...	MILL_FINISH	1500 mm/min	5730 rpm
OBVOD_DUTINY	Ø	✓	FD_D10_L40_R0.4	0	00:08:13	WORK...	MILL_FINISH	1500 mm/min	5730 rpm
VRT_M12	Ø	✓	D10.2	0	00:00:15	WORK...	DRILL_MET...	1000 mm/min	4057 rpm
VRT_8_L40	Ø	✓	D8_L35	0	00:00:17	WORK...	DRILL_MET...	1000 mm/min	5173 rpm
VRT_15_L10	Ø	✓	D15	0	00:00:11	WORK...	DRILL_MET...	200 mm/min	2440 rpm
VRT_8_L40_1	Ø	✓	D8_L35	0	00:00:17	WORK...	DRILL_MET...	1000 mm/min	5173 rpm
VRT_15_L10_1	Ø	✓	D15	0	00:00:12	WORK...	DRILL_MET...	200 mm/min	2440 rpm
VRT_8_L40_2	Ø	✓	D8_L35	0	00:00:23	WORK...	DRILL_MET...	1000 mm/min	5173 rpm
VRT_15_L10_2	Ø	✓	D15	0	00:00:18	WORK...	DRILL_MET...	200 mm/min	2440 rpm
VRT_8_L40_3	Ø	✓	D8_L35	0	00:01:30	WORK...	DRILL_MET...	200 mm/min	4576 rpm
VRT_15_L10_3	Ø	✓	D15	0	00:00:18	WORK...	DRILL_MET...	200 mm/min	2440 rpm
VRT_6_L15	Ø	✓	D6	0	00:00:03	WORK...	DRILL_MET...	1000 mm/min	6897 rpm

Obr. 46 Čistý strojní čas

11.3 Programování tvarové vložky

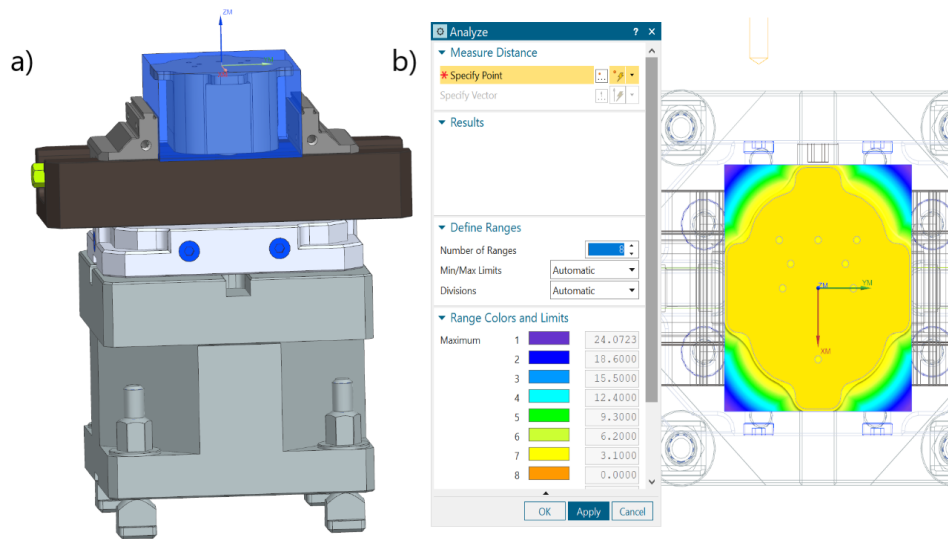
Pro tvarové vložky konkrétně tvárnice musel být zvolen hutní polotovár, jelikož se jedná o součást, která není normalizována. Velikost polotovaru (Obr. 47) byla zvolena na rozměry 97x82x50 mm.



Obr. 47 Tvarová vložka ve zvoleném polotovaru

11.3.1 První upnutí tvárnice

Na základě velikosti polotovaru mohl být pro upnutí zvolen svěrák. Obr. 48 zobrazuje upnutí do svěráku a stav zbytkového materiálu po obrobení první strany tvárnice. Do svěráku lze upnout součásti, které jsou spíše menšího rozměru. Jedná se o svěrák LANG, který je vybaven pro upnutí ke stolu upínacími čepy. Dle výrobce svěrák garantuje vystředění $\pm 0,2$ mm. Frézování proběhlo do hloubky 11 mm z důvodu nutnosti otočení výrobku a zhotovení druhé strany. Nulový zbytkový materiál bude označen oranžovou barvou.

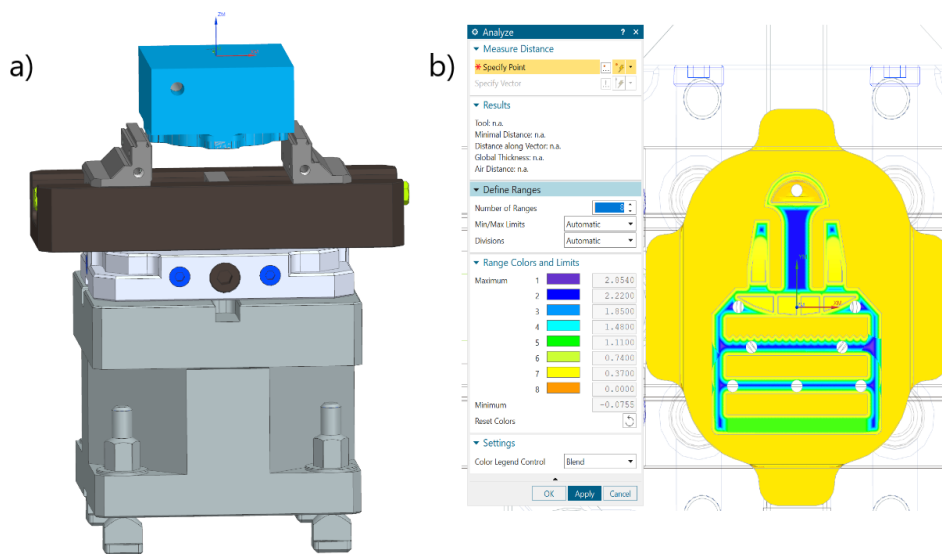


Obr. 48 První upnutí

a) Upnutí polotovaru, b) analýza zbytkového materiálu po obrobení první strany

11.3.2 Druhé upnutí tvárnice

Na Obr. 49 je zobrazeno upnutí tvárnice za již zhotovenou stranu. Dále byla provedena zbytková analýza, která odhalila přebytečný materiál v dutině tvárnice, se kterým se již počítalo před začátkem výroby, kdy z prvotního pohledu bylo jasné, že dutina bude muset být vyrobena pomocí elektroerozivního obrábění z důvodu nedostatkového místa pro frézy dostupné na trhu. Tudíž ponechaný zbytek nevádí.

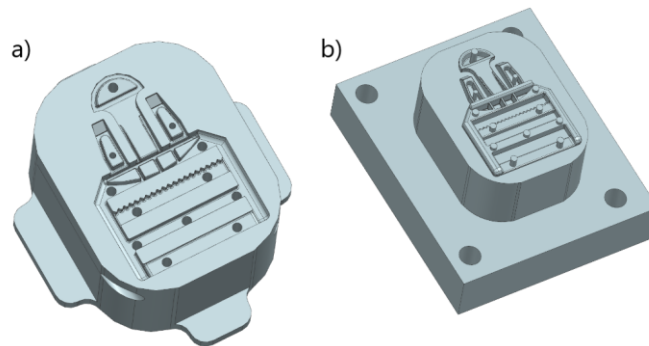


Obr. 49 Druhé upnutí

a) Upnutí za zhotovenou stranu, b) analýza celkového zbytkového materiálu

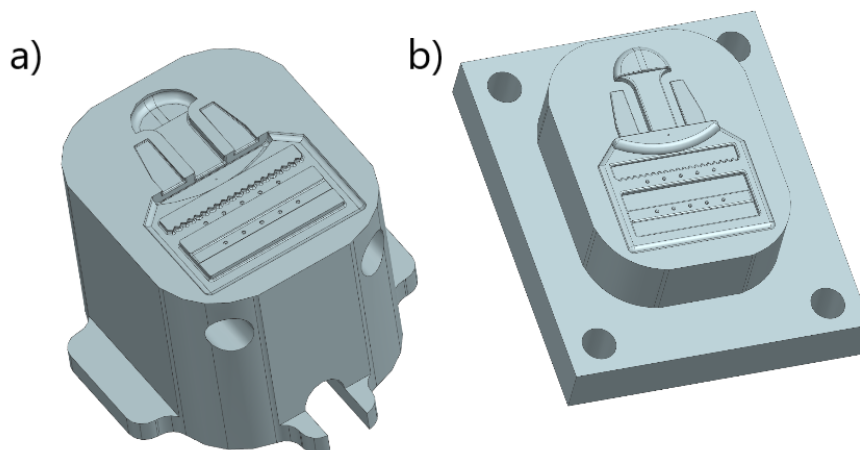
11.4 Zhotovení nástroje pro elektroerozivní obrábění

Pro nedostatek místa v dutině tvarové vložky byl navržen nástroj pro elektroerozivní hloubení. Při elektroerozivním hloubení dochází k opotřebení vytvořeného nástroje, proto byly tvarové vložky co nejvíce vyfrézovány a předvrtány na CNC frézce. Protože se jedná o hloubení tvarových součástí, musí být provedení elektrod perfektní, jelikož se jedná o pohledovou stranu výrobku a nejsou tolerovány žádné chyby. Na Obr. 50 a Obr. 51 jsou zobrazeny navržené nástroje pro elektroerozivní hloubení. Pro lepší orientaci budou zhotovené nástroje označovány jako T8.



Obr. 50 Nástroj pro elektroerozivní obrábění vložky tvárnice

a) Tvárník, b) nástroj pro elektroerozivní obrábění vložky tvárníku



Obr. 51 Nástroj pro elektroerozivní obrábění vložky tvárnice

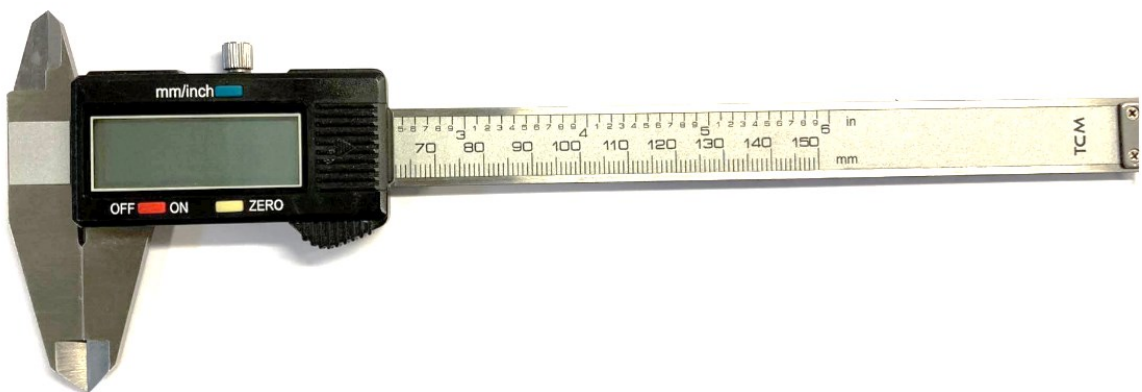
a) Tvárnice, b) nástroj pro elektroerozivní obrábění vložky tvárnice

12 KONTROLA VÝROBY

Kontrola kvality výroby je nedílnou součástí výrobního procesu. Kontrola se provádí v průběhu veškerých výrobních operací, a to z důvodů minimalizovat nepřesnosti, které by mohly vést k nesprávnému fungování výrobku. V rámci kvality se u většiny firem lze setkat s oddělením kontroly kvality výroby. Kvalita má značný vliv na chod firmy, jak už po stránce výroby zmetků, tak po stránce ekonomické. Důležitou součástí kvality je kontrolovat platnost měřidel. Každé měřidlo je opatřeno protokolem, který udává časový rozptyl, při kterém je zaručena kvalita měření. Vyprší – li doba, po kterou je zaručena kvalita měření, musí být přístroje neprodleně zaslány na kalibraci, kterou uskutečňují státem ověřené podniky. Po každé kalibraci je přístroji vystaven protokol o jeho způsobilosti.

12.1 Posuvné měřítko digitální

Jedná se o základní skupinu měřidel, kde je zobrazena milimetrová stupnice na pevné části a na posuvné části je noninova stupnice, na které dochází k odečítání hodnot. Měřicí rozsah se pohybuje v rozsahu od 160 mm do 2000 mm. Měřidlo je vhodné využít pro měření dálkových rozměrů za pomoci hlavních čelistí. Menší čelisti jsou určeny k měření otvorů a kruhových útvarů. Pomocí posuvného měřítka lze měřit také hloubku, a to díky výsuvnému hloubkoměru. Na Obr. 52 je zobrazeno digitální provedení měřítka, ale v praxi se lze setkat i s variantou analogovou. Pro lepší přehlednost bude měřidlo označeno jako M1.



Obr. 52 Posuvné měřítko digitální

12.2 Dotyková sonda

Dotykové sondy se nejčastěji využívají pro vstupní kontrolu rozměru polotovarů. Na

Obr. 53 lze vidět, že dotyková sonda je opatřena dotykovým hrotem. Při kontaktu s obrobkem se do stroje vyše signál o aktuální poloze. U dotykových sond lze také

pozorovat, že bývají opatřeny ofukovacím zařízením, a to z důvodu, že sonda pracuje v obráběcím prostoru a může dojít k jejímu znečištění, což by mělo za následek nesprávné odečítání hodnot. Používáním dotykových sond se předchází ve značné míře chybám, jelikož odpadá ruční ustavování obrobku, což vede ke větší efektivitě z důvodu menších prostojů stroje. Pro lepší přehlednost bude měřidlo označeno jako M2.



Obr. 53 Dotyková sonda DMG MORI

12.3 Závité trny

Závité trny bývají v praxi označovány jako závité kalibry. Pomocí kalibru lze měřit vyhotovený vnitřní závit po celé své délce. Na Obr. 54 lze vidět, že kalibry jsou oboustranné, kde jedna strana je opatřena červeným kolečkem. Červené kolečko (označeno červenou šipkou) značí, že tato strana je zmetková a závit lze šroubovat maximálně do dvou otáček. Správně zhotovenému závitu odpovídá delší váleček kalibru. Na každém závitém trnu lze pozorovat vyražený jmenovitý rozměr a jeho předepsanou toleranci, která může být vyražena přímo jako hodnota zkratka tolerančního pole. Pro lepší přehlednost bude měřidlo označeno jako M3.



Obr. 54 Závité trny

12.4 Skener scanControl 3D

Skenery se používají pro přesné měření 2D či 3D povrchů. Sken je prováděn pomocí pohybu snímače či obrobku. Skener využívá laserové triangulace. Princip je takový, že vysílaný paprsek v podobě bodu či přímky dopadá na měřený objekt a pod úhlem se vrací do přijímacího zařízení. Ten na základě úhlu odrazu vyhodnocuje vzdálenost měřeného objektu. Jedná se o nejvýkonnější skenery ať už z pohledu rychlosti, tak kvality. Využití skenerů je v měření rovinatosti, zaoblení či měření hloubky. Na trhu lze pozorovat skenery, které používají pro měření červený nebo modrý laser. Modrý laser se používá na měření předeřátých kovů na teplotu 700 °C. Pro potřebnou kontrolu vyhloubených dutin je navrhnout skener s červeným světlem viz Obr. 55. Pro lepší přehlednost bude měřidlo označeno jako M4. [46]



Obr. 55 Skener scanControl 3D [46]

12.5 Drsnoměr Surftest SJ – 210

Jedná se o přenosný dotykový drsnoměr (Obr. 56), který díky diamantovému hrotu umožňuje velmi přesné měření povrchu materiálu. Hlavní výhodou měřidla je, že nevyžaduje napájení elektrickou energií a v systému lze najít a porovnávat mezi mezinárodními normami. Přístroj má rozsah měření 360 μm a měřicí síla snímače je 0,75 mN. Pro lepší přehlednost bude měřidlo označeno jako M5. [47]



Obr. 56 Drsnoměr Surftest SJ – 210 [47]

13 FINANČNÍ ANALÝZA

Vstříkovací forma pro výrobu spon využívá obecných materiálů pro výsledné kalkulování. Ve finanční analýze bude rozebrána pouze samotná výroba, nikoliv montáž. Kalkulační vzorec bude obsahovat položky:

- Přímý náklad – bude se jednat o zakoupené materiály od dodavatele normálií.
- Osobní náklady – jedná se o samostatnou strojní výrobu
- Kooperace – bude použita v případě, že nebude kus možné vyrobít pomocí frézky DMU 50
- Výrobní režie – náklady na provoz strojů

Z důvodu lepší přehlednosti a s ohledem na předcházení chyb v následující analýze bude objednávka rozdělena na objednávku polotovaru (Tab. 14) a objednávku normálií (vodící čepy, pouzdra). S ohledem na velkou vytiženost stroje budou izolační desky objednány zhotovené již od dodavatele. Ceny jsou převzaty od dodavatele normálií pro rok 2022.

Tab. 14 Cena objednávaných polotovarů

Rozměr polotovaru [mm]	Cena MJ [Kč]	Množství	Cena [Kč]
Deska levá izolační 346x296x4	1 560	1	1 560
Deska pravá izolační 346x296x4	1 560	1	1 560
Deska 346x296x27	8 996	1	8 996
Deska 296x56x43	1 586	2	3 172
Deska 296x208x12	3 200	1	3 200
Deska 296x208x17	3 900	1	3 900
Deska 296x296x36	9 204	2	18 408
Deska 296x296x46	10 634	2	21 268
Deska 296x296x56	11 960	1	11 960
Polotovar tvárník 97x82x50	350	4	1 400
Polotovar tvárnice 97x82x50	350	4	1 400
Součet nákladů na materiál			76 824

V Tab. 15 jsou rozepsány hodinové sazby vygenerované systémem NX 1926. Na základě těchto hodnot byla spočítána částka na výrobu komponentů formy. Jedná se pouze o čisté strojní časy, to znamená, že není počítáno s manipulací, prodlevami ani s upnutím. Kalkulace nepočítá s odchylkami času, které jsou způsobeny náročnou manipulací některých součástí.

Tab. 15 Rozpis hodinových sazeb strojů

Výrobek	Stroj	Množství	Počet hodin [hod.]	Hodinová sazba [hod.]
Upínací deska levá	DMU 50	1	0.5	0.5
Upínací deska pravá	DMU 50	1	0.5	0.5
Rozpěrná deska levá	DMU 50	2	0.25	0.5
Opěrná deska pravá	DMU50	1	3	3
Kotevní deska levá	DMU 50	1	0.5	0.5
Kotevní deska pravá	DMU 50	1	0.5	0.5
Deska tvárnice	DMU 50	1	2.25	2.25
Deska tvárník	DMU 50	1	3	3
Tvárnice	DMU 50	4	2	8
Tvárnice	Elektroerozivní obrábění	4	2	8
Tvárník	DMU 50	4	2.5	10
Tvárník	Elektroerozivní obrábění	4	4	16
Deska vyhazovače A	DMU 50	1	0.5	0.5
Deska vyhazovače B	DMU 50	1	0.25	0.25
Součet hodinové sazby stroje				
Součet hodin DMU 50				29.5
Součet hodin elektroerozivní obrábění				24
Celkem				53.5

Pro prvotní smontování formy a ověření, že jsou jednotlivé součásti vyrobeny správně, byly objednány normálie, které jsou uvedeny v Tab. 16.

Tab. 16 Cena objednávaných normálií

Číslo	Objednávaná normálie	Množství	Cena MJ [Kč]	Cena [Kč]
1	Vodící čep Z01	4	1 500	6 000
2	Vodící čep Z02	4	1 200	4 800
3	Vodící pouzdro Z10	4	300	1 200
4	Vodící pouzdro Z20	4	200	800
5	Středící kroužek Ø 90 mm	2	650	1 300
6	Táhlo vyhazovače	1	1 200	1 200
7	Středící trubka Ø 25 mm	4	600	2 400
8	Trubkový vyhazovač 3 mm	8	250	2 000
9	Trubkový vyhazovač 3.2 mm	32	280	8 960
10	Šroub s imbusovou hlavou_ Z30	20	300	6 000
11	Šroub s imbusovou hlavou_ Z31	12	350	4 200
12	Závěsné oko	1	1 500	1 500
13	Zamykací zařízení	1	500	500
14	Spojka pro kapalinu	16	450	7 200
Cena celkem				48 060

Z důvodu, že forma bude montována v cizí firmě, nebude do nákladů započítán výhřevný blok, který se vyrábí na zakázku a jeho cena je určována dodavatelem normálií. Celkovou cenu lze vidět v Tab. 17. V tabulce jsou zahrnuty náklady na materiál a rozpis celkových hodin práce stroje. Do nákladů jsou započítány jak odpisy strojů, tak náklady na spotřebovanou energii. V neposlední řadě je započítán i krycí příspěvek, který byl zvolen 500 Kč/hod.

Celková cena formy je spočítána na 276 884 Kč za technologickou práci na jednotlivých komponentech. Cena formy se zákazníkovi navýší o horký výhřevný blok, kde je jeho cena získávána na poptávku.

Tab. 17 Celkové náklady

Náklady na vstříkovací formu			
Položka	Počet hodin [hod.]	Hodinová sazba [Kč/hod.]	Cena [Kč]
Nákup materiálu			124 884
Strojní náklady			
Frézování DMU 50	29.5	2 300	67 850
Elektroerozivní obrábění	24	1 500	36 000
Výrobní režie			
Odpisy strojů	53.5	250	13 375
Energie	53.5	150	8 025
Náklady celkovou výrobu			250 134
Krycí příspěvek	53.5	500	26 750
Celková cena			276 884

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout výrobní postup pro jednotlivé součásti formy pro frézovací centrum DMU 50. Teoretická část čtenáře seznamuje s použitými výrobními operacemi. Popisuje také CNC stroje, jejich základní charakteristiky, které je nutné znát při používání CNC strojů ve výrobě. Další část teorie se věnuje organizaci přípravy výroby a jejími základními prvky.

Praktická část představuje zadanou vstříkovací formu a v počátku odhaluje její případné nedostatky, vysvětluje volbu polotovaru a poukazuje na jeho finanční výhodnost. Dále jsou popsány stroje a nástroje, které jsou navrženy ve výrobním postupu a řešeny jsou i jejich řezné podmínky (řezná rychlost, rychlost posuvu a posuv na zub). V poslední části jsou provedeny generace jednotlivých drah a provedeno vyhodnocení výsledků. Součástí praktické části je také vyhotovení dvanácti příloh, které řeší problematiku výroby jednotlivých komponentů formy.

Vstříkovací forma byla zadána v programu Catia V5 a následně převedena do CAM softwaru NX 1926. Po prvotním seznámení s formou bylo vyhodnoceno, že vzhledem k velikosti jednotlivých komponentů, může být použito frézovací centrum DMU 50, které se nachází ve školních dílnách Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Dále jsou navrženy výrobní postupy včetně nástrojů a zvoleny řezné parametry. Nástroje byly voleny tak, aby bylo možné je upnout do frézovacího stroje DMU 50, kde jsou upínače zakončeny kuželem DIN40 ADB. Pracovní postupy byly navrženy včetně upnutí a v závislosti na pozici upínek jsou generovány dráhy nástrojů. Cílem je minimalizovat možné riziko případné kolize nástroje s upínkou. Po dokončení všech předepsaných postupů jsou jednotlivé součásti očištěny a zkontrolovány pomocí navrhnutých měřidel. Zde jsou použita jak základní měřidla, tak měřidla, které využívají nejmodernější technologie laserové triangulace. V neposlední řadě byla zhotovena finanční analýza, kde jsou rozepsány čisté strojní časy odhadnuté pomocí CAM softwaru. Do kalkulace byly započítány jak náklady na pořízení materiálu včetně objednaných normálií, tak náklady vzniklé odpisy strojů a jejich provozem. Odhadovaná cena výroby jednotlivých komponentů formy byla stanovena na 276 884,-Kč.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. Výrobní inženýrství a technologie. Ve Zlíně. Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.
2. ČEP, Robert a Jana PETRŮ. Technologie obrábění. Ostrava. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3012-4.
3. Machining&Milling [online]. [cit. 2021-9-8]. Dostupné z: <https://www.theengineersreference.com/tutorials/machining-milling/>
4. ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. Strojírenská technologie 3: Metody, stroje a nástroje pro obrábění (1. díl). Praha, 2000. ISBN 80-7183-207-3.
5. The Mechanical Engineering.com: Milling cutter [online]. [cit. 2021-9-9]. Dostupné z: https://themechanicalengineering.com/milling-cutter/#Milling_Cutter_Definition
6. GRZESIK, Wit. Advanced Machining Processes of Metallic Materials: Theory, Modelling and Applications. Elsevier Books, 2016. ISBN 9780444637116.
7. Coatings for cutting tools [online]. [cit. 2021-9-17]. Dostupné z: <https://www.statoncoating.com/en/coatings/coatings-cutting-tools>
8. ZPS frézovací nástroje [online]. [cit. 2021-9-17]. Dostupné z: <https://www.zps-fn.cz/cz/povlaky/>
9. PÍŠKA, Miroslav a Katrin BUČKOVÁ. Řezné materiály současnosti: Strojírenská technologie [online]. 2018 [cit. 2021-9-17]. ISSN 1211-4162. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rezne-materialy-soucasnosti>
10. HUMÁR, Anton. Technologie 1: Technologie obrábění [online]. 2003 [cit. 2021-10-5]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf
11. Habilis Steel: Tepelné upínání [online]. [cit. 2021-10-5]. Dostupné z: <https://habilis-shop.eu/page/tepelneupinani>
12. KOCMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM., 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
13. ŠTULPA, Miloslav. CNC: programování obráběcích strojů. Praha: Grada, 2015. ISBN 9788024752693.

14. CNCLATHING: Difference Between Roughing and Finishing [online]. 2021 [cit. 2021-10-5]. Dostupné z: <https://www.cnclathing.com/guide/what-is-roughing-in-machining-difference-between-roughing-and-finishing-cnclathing>
15. Volba nástrojů: Sandvik [online]. [cit. 2021-10-5]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/profile-milling.aspx>
16. Difference Between Roughing and Finishing in Machining [online]. [cit. 2021-10-8]. Dostupné z: <http://www.differencebox.com/engineering/difference-between-roughing-and-finishing-in-machining/>
17. SMID, Peter. CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming. Third edition. South Norwalk: Industrial Press Inc., U.S., 2008. ISBN 978-0-8311-3347-4.
18. Tool Notes: Coordinate systems [online]. [cit. 2021-10-12]. Dostupné z: <http://toolnotes.com/home/cnc-and-computer-aided-manufacturing/coordinate-systems/>
19. Technický týdeník: Akadémie CNC obrábění [online]. 2009 [cit. 2021-10-15]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-7_8542.html
20. Heidenhain: Dotykové sondy pro obráběcí stroje [online]. [cit. 2021-10-15]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/1113984-C2_Dotykov%C3%A9_sondy_cs.pdf
21. KANDRAY, Daniel. Programmable automation technologies: an introduction to CNC, robotics and PLCs. New York: N.Y.: Industrial Press, 2010. ISBN 0831133465.
22. KUBÍČEK, Lubomír. Technický týdeník: CNC PROGRAM [online]. Business Media CZ, 2019 [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/priklady-z-programovani-ridici-system-fanuc/nebojte-se-fanuc-programovani-seznamte-se-s-cnc-systemy-bez-hranic-iii_47315.html
23. Technický týdeník: Příklady z programování v CAD/CAM [online]. 2019 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.technickytydenik.cz/rubriky/priklady-z->

programovani-cad-cam/jak-se-pripravuje-nc-program-pro-cnc-obrabeci-stroje-i_47081.html

24. Siemens: Make Intelligent Tool Path Edits [online]. 2019 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://community.sw.siemens.com/s/article/make-intelligent-tool-path-edits>
25. MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie: Advanced methods of material removal. Košice: Vienaľa, 2000. ISBN 80-709-9430-4.
26. BHATTACHARYYA, Bijoy a Doloï BISWANATH. Modern Machining Technology: Advanced, Hybrid, Micro Machining and Super Finishing Technology. Elsevier Science Publishing, 2019. ISBN 978-0-12-812894-7.
27. BARCAL, J. Nekonvenční metody obrábění. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1989. (Obrázek)
28. SADÍLEK, Marek. Nekonvenční metody obrábění I: elektroerozivní, elektrochemické a chemické obrábění. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3943-1.
29. SUNDARESAN, Ramabalan a J. JEEVAMALAR. Die sinking EDM Process parametres review. In: International journal of mechanical engineering and robotics research. 2015. ISSN 2278-0149.
30. Engineering clicks: Wire EDM [online]. 2011 [cit. 2021-12-23]. Dostupné z: <https://www.engineeringclicks.com/wire-edm/>
31. Peroz: Elektroerozivní obrábění kovů [online]. [cit. 2021-12-23]. Dostupné z: <https://peroz.cz/sluzby>
32. PFLUGER, Brian. Metaalmagazine: SELECTING THE APPROPRIATE EDM TECHNOLOGY FOR HOLE-DRILLING APPLICATIONS [online]. 2015 [cit. 2021-12-23]. Dostupné z: https://www.metaalmagazine.nl/wp-content/uploads/2015/02/Makino_EDM_White_Paper_Final-1.pdf
33. NOVÁK, Josef. Organizace a řízení. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 9788024812236.
34. JUROVÁ, Marie. Organizace přípravy výroby. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 97880-214-3946-7.

35. EHAP, H. Technology optimization and change management for successful digital supply chains. Pennsylvania: Hershey, Pennsylvania, 2019. ISBN 9781522577003.
36. TOOLSTEEL [online]. [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: <http://toolsteel.cz/1-2343-x37crmo5-1-x38crmov5-1-19552/>
37. DMG MORI [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/petiose-frezovani/dmu/dmu-50-2nd-generation>
38. SECO TOOLS [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: https://www.secotools.com/article/p_02998337?pf=true
39. SECO TOOLS [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: https://www.secotools.com/article/p_02769181?pf=true&language=cs
40. HANS TREIBER [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.fraeser-shop.de/vhm-trochid-fraeser-12-mm-js554120d3c-0z4c-sira.html>
41. SECO TOOLS [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/?terms=JS554120D3C.0Z4C-SIRA&type=allsearchresults&language=cs&action=search&ion=products>
42. SECO TOOLS [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://www.secotools.com/article/p_00059711?pf=true&language=cs
43. SECO TOOLS [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://www.secotools.com/article/p_10004064
44. SECO TOOLS [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: https://www.secotools.com/article/p_03019172
45. SECO TOOLS [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: https://www.secotools.com/article/p_00071723
46. Micro epsilon: Laserové 3D skenery nejen pro inline kontrolu kvality [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: https://www.micro-epsilon.cz/2D_3D/3D-sensors/scanCONTROL/
47. STOOLS [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.stools-shop.cz/drsnomer-surftest-sj-210--mm-/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC	Computer Numerical Control
NC	Číslicové řízení
V_c	Řezná rychlost
D	Průměr nástroje
n	Otáčky nástroje
n	Otáčky nástroje
z	Počet břitů nástroje
f_z	Posuv na zub
f_n	Posuv na otáčku
π	Ludolfovo číslo
mm	Milimetr
μm	Mikrometr
mN	Mili Newton
Kg	Kilogram
MJ	Měrná jednotka
Kč	Koruna česká
°C	Stupeň celsia
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
2D	Plošné zobrazení
3D	Tvarové zobrazení
Hod.	Hodina

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ukázka frézování [3]	13
Obr. 2 Ukázka nástrojových materiálů současnosti [10]	15
Obr. 3 Ukázka tepelného upínače [11]	18
Obr. 4 Srovnání frézovacích operací [15].....	20
Obr. 5 Blokované schéma CNC stroje [13].....	21
Obr. 6 Řídící panel CNC stroje [13]	22
Obr. 7 Souřadnicový systém CNC stroje [18]	24
Obr. 8 Dotyková sonda [20]	25
Obr. 9 Zapsání programu pomocí bloků [22]	27
Obr. 10 Zapsání bloku [22].....	28
Obr. 11 Využití CAD/CAM systému [24].....	30
Obr. 12 Elektroerozivní obrábění [27].....	31
Obr. 13 Elektroerozivní drátové řezání [30].....	34
Obr. 14 Elektroerozivní vrtání [31]	35
Obr. 15 Válcová elektroda pro elektroerozivní hloubení [27].....	35
Obr. 16 Zadaná vstřikovací forma	42
Obr. 17 Násobnost zadané formy	43
Obr. 18 Vyhazovací systém formy	44
Obr. 19 Nulová geometrie v desce tvárníku	44
Obr. 20 Univerzální frézka DMU 50 [37]	45
Obr. 21 CAM prostředí NX1926	46
Obr. 22 Ukázka 5-ti osého obrábění	46
Obr. 23 Frézovací hlava R217.94-1632.RE-12-3A [38]	47
Obr. 24 Frézovací hlava R217.69-0816.RE-10-2A [39]	48
Obr. 25 Monolitní fréza JS554120D3C.0Z4C-SIRA [40].....	48
Obr. 26 Monolitní fréza JS520080D3C.0Z5-NXT [41]	49
Obr. 27 Cermetová destička SCGX050204-P2 T250D [42]	50
Obr. 28 Ukázka plátkového vrtáku	50
Obr. 29 Monolitní vrták MS [43].....	51
Obr. 30 Strojní závitník MTP [44].....	52
Obr. 31 Kleštinové upnutí.....	52
Obr. 32 Ukázka upínacího trnu.....	53
Obr. 33 Weldon upínač [45]	53
Obr. 34 Volba polotovaru bez přídavku	54

Obr. 35 Polotovar s přídavky.....	55
Obr. 36 Funkce Cavity Mill.....	56
Obr. 37 Funkce Area Mill.....	57
Obr. 38 Funkce Zlevel Profile	57
Obr. 39 Funkce Drilling.....	58
Obr. 40 Funkce Thread Milling	58
Obr. 41 Založení projektu.....	59
Obr. 42 Zvolení polotovaru programu NX 1926	59
Obr. 43 Vytvořená monolitní fréza o průměru 12 mm	60
Obr. 44 Ukázka vytvořených operací	60
Obr. 45 Analýza zbytkového materiálu	61
Obr. 46 Čistý strojní čas	62
Obr. 47 Tvarová vložka ve zvoleném polotovaru.....	62
Obr. 48 První upnutí	63
Obr. 49 Druhé upnutí	63
Obr. 50 Nástroj pro elektroerozivní obrábění vložky tvárnice	64
Obr. 51 Nástroj pro elektroerozivní obrábění vložky tvárníku.....	64
Obr. 52 Posuvné měřítko digitální.....	65
Obr. 53 Dotyková sonda DMG MORI	66
Obr. 54 Závitový trn	66
Obr. 55 Skener scanControl 3D [46]	67
Obr. 56 Drsnoměr SurfTest SJ – 210 [47]	67

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rozdíl mezi hrubováním a dokončováním [16]	20
Tab. 2 Přehled nepoužívanějších funkcí [13]	28
Tab. 3 Složení programu [13]	29
Tab. 4 Základní parametry frézky DMU 50 [37].....	45
Tab. 5 Zvolené řezné podmínky pro nástroj R217.94-1632.RE-12-3A	47
Tab. 6 Zvolené řezné podmínky pro nástroj R217.69-0816.RE-10-2A	48
Tab. 7 Zvolené řezné podmínky pro nástroj JS554120D3C.0Z4C-SIRA	49
Tab. 8 Zvolené řezné podmínky pro nástroj JS520080D3C.0Z5-NXT.....	49
Tab. 9 Zvolené řezné podmínky pro nástroje SCGX050204-P2 T250D.....	50
Tab. 10 Zvolené řezné podmínky pro monolitní vrtáky	51
Tab. 11 Zvolené řezné podmínky pro závitníky skupiny MTP	52
Tab. 12 Cena zhotovené desky s použitím normalizovaného polotovaru	54
Tab. 13 Cena zhotovené desky s použitím hutního polotovaru	55
Tab. 14 Cena objednávaných polotovarů	68
Tab. 15 Rozpis hodinových sazeb strojů	69
Tab. 16 Cena objednávaných normálí	70
Tab. 17 Celkové náklady	71

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P1: Upínací_deska_levá.prt

Příloha P2: Upínací_deska_pravá.prt

Příloha P3: Rozpěrná_deska.prt

Příloha P4: Opěrná_deska.prt

Příloha P5: Kotevní_deska_levá.prt

Příloha P6: Kotevní_deska_pravá.prt

Příloha P7: Tvárnice_deska.prt

Příloha P8: Tvárník_deska.prt

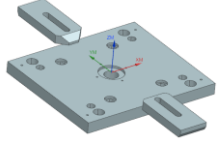
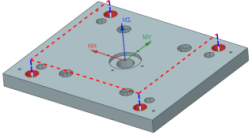
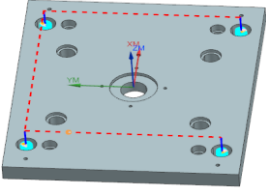
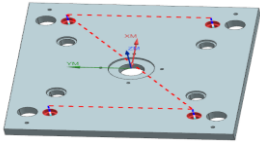
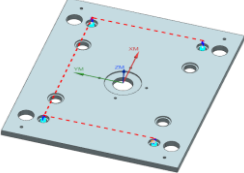
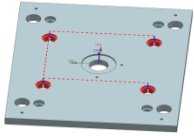
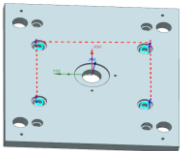
Příloha P9: Deska_vyhazovače_A.prt

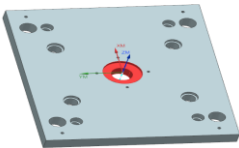
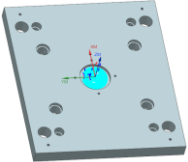
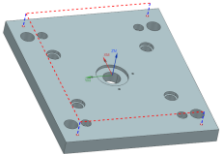
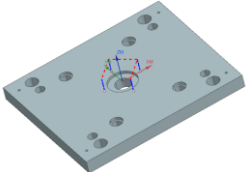
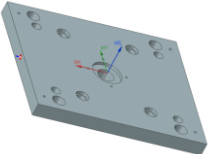
Příloha P10: Deska_vyhazovače_B.prt

Příloha P11: Tvárník.prt

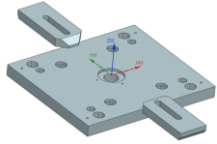
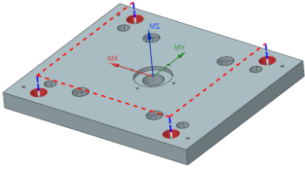
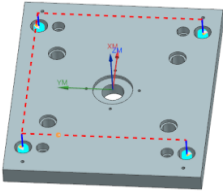
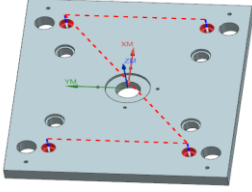
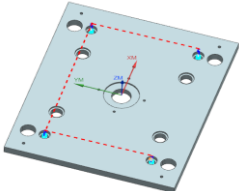
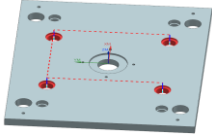
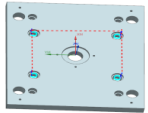
Příloha P12: Tvárnice.prt

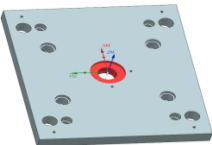
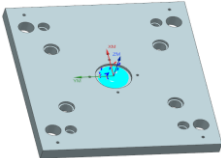
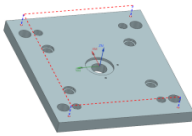
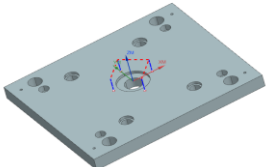
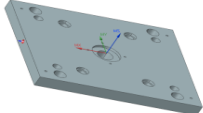
PŘÍLOHA P1: UPÍNACÍ_DESKA_LEVÁ

Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Upnutí	DMU 50	-	M2
2		VRTÁNÍ Ø 20 mm L 30 mm	DMU 50	T5	M1
3		Frézovat Ø 26H7 L 30 mm	DMU 50	T3	M1
4		VRTÁNÍ Ø 13.5 mm L 30 mm	DMU 50	T6	M1
5		Frézovat Ø 18 mm L 13 mm	DMU 50	T3	M1
6		VRTÁNÍ Ø 20 mm L 30 mm	DMU 50	T5	M1
7		Frézovat Ø 26 mm L 6 mm	DMU 50	T3	M1

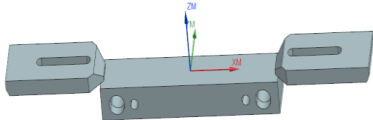
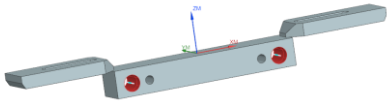
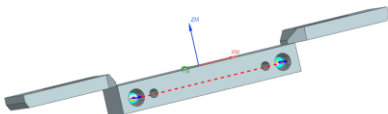
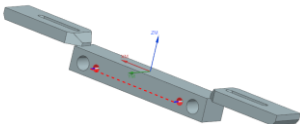
8		<p>VRTÁNÍ Ø 20 mm L 30 mm</p>	DMU 50	T5	M1
9		<p>Frézovat Ø 60 mm L 6 mm</p>	DMU 50	T3	M1
10		<p>Zhotovit závit M7 do hl. 25 mm</p>	DMU 50	T7	M3
11		<p>Zhotovit závit M5 do hl. 25 mm</p>	DMU 50	T7	M3
12		<p>Zhotovit závit M10 do hl. 16 mm</p>	DMU 50	T7	M3

PŘÍLOHA P2: UPÍNACÍ_DESKA_PRAVÁ

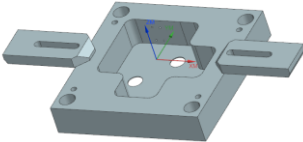
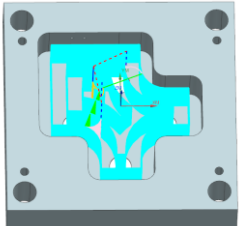
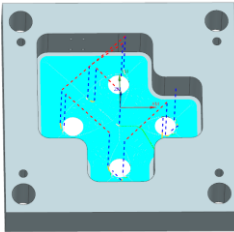
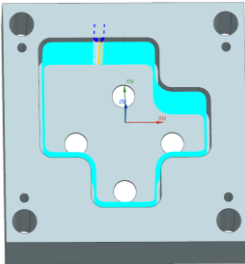
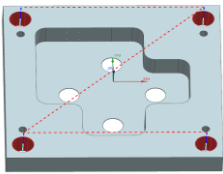
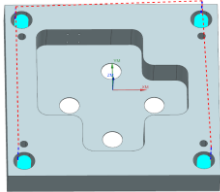
Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Upnutí	DMU 50	-	M2
2		VRTÁNÍ Ø 20 mm L 30 mm	DMU 50	T5	M1
3		Frézovat Ø 26H7 L 30 mm	DMU 50	T3	M1
4		VRTÁNÍ Ø 13.5 mm L 30 mm	DMU 50	T6	M1
5		Frézovat Ø 18 mm L 13 mm	DMU 50	T3	M1
6		VRTÁNÍ Ø 20 mm L 30 mm	DMU 50	T5	M1
7		Frézovat Ø 26 mm L 6 mm	DMU 50	T3	M1

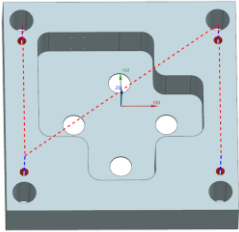
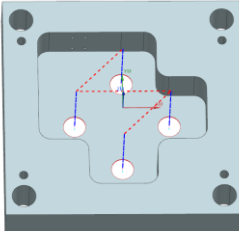
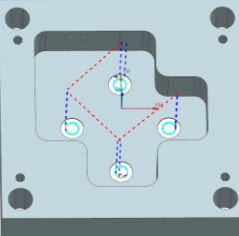
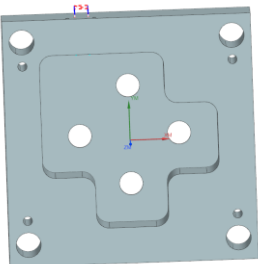
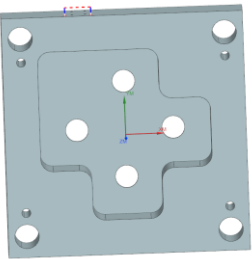
8		VRTÁNÍ Ø 20 mm L 30 mm	DMU 50	T5	M1
9		Frézovat Ø 60 mm L 6 mm	DMU 50	T3	M1
10		Zhotovit závit M7 do hl. 25 mm	DMU 50	T7	M3
11		Zhotovit závit M5 do hl. 25 mm	DMU 50	T7	M3
12		Zhotovit závit M10 do hl. 16 mm	DMU 50	T7	M3

PŘÍLOHA P3: ROZPĚRNÁ_DESKA

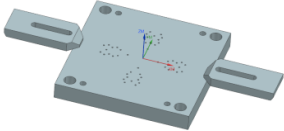
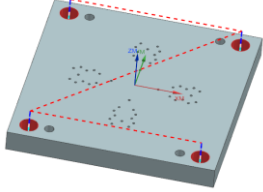
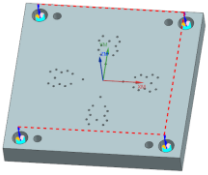
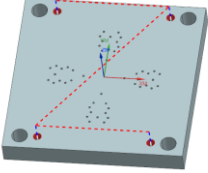
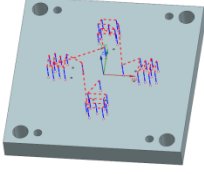
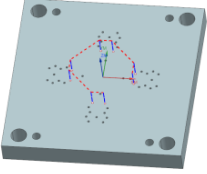
Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Upnutí	DMU 50	-	M2
2		VRTÁNÍ Ø 20 mm hl. 56 mm	DMU 50	T5	M1
3		Frézovat Ø 20 mm hl. 13 mm	DMU 50	T3	M1
4		VRTÁNÍ Ø13.5 mm hl. 56 mm	DMU 50	T6	M1

PŘÍLOHA P4: OPĚRNÁ DESKA

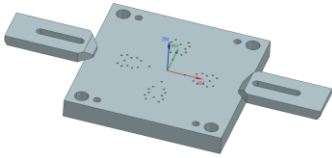
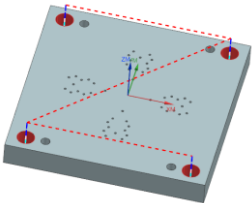
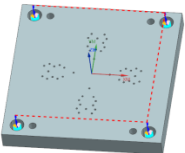
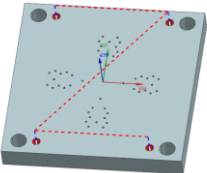
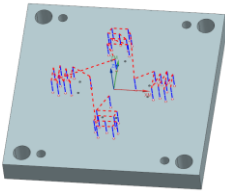
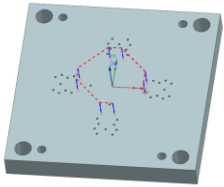
Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Upnutí	DMU 50	-	M2
2		Hrubování hl. 55 mm	DMU 50	T1	M2
3		Zhotovit dno hl. 55 mm	DMU 50	T3	M1
4		Zhotovit obvodové strany hl. 55 mm	DMU 50	T3	M1
5		VRTÁNÍ Ø 20 mm hl. 56 mm	DMU 50	T5	M1
6		Frézovat Ø 26H7 hl. 56 mm	DMU 50	T3	M1

7		<p>VRTÁNÍ Ø 11 mm hl. 56 mm</p>	DMU 50	T6	M1
8		<p>VRTÁNÍ Ø 20 mm hl. 56 mm</p>	DMU 50	T5	M1
9		<p>Frézovat Ø 28 hl. 56 mm</p>	DMU 50	T3	M1
10		<p>VRTÁNÍ Ø 3 mm hl. 43 mm</p>	DMU 50	T6	M1
11		<p>Zhotovit závit M5 do hl. 15 mm</p>	DMU 50	T7	M3

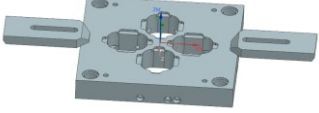
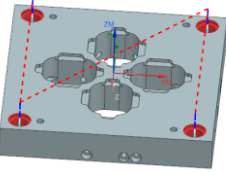
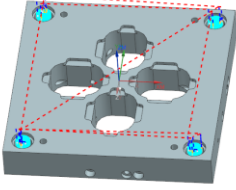
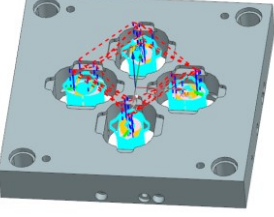
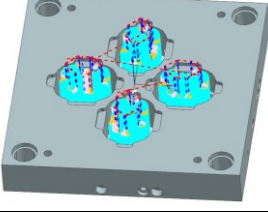
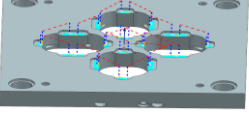
PŘÍLOHA P5: KOTEVNÍ_DESKA_LEVÁ

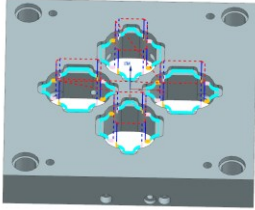
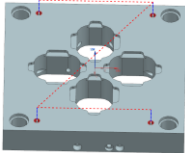
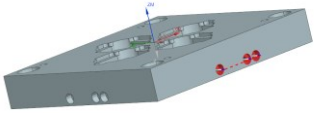
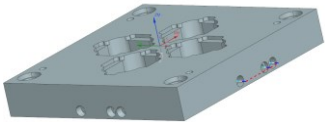
Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Upnutí	DMU 50	-	M2
2		VRTÁNÍ Ø 20 mm hl. 36 mm	DMU 50	T5	M1
3		Frézovat Ø 26H7 hl. 36 mm	DMU 50	T3	M1
4		VRTÁNÍ Ø 13.5 mm hl. 36 mm	DMU 50	T6	M1
5		VRTÁNÍ Ø 3.2 mm hl. 36 mm	DMU 50	T6	M1
6		VRTÁNÍ Ø 3 mm hl. 36 mm	DMU 50	T6	M1

PŘÍLOHA P6: KOTEVNÍ_DESKA_PRAVÁ

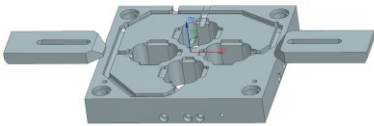
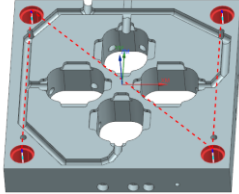
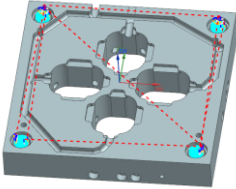
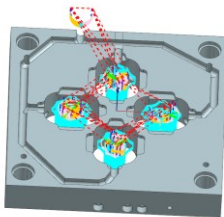
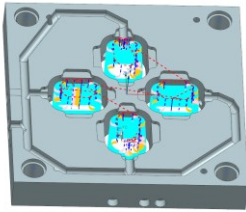
Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Upnutí	DMU 50	-	M2
2		VRTÁNÍ Ø 20 mm hl. 36 mm	DMU 50	T5	M1
3		Frézovat Ø 26H7 hl. 36 mm	DMU 50	T3	M1
4		VRTÁNÍ Ø 13.5 mm hl. 36 mm	DMU 50	T6	M1
5		VRTÁNÍ Ø 3.2 mm hl. 36 mm	DMU 50	T6	M1
6		VRTÁNÍ Ø 3 mm hl. 36 mm	DMU 50	T6	M1

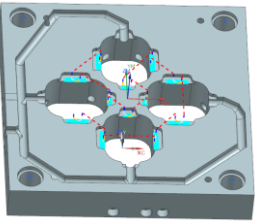
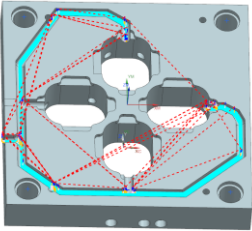
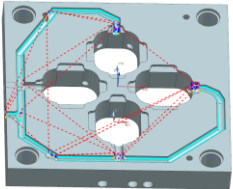
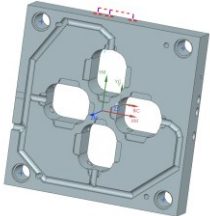
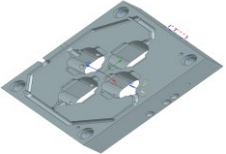
PŘÍLOHA P7: TVÁRNICE _DESKA

Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Upnutí	DMU 50	-	M2
2		VRTÁNÍ Ø 20 mm hl. 46 mm	DMU 50	T5	M1
3		Frézovat Ø 26H7 hl. 46 mm	DMU 50	T3	M1
4		Hrubování hl. 46 mm	DMU 50	T1	M1
5		Dokončení obvodových stěn Hl. 46 mm	DMU 50	T2	M1
6		Zhotovit dno Hl. 5 mm	DMU 50	T3	M1

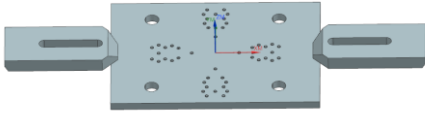
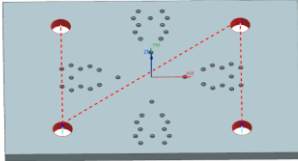
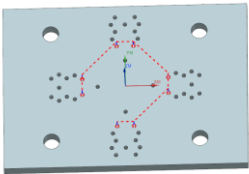
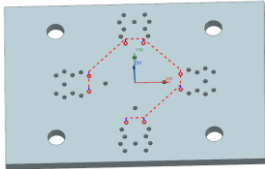
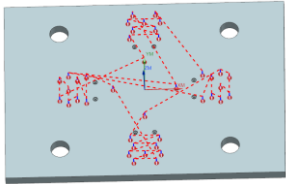
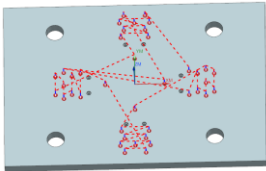
7		Dokončit ke dnu Hl. 5 mm	DMU 50	T3	M1
8		Zhotovit závit M12	DMU 50	T7	M3
9		VRTÁNÍ Ø 8 mm hl. 50 mm	DMU 50	T6	M1
10		Zhotovit zahloubení Ø 15 mm hl. 10 mm	DMU 50	T5	M1
Opakovat operace 9 a 10 po celém obvodě desky					

PŘÍLOHA P8: TVÁRNÍK _ DESKA

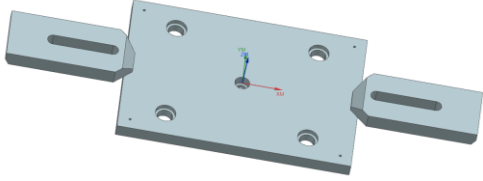
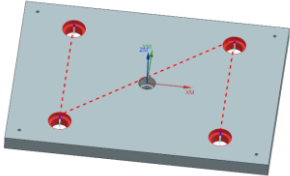
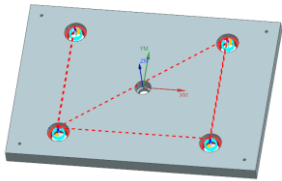
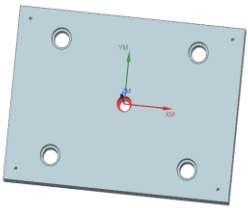
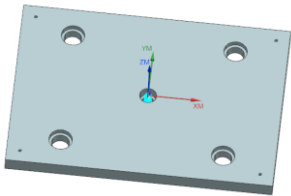
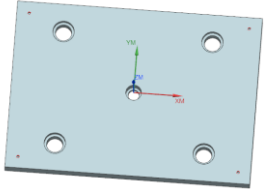
Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Upnutí	DMU 50	-	M2
2		VRTÁNÍ Ø 20 mm hl. 46 mm	DMU 50	T5	M1
3		Frézovat Ø 26H7 hl. 46 mm	DMU 50	T3	M1
4		Hrubování hl. 46 mm	DMU 50	T1	M1
5		Dokončení obvodových stěn Hl. 46 mm	DMU 50	T2	M1

6		Zhotovit dno Hl. 5 mm	DMU 50	T3	M1
7		Vyhrubovat drážku pro kabeláž	DMU 50	T4	M1
8		Dokončit drážku	DMU 50	T4	M1
10		VRTÁNÍ Ø 10 mm hl. 49 mm	DMU 50	T6	M1
11		VRTÁNÍ Ø 15 mm hl. 10 mm	DMU 50	T5	M1
Opakovat operaci 9 a 10 po celém obvodě					

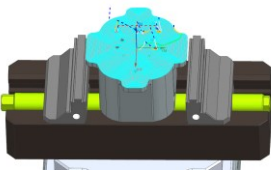
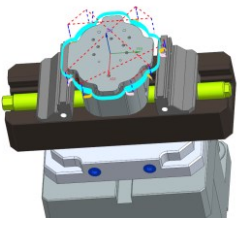
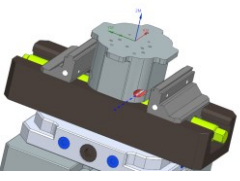

PŘÍLOHA P9: DESKA_VYHAZOVAČE_A

Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Upnutí	DMU 50	-	M2
2		VRTÁNÍ Ø 20 mm hl. 12 mm	DMU 50	T5	M1
3		VRTÁNÍ Ø 3 mm hl. 12 mm	DMU 50	T6	M1
4		VRTÁNÍ Ø 5 mm hl. 2 mm	DMU 50	T6	M1
5		VRTÁNÍ Ø 3.2 mm hl. 12 mm	DMU 50	T6	M1
6		Zhotovit zahloubení Ø 5 mm hl. 1 mm	DMU 50	T6	M1

PŘÍLOHA P10: DESKA_VYHAZOVAČE_B

Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Upnutí	DMU 50	-	M2
2		VRTÁNÍ Ø 20 mm hl. 17 mm	DMU 50	T5	M1
3		Zhotovit zhloubení Ø 26 mm hl. 6 mm	DMU 50	T3	M1
4		VRTÁNÍ Ø 13.5 mm hl. 17 mm	DMU 50	T6	M1
5		Zhotovit zhloubení Ø 19 mm hl. 12 mm	DMU 50	T6	M1
6		Zhotovit závit M8	DMU 50	T7	M3

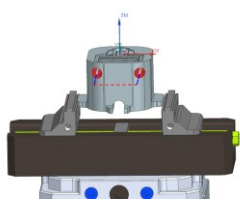
PŘÍLOHA P11: TVÁRNÍK

Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Upnutí	DMU 50	-	M2
2		Hrubování tvaru hl. 10 mm	DMU 50	T1	M1
3		Zhotovit dno	DMU 50	T3	M1
4		Zhotovit obvod hl. 7 mm	DMU 50	T3	M1
5		VRTÁNÍ Ø 8 mm hl. 50 mm	DMU 50	T6	M1
6		Přepnout polotovar	DMU 50	-	M2

7		Hrubování hl. 41 mm	DMU 50	T1	M1
8		Zhotovit dno	DMU 50	T3	M1
9		Zhotovit obvod hl. 41 mm	DMU 50	T4	M1
10		Zhotovit dna hl. 41 mm	DMU 50	T4	M1
11		VRTÁNÍ Ø 8 mm hl. 50 mm	DMU 50	T6	M1
12		VRTÁNÍ Ø 3 mm hl. 46 mm	DMU 50	T6	M1
13		Hloubit dutinu	Elektr oerozi vní obráb ění	T8	M4

PŘÍLOHA P12: TVÁRNICE

Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Upnutí	DMU 50	-	M2
2		VRTÁNÍ Ø 8 mm hl. 50 mm	DMU 50	T6	M1
3		Hrubování tvaru hl. 10 mm	DMU 50	T1	-
4		Zhotovit dno	DMU 50	T3	M1
5		Hrubování středu hl.20 mm	DMU 50	T3	M1
6		Zhotovit obvod hl.7 mm	DMU 50	T3	M1

7		Dokončit vnitřní tvar	DMU 50	T4	M1
8		Přepnout polotovar	DMU 50	-	M2
9		Hrubování tvaru hl. 41 mm	DMU 50	T1	-
10		Zhotovit dno	DMU 50	T3	M1
11		Zhotovit obvod hl. 41 mm	DMU 50	T3	M1
12		Zhotovit dno hl. 41 mm	DMU 50	T3	M1
13		VRTÁNÍ Ø 8 mm hl. 50 mm	DMU 50	T6	M1
14		Hloubit dutinu	Elektr erozi vní obráb ění	T8	M4