



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra aplikované fyziky a techniky

Bakalářská práce

Analýza efektivity konstrukčního návrhu a zvolené technologie pro vybraný výrobek

Vypracoval: Jindřich Pícha

Vedoucí práce: PaedDr. Bedřich Veselý, Ph.D.

České Budějovice 2018

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé práce PaedDr. Bedřichovi Veselému, Ph.D. za pomoc a odborné vedení při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat mému odbornému konzultantovi Ing. Jiřímu Klevcovovi.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 29. 06. 2018

.....
Pícha Jindřich

Anotace

V úvodní části jsou uvedeny základní pojmy této problematiky. Teoretická část dále obsahuje popis jednotlivých strojírenských technologií a obráběcího centra Hermle C400. V další části je provedena analýza technologií, rozbor materiálů, modelování, programování a popis výroby vzorového dílu. V závěru práce je provedeno hodnocení efektivity zvolené technologie.

Klíčová slova

CAD/CAM systém, CNC, frézování, Heidenhain, konstrukce, řezné podmínky, technologie

Abstract

In the beginning of this essay there are explained terms of the matters. The theoretical part contains a description of all mechanical technologies and the machine Hermle C400. The following part shows an analyze of used technologies, a study of the materials, modeling, programming and a description of the sample production. Evaluation of the technology efficiency is displayed in the conclusion of this essay.

Keywords

CAD/CAM system, CNC, milling, Heidenhain, design, technology, cutting conditions

Obsah

Úvod.....	6
1. Cíle bakalářské práce.....	7
1.1. Teoretické.....	7
1.2. Praktické.....	7
2. Teoretická část	8
2.1. Technologičnost konstrukce se zaměřením na obrábění.....	8
2.1.1. Vhodná konstrukce	8
2.1.2. Technologičnost	8
2.1.3. Základní kritérium	10
2.1.4. Sériovost výroby.....	10
2.1.5. Výrobní zařízení.....	10
2.1.6. CNC.....	10
2.1.7. Technologičnost konstrukce.....	11
2.2. Drsnost povrchu	11
2.3. Frézování.....	13
2.3.1. Nesousledné frézování.....	13
2.3.2. Sousledné frézování	14
2.4. Soustružení.....	14
2.4.1. Soustružnické postupy	15
2.5. Brusky nakulato.....	16
2.6. Brusky naplocho.....	16
2.7. Elektroerozivní obrábění.....	16
2.7.1. Elektrojiskrové obrábění	17
2.8. Volba řezných podmínek.....	17
2.8.1. Stanovení řezných podmínek při frézování.....	18
2.8.2. Hospodárná řezná rychlost	19
2.8.3. Základní řezné úhly - rovina ortogonální	20
2.9. Chlazení a mazání.....	20
2.9.1. Úkoly řezné kapaliny:	21
2.9.2. Nejčastěji používané řezné kapaliny:	21
2.9.3. Přívod řezné kapaliny do místa řezu	21
2.10. Obráběcí centrum Hermle C 400	23
2.10.1. Hightech vřetena nástroje s ochranou proti kolizi.....	23

2.10.2. Zásobník nástrojů.....	23
2.11. Řídicí systém Heidenhain TNC 620	24
2.12. EdgeCAM.....	25
2.12.1. Druhy operací v EdgeCAM	26
3. Praktická část	27
3.1. Vybraný výrobek	27
3.2. Modelování	27
3.3. Zvolení nejvhodnějšího materiálu.....	30
3.3.1. Druhy vhodných materiálů.....	30
3.3.2. Požadavky na materiál	31
3.4. Zvolení nejvhodnější technologie	32
3.4.1. Dostupné technologie.....	32
3.4.2. Zhodnocení technologií	32
3.5. Programování.....	34
3.5.1. Řezné podmínky.....	37
3.5.2. Řídicí kód	37
3.6. Výroba dílu	39
3.6.1. Stanovení rozměru polotovaru	40
3.6.2. Osondování dílu	40
3.6.3. První strana	41
3.6.4. Druhá strana	41
3.7. Výrobní náklady na 10 kusů	42
3.8. Zhodnocení vybrané technologie	43
Závěr.....	44
Užitá literatura	46
Zdroje z internetu.....	46
Seznam obrázků	47
Seznam tabulek.....	48
Seznam grafů.....	48
Seznam příloh	48

Úvod

Téma této bakalářské práce jsem si zvolil zejména proto, že pracuji jako frézař a často s konstruktéry řeším úpravy na obrocích. Jde o častou činnost, které je nutné věnovat z mnoha hledisek soustředěnou pozornost.

Požadavky konstruktéra a technologa na výrobek a technologii jeho výroby se často velmi liší. Každý konstruktér chce mít svůj hotový výrobek co nejpřesnější a nejdokonalejší co do tvaru i kvality zpracování povrchu. Naopak technolog na výrobek pohlíží z trochu jiného úhlu pohledu. Přemýšlí nad tím, jak výrobek zjednodušit, aby se dal vyrobit na co nejmenším počtu pracovišť, co nejlevněji, nebo použitím menšího množství nástrojů. Oba mají své priority, proto je třeba najít vhodný kompromis, aby byl výrobek funkční a efektivně vyrobený.

Zářným příkladem jsou složité tvary kapes s malými zaobleními, které však nejsou z užitného hlediska funkční. Konstruktér zadá do rohů malá zaoblení a dále neřeší, že obráběč bude muset použít několik nástrojů, aby tento díl vytvořil, i když by zde mohlo být větší a snadno vyrobiteľnější zaoblení.

V úvodní části chci provést rešerši odborné literatury a analýzu, co autoři v této oblasti již napsali o technologičnosti konstrukce. Získané informace přehledně a názorně utřídím a vyberu z nich ty, které jsou vhodné pro použití v oblasti, kterou se zabývá má práce. V úvodní části si dále stanovím jednotlivé cíle práce, na základě získaných podkladů si vytyčím systematický postup pro další navazující praktické části práce.

V teoretické části této práce popíši základní pojmy technologičnosti konstrukčního návrhu a efektivity vybrané technologie, dále jednotlivé druhy obrábění, způsoby chlazení a v neposlední řadě problematiku vybrané metody obrábění.

V praktické části chci navrhnout výrobek s ohledem na jeho funkčnost a technologičnost, vypracovat technologii obrobění a následně tento díl vyrobit a samotnou výrobu popsat. Na konci tohoto úseku práce vyhodnotím celkovou efektivitu zvoleného řešení.

Potřebné informace jsou čerpány z odborné literatury, elektronických dokumentů s touto tematikou a z internetových zdrojů.

1. Cíle bakalářské práce

1.1. Teoretické

- Rešerše odborné literatury a definování základních pojmů,
- Popis jednotlivých výrobních postupů,
- Stanovení hospodárných řezných podmínek.

1.2. Praktické

- Návrh dílu s ohledem na funkčnost a technologičnost,
- Vypracování technologie obrobení ve vybraném CAM systému,
- Vyrobení dílu,
- Vyhodnocení celkové efektivity zvoleného řešení.

2. Teoretická část

2.1. Technologičnost konstrukce se zaměřením na obrábění

Základem úspěchu strojírenského podniku je zisk. Management, konstruktéři, technologové a další pracovníci jej společně vytvářejí. Je proto velmi důležitá spolupráce všech, kteří se na návrhu a realizaci strojírenského výrobku podílejí. Výrobní náklady tvoří v průměru asi 40% ceny strojírenských výrobků. Technologie obrábění přitom představuje asi 30 až 40% pracnosti všech technologií vstupujících do výrobku a její podíl je velmi významný. Respektování zásad technologičnosti konstrukce, resp. spolupráce konstrukčního oddělení a dalších podnikových složek s technologickým útvarem, je dnes nejen žádoucí, ale v podmínkách celosvětové konkurence pro existenci strojírenských podniků nezbytná. [3]

2.1.1. Vhodná konstrukce

Za technologicky vhodnou konstrukci lze považovat takovou konstrukci, která kromě základních požadavků na funkci stroje, splňuje požadavky z hlediska jeho výroby:

- *nízké výrobní náklady,*
- *malá pracnost,*
- *nízká hmotnost,*
- *výběr optimálních materiálů,*
- *sériovost výroby,*
- *metrologie,*
- *montáž apod.,*
- *ale i z hlediska demontáže, údržby, recyklovatelnosti a ekologie.*

Technologičnost konstrukce lze tedy chápat jako vhodnost konstrukce z hlediska výroby, ale i dalších aspektů. [3]

2.1.2. Technologičnost

Technologičnost konstrukce je komplexní pojem s řadou technických, ekonomických a ekologických aspektů, které působí někdy protichůdně. Je tedy nutné najít optimální kompromis. Je třeba v této souvislosti zdůraznit, že rozhodující jsou výrobní náklady na realizaci výrobku, při splnění požadavků na funkční vlastnosti výrobku.

Velmi obecně lze charakterizovat z hlediska technologičnosti takovou konstrukci, která bude splňovat především následující požadavky:

- *Minimální výrobní náklady.*
- *Minimální pracnost výroby a montáže (druhotné kritérium po výrobních nákladech).*
- *Konstrukce má být co nejjednodušší, ale s požadovanými funkčními parametry.*
- *Konstrukční prvky jsou voleny s jednoduchými tvary.*
- *Při konstrukci jsou používány v maximálně možné míře normalizované, unifikované a typizované součástky a tvary nebo konstrukční celky.*
- *Opodstatněný podíl dříve vyráběných součástí (dědičnost konstrukce).*
- *Počet a velikost povrchů dokončovaných obráběním by měly být nejmenší.*
- *Minimální délka výrobního cyklu.*
- *Součástky jsou vyráběny z předvýrobků, které jsou pro daný případ optimální.*
- *Materiál je volen optimálně z hlediska ceny, druhu, materiálových charakteristik, technologických charakteristik (obrobitelnosti, tvářitelnosti apod.), předpokládaných technologických operací, spotřeby, odpadu apod.*
- *Použití drahých materiálů je omezeno na nezbytné případy.*
- *Obráběcí nástroje mají snadný přístup k obráběným plochám.*
- *Speciální nářadí je omezeno na nezbytné případy. V malosériové a kusové výrobě by se nemělo vůbec používat.*
- *Požadované kvalitativní parametry by měly být jen nezbytně nutné.*
- *Tvary ploch by měly odpovídat možnostem stávajícího výrobního zařízení, konstruktér musí znát výrobní možnosti, resp. výrobní zařízení vlastního podniku, v odůvodněných případech i možnostem světové technologie (aby bylo možné nárokovat nákup nového výrobního zařízení, event. realizovat výrobu v rámci kooperace).*
- *Další požadavky např. z hlediska ekologie, údržby a recyklovatelnosti. [3]*

2.1.3. Základní kritérium

Základním kritériem pro posuzování technologičnosti konstrukce z hlediska různých aspektů jsou výrobní náklady. Toto hledisko může být doplněno dalšími hledisky. Toto kritérium často je v souladu s požadavkem na minimální pracnost. Ale nemusí tomu tak vždy být.[3]

2.1.4. Sériovost výroby

Významným způsobem ovlivňuje technologičnost konstrukce sériovost výroby. Konstrukce stroje bude jiná v případě hromadné a kusové, resp. malosériové výroby. U hromadné a velkosériové výroby lze použít jednoúčelově koncipovaná výrobní zařízení, speciální nářadí a přípravky. Nelze účelně konstruovat strojírenský výrobek bez předem známého počtu vyráběných kusů. [3]

2.1.5. Výrobní zařízení

Důležitým hlediskem je též stávající výrobní zařízení podniku. Pokud konstruktér bude vycházet pouze ze světových možností dané technologie, a ne z množností daného podniku, výroba dané součásti bude v daném podniku nemožná nebo velmi nákladná, popřípadě vyvolá nutnost nákupu nového výrobního zařízení nebo zakázky výroby v jiném podniku. [3]

2.1.6. CNC

Vývoj programově řízených výrobních zařízení především CNC obráběcích strojů je dnes velmi prudký. Neustále se rozšiřují výrobní možnosti z hlediska tvarů vyráběných ploch, dosahované přesnosti, resp. kvality povrchů. Proto tato výrobní zařízení velmi silně ovlivňují technologičnost konstrukce. Výroba řady tvarových ploch je dnes principiálně jednoduchou záležitostí a na konvenčních obráběcích strojích je obrábění těchto ploch obtížné nebo nemožné. Na CNC strojích lze NC programem např. obrábět tvarově složité rotační plochy. Bez NC řízení je nutné toto řešit většinou osazováním. [3]

2.1.7. Technologičnost konstrukce

Technologičnost konstrukce v technologii třískového obrábění je dnes nutno, se zřetelem na vývoj obráběcí výrobní techniky, rozlišovat na:

- *technologičnost konstrukce z hlediska obecně platných zásad,*
- *technologičnost konstrukce z hlediska obrábění na konvenčních obráběcích strojích,*
- *technologičnost konstrukce z hlediska obrábění na číslicově řízených obráběcích strojích.*

Na rozdíl od obrábění na konvenčních obráběcích strojích, kdy zásady technologičnosti konstrukce se v zásadě s vývojem obráběcích strojů prakticky nemění, vývoj NC a zejména CNC obráběcí techniky reprezentuje stále nové možnosti výroby tvarových ploch a tudíž i zásady technologičnosti konstrukce se mění s rozvojem této výrobní techniky. Zásady technologičnosti konstrukce je tedy nutné neustále přehodnocovat a sledovat vývoj numericky řízených obráběcích strojů. [3]

2.2. Drsnost povrchu

Drsnost povrchu předepisuje číselnou hodnotu v mikrometrech, například $R_a = 3,2$ (značka rozměru μm se nepíše). Pro určení drsnosti povrchu se používají parametry R_a (střední aritmetická úchylka profilu), R_z (výška nerovností profilu u deseti bodů), R_v (největší výška profilu). [7]

V tabulce číslo 1 jsou vypsány předpisy drsností povrchů podle funkce. U každé je vypsán příklad použití, aby bylo jasně dáno, pro které případy použít jednotlivé drsnosti povrchů.

Tabulka číslo 2 určuje, jakých drsností jsou schopny dosáhnout jednotlivé způsoby obrábění. To je vyznačeno tmavě modrou barvou. Světlejší barvou jsou vyznačeny drsnosti, které jsou možné dosáhnout vybranou technologií pouze za určitých specifických podmínek.

R _a (μm)	Příklady použití
0,012	Nejhladší funkční plochy, které mají mít co nejmenší opotřebení při vysokých měrných tlacích (funkční plochy nejpřesnějších měřidel, valivých ložisek apod.)
0,025	Kluzné plochy s velkou kluznou rychlostí, velkým měrným tlakem, které mají mít malé opotřebení (čepy a hřídele rychloběžných strojů, funkční plochy valivých ložisek apod.)
0,05	Funkční plochy, které mají mít malé opotřebení (lícované plochy měřících přístrojů apod.)
0,1	Kluzné plochy hřídelů pro přesná uložení s nepatrnou vůlí (broušené a lapované povrchy přesných upínacích hrotů a středících důlků)
0,2	Přesné plochy s občasným pohybem (kluzné plochy smykadel, vedení měřících přístrojů apod.)
0,4	Kluzné plochy se střední kluznou rychlostí a středním měrným tlakem, stykové plochy nepohyblivých rozebíratelných uložení (uložení valivých ložisek, třecí plochy drážkových hřídelů a nábojů apod.)
0,8	Kluzné plochy s malou kluznou rychlostí, stykové plochy pro narážená a nalisovaná uložení (dosedací plochy těsnících vík, leštěné povrchy rukojetí, pák apod.)
1,6	Vodící plochy jen s občasným vzájemným pohybem, stykové plochy dělených skříní a vík pro tenká a tvrdší těsniva (drážky pro klíny a pera, díry pro zalícované šrouby apod.)
3,2	Kluzné plochy s velmi malou kluznou rychlostí, stykové plochy bez vzájemného pohybu (patky konzol, přístrojů, motorů, ložisek, těsnící plochy pro měkká těsniva, povrchy pro netmelené nátěry apod.)
6,3 12,5 25	Hrubě obrobené stykové plochy bez vzájemného pohybu, volné plochy, dosedací plochy strojů, přírub a náلتků (povrchy šroubů, matic a podložek, vrtané díry pro šrouby apod.)
50 10	Hladké neobrobené povrchy (volné vnější plochy, odlité díry pro šrouby apod.)

Tabulka číslo 1 Předpisy drsností

Způsob obrábění	Střední aritmetická úchylka profilu Ra (µm)														
	0,006	0,012	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100
Kování															
Ražení															
Tažení															
Řezání pilou															
Soustružení															
Obvodové frézování															
Čelní frézování															
Hoblování															
Vystružování															
Rovinné broušení															
Obvodové broušení															
Leštění brus. pásem															
Honování															
Superfiniš															

Tabulka číslo 2 Opracování povrchu kovových součástí

2.3. Frézování

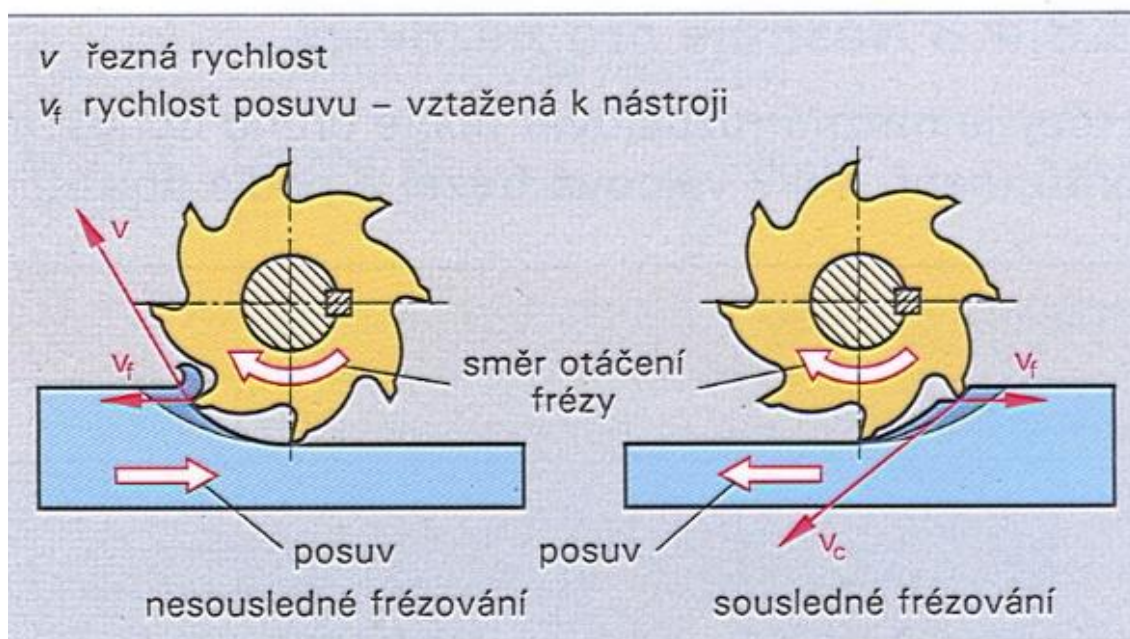
Je třískové obrábění rovinných nebo tvarových ploch vícebřitým otáčejícím se nástrojem (frézou). Má všestranné použití. Lze obrábět vnější i vnitřní rovinné plochy, tvarové plochy, drážky, ozubená kola i závity. Hlavní pohyb při frézování je rotační a vykonává ho nástroj. Vedlejší pohyby při frézování koná obrobek. Řezný proces je přerušovaný, jednotlivé zuby nástroje postupně vcházejí a vycházejí z materiálu a odebírají třísku proměnného průřezu. [1]

2.3.1. Nesousledné frézování

Fréza se otáčí proti směru posuvu. Průřez třísky se postupně zvětšuje od 0 do maxima. Záběr je plynulým a tento způsob je příznivý z hlediska namáhání nástroje. Nevýhodou je horší jakost povrchu i směr řezné síly, která směřuje nahoru a má snahu vytahovat obrobek z upnutí. [1]

2.3.2. Sousedné frézování

Fréza se otáčí ve směru posuvu. Průřez třísky, který je při záběru břitu maximální, se postupně zmenšuje a obrobená plocha je hladší. Příznivý je i směr řezné síly, která přitlačuje obrobek ke stolu, k němuž je upnut. Hlavní nevýhodou jsou silové rázy při záběru zubů do materiálu.[1]

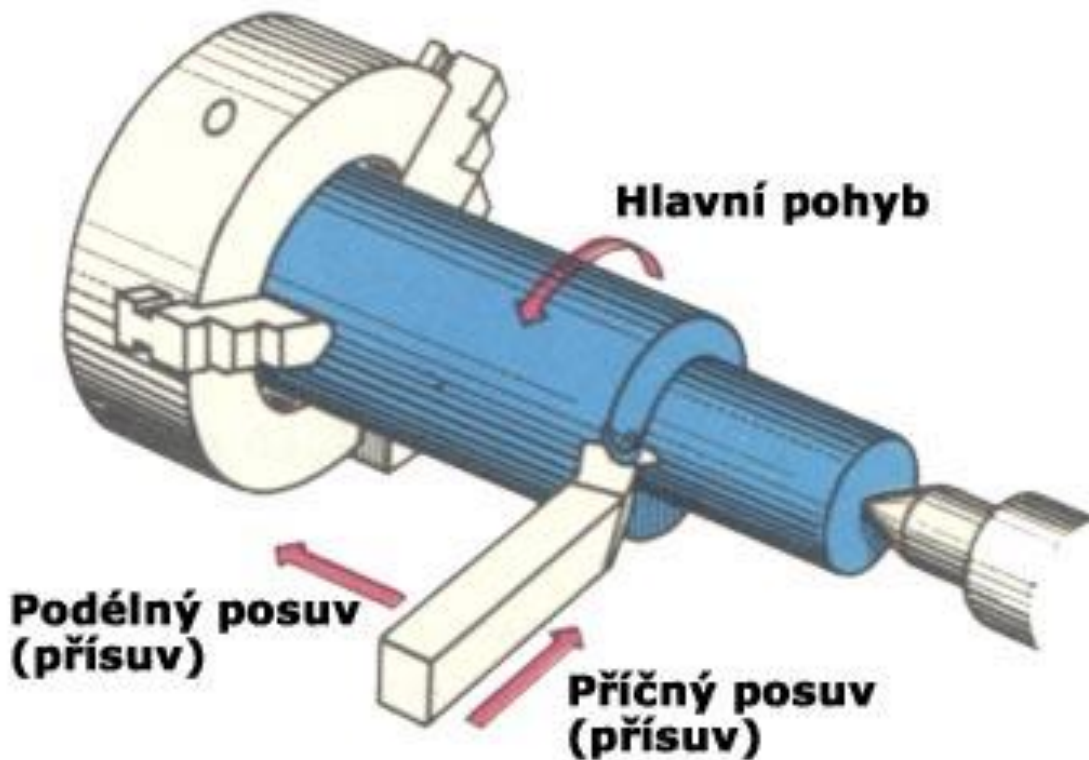


Obrázek číslo 1 Způsoby frézování

2.4. Soustružení

Soustružení je strojní třískové obrábění jednobřítým nástrojem (soustružnickým nožem). Zhotovují se součásti kruhového průřezu –(čepy, hřídele, kotouče,...). Můžou se obrábět rotační plochy vnější i vnitřní, válcové i kuželové, různě zakřivené, řezat závit.

Hlavní pohyb otáčivý koná obrobek. Nástroj vykonává posuvný pohyb buď ve směru osy obrobku (podélný posuv) nebo ve směru kolmém na osu obrobku (příčný posuv). Nástroj vykonává ještě přísuv. Tímto pohybem se nastavuje hloubka řezu. [4]



Obrázek číslo 2 Pracovní pohyby nástroje a obrobku

2.4.1. Soustružnické postupy

Postup/příklad	Popis, použití	Postup/příklad	Popis, použití
Soustružení válcových ploch 	Válcová plocha může být vytvořena při podélném posuvu nebo i příčným posuvem širokého břitu, rovnoběžného s osou rotace.	Soustružení rovinných ploch 	Rovinná plocha kolmá k ose rotace může být vytvořena při příčném posuvu nebo i podélným posuvem břitu kolmého k ose rotace.
Soustružení závitů 	Závit se soustruží nožem tvaru profilu závitu při podélném posuvu odpovídajícím stoupání závitu.	Zapichování, upichování 	zápich je drážka, vytvořená většinou jen příčným pohybem nože. Upichnutí je oddělení materiálu zápichem až k ose.
Soustružení profilů 	Profil tvarového nože může být přenesen do obrobku příčným (obrázek) nebo podélným pohybem	Soustružení složitých rotačních ploch 	Při soustružení kuželových nebo složitě tvarovaných rotačních ploch na NC soustruhu jsou spřaženy posuvy v obou směrech.

Obrázek číslo 3 Soustružnické postupy

2.5. Brusky nakulato

Univerzální hrotová bruska nakulato má rozsáhlé technologické využití, takže může zajistit vnitřní i vnější způsoby broušení. Proto je také konstrukčně složitější a dražší.

Za těchto podmínek se univerzální hrotová bruska hospodárně uplatní pouze tam, kde se práce neustále střídá, to je v kusové a malosériové výrobě. Proto se dobře využije v opravnách. Velikost univerzální brusky ovlivňují některé její rozměry, které určují její pracovní rozsah a funkční vlastnosti.

Na brusce BUA-20 se brousí menší obrobky v sériové i kusové výrobě. Stroj je zařízen na broušení vnějších i vnitřních válcových i kuželových ploch. Pracovní vřeteník na broušení kuželů i na rovinné broušení je otočný. Brousit lze mezi neotočnými hroty i ve sklíčidle. Brusný vřeteník je otočný, takže umožňuje brousit obvodem brusného kotouče současně válcové i čelní plochy. Vřeteno je uloženo v kluzných ložiskách. Pinola koníku je posuvná buď ručně, nebo hydraulicky. Pracovní stůl má hydraulický posuv, který lze plynule měnit. [1]

2.6. Brusky naplocho

Brusky naplocho se používají k broušení vodorovných, svislých a šikmých rovinných ploch. Rovinné plochy se brousí na bruskách buď obvodem brusného kotouče, nebo jeho čelem. Brusky naplocho, na nichž se brousí obvodem plochého brusného kotouče, nazýváme vodorovné (podle polohy vřetena). Brusky naplocho, na nichž se brousí čelem hrncovitého nebo segmentového kotouče, se nazývají svislé.

Brusky naplocho se používají v opravnách pro přebroušení bloků válců, hlav válců apod. Protože většina brusek naplocho je vybavena hydraulickými posuvy, jsou pořizovací ceny těchto strojů poměrně vysoké. Využití těchto strojů je únosné ve větších opravnách. [1]

2.7. Elektroerozivní obrábění

Elektroerozivní obrábění je rozrušování materiálu přímým účinkem elektrické energie, spojeným v některých případech s přidavným mechanickým účinkem. [5]

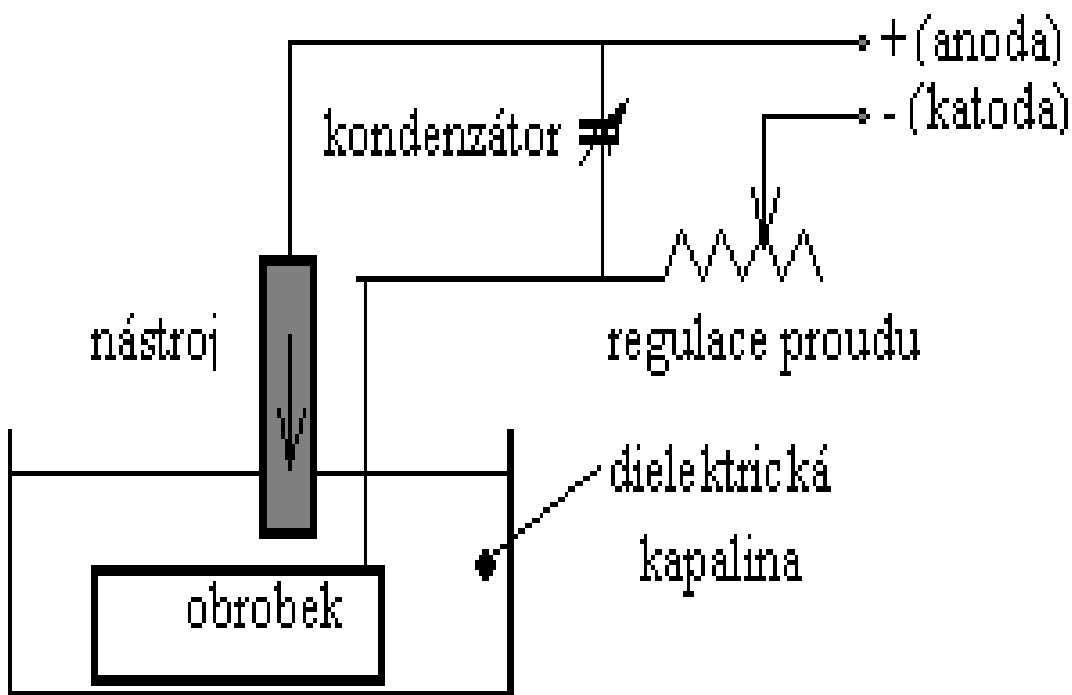
2.7.1. Elektrojiskrové obrábění

Elektrojiskrové obrábění je založeno na působení impulsního elektrického výboje mezi dvěma elektrodami. Nástroj je připojen ke katodě, obrobek k anodě. Elektrický výboj uvolní z obrobku částici materiálu, která se pohybuje k nástroji. Aby se na nástroj nepřivařila, probíhá výboj v dielektrické kapalině, která částici ochladí, případně odplaví.

Metoda se užívá při výrobě zápusťkových dutin, průvlaků, průstřížnic, trysek, při odstraňování nástrojů (vrtáků, závitníků) zlomených v dírách.

Tvar nástroje je negativem tvaru vytvářené dutiny. To znamená, že například při zhotovování válcové díry je nástrojem válcová tyčinka (drát). Také při vyjiskřování zlomených vrtáků a závitníků je nástrojem drát vhodného průměru.

- Materiálem nástroje je nejčastěji měď, mosaz nebo grafit.
- Pracovní kapalinou je petrolej nebo transformátorový olej.
- Zdrojem impulsního výboje je kondenzátor nebo polovodiče. [5]



Obrázek číslo 4 Speciální metody obrábění

2.8. Volba řezných podmínek

Řezné podmínky jsou sestaveny podle ekonomických rozborů obrábění, tj. Podle zhodnocení pořizovacích nákladů na výměnu a broušení nástrojů, a podle trvanlivosti nástroje. Hospodárné řezné podmínky jsou takové, při nichž jsou náklady

na obrábění při zachování produktivity práce minimální. Důležitým činitelem je stanovení trvanlivosti nástroje. Nástrojem můžeme obrábět tak dlouho, až jeho otupení dosáhne stanovené hodnoty. Otupení nástroje se projeví změněním přesnosti obrobenej součásti. Velké otupení nástroje vyžaduje vyšší náklady na broušení a zmenšuje počet možných broušení, tj. Zkracuje životnost nástroje. [1]

2.8.1. Stanovení řezných podmínek při frézování

Řezné podmínky při frézování tvoří:

- řezná rychlost v [m/min],
- posuv s [mm/min],
- hloubka řezu h [mm],
- počet otáček frézy n [mm/min],
- počet zubů z .

Řezná rychlost při frézování je dráha, kterou proběhne břich každého zubu frézy za minutu. Řezné rychlosti jsou sestaveny v tabulkách, aby jejich stanovení bylo rychlé. V tabulkách se stanoví řezná rychlost podle tvaru, materiálu a průměru frézy, podle materiálu obrobku a podle druhu frézování (hrubování, práce načisto).

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

Posuv s je dráha, kterou vykoná obrobek za pohybu do záběru buď za jednu minutu (sm), nebo za jednu otáčku frézy (so). [1]

Vztah mezi posuvem za jednu minutu a za jednu otáčku frézy je dán vztahem:

$$S_o = \frac{S_m}{n}$$

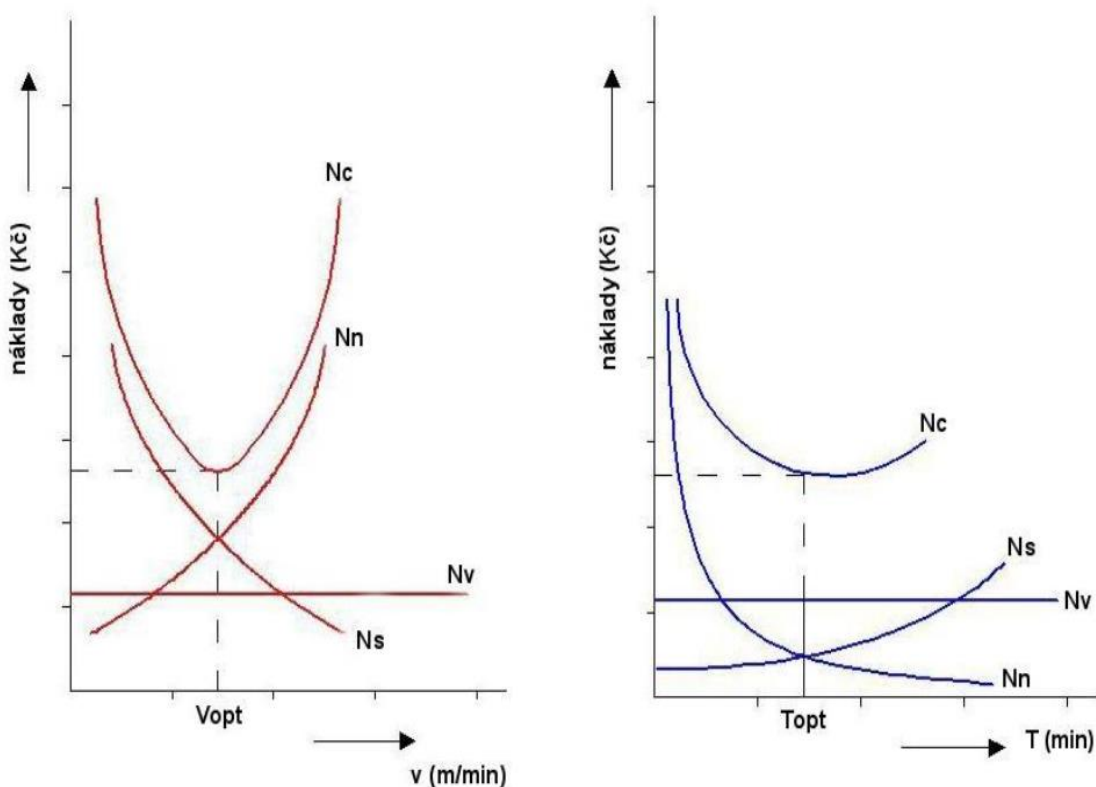
Vztah mezi posuvem za jednu minutu a za jednu rozteč plyne ze vzorce:

$$S_z = \frac{S_m}{z \cdot n}$$

2.8.2. Hospodárná řezná rychlost

Náklady a řezná rychlost souvisí s trvanlivostí a proto lze určit závislost výrobních nákladů na trvanlivosti dle pravého grafu. Náklady na strojní práci se s rostoucí trvanlivostí zvýší, a to proto, že chceme-li dosáhnout větší trvanlivosti, musíme řeznou rychlost zmenšit. Náklady na vedlejší práci s trvanlivostí jsou neměnné. Jestliže zvyšuje trvanlivost, náklady na nástroje klesají. Z průběhové součtové křivky můžeme usoudit, že náklady budou nejnižší při výrobě určitého počtu kusů v optimální trvanlivosti. Hospodárné obrábění nám určuje základní činitel optimální trvanlivosti. Řeznou rychlost při daném posuvu a hloubce řezu musíme vždy volit tak, aby bylo dosaženo optimální trvanlivosti. [11]

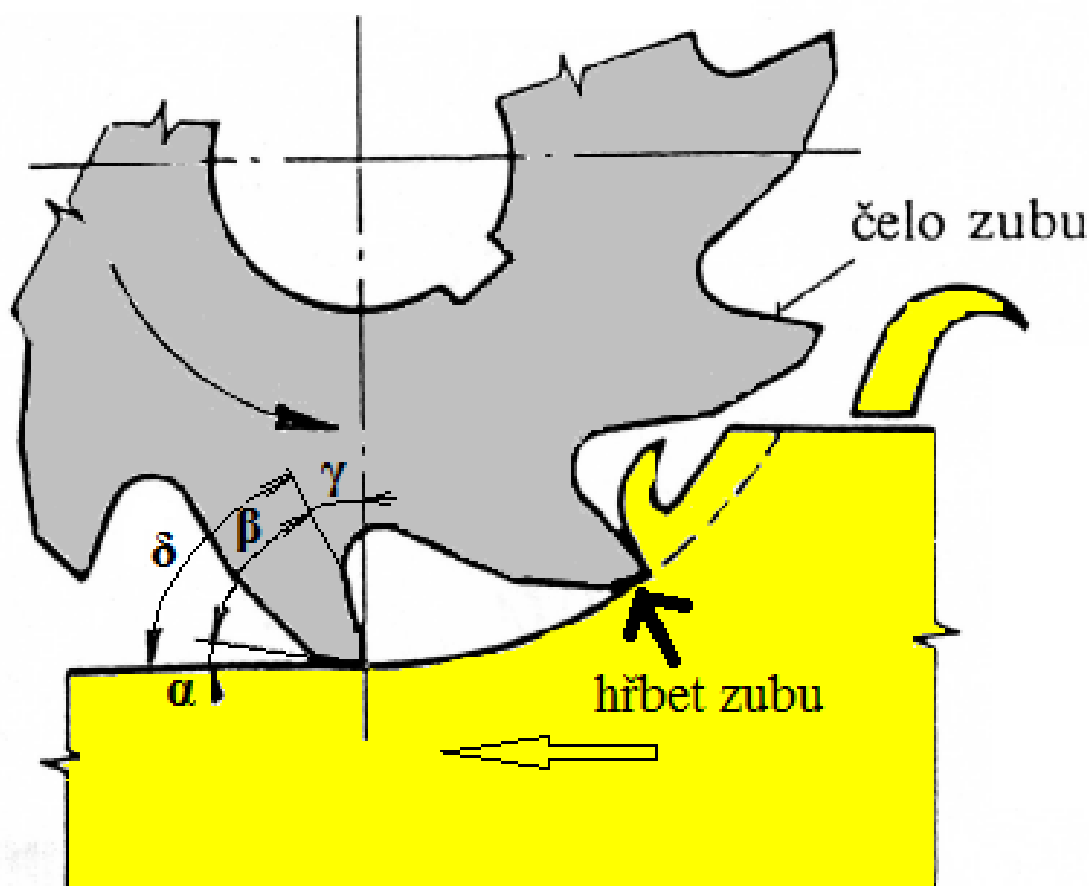
- N_c – celkové výrobní náklady,
- N_n – náklady na nástroje,
- N_s – náklady na strojní práci,
- N_v – náklady na vedlejší práci,
- V_{opt} – optimální řezná rychlost,
- T_{opt} – optimální trvanlivost.



Graf číslo 1 Hospodárná řezná rychlost

2.8.3. Základní řezné úhly - rovina ortogonální

- **Úhel hřbetu α (alfa)** - je úhel svíraný mezi hřbetem zubu frézy a tečnou k obvodu nástroje, ovlivňuje tření mezi nástrojem a obrobkem,
- **úhel břitu β (beta)** - je úhel svíraný plochou hřbetu a plochou čela. Čím menší tento úhel je, tím je snadnější jeho vnikání do materiálu,
- **úhel čela γ (gama)** - je úhel mezi plochou čela břitu a spojnicí špičky břitu, po čelní ploše odchází tříška,
- **úhel řezu δ (delta)** - je úhel, který svírá plocha čela a tečna k obvodu frézy, je součtem úhlů břitu a hřbetu. [1]



α – úhel hřbetu, β – úhel břitu, γ - úhel čela, δ – úhel řezu

Obrázek číslo 5 Základní řezné úhly

2.9. Chlazení a mazání

Mezi nástrojem a obrobkem vzniká tření a to vytváří teplo. To se částečně odvede třískou a zbytek přijímá nástroj a obrobek. Tím se více opotřebuje ostří nástroje a zhoršuje se povrch obrobené plochy. Toto se dá oddálit použitím řezné kapaliny,

kteřá je přivedena do místa řezu. U řezných kapalin se využívá nejen jejich chladící efekt, ale také usnadňuje obrábění díky svému mazacímu účinku. Při použití správné řezné kapaliny můžeme několikanásobně zvýšit trvanlivost ostří nástroje, proto můžeme zvýšit řeznou rychlost a tím zrychlit a zlevnit výrobu.

2.9.1. Úkoly řezné kapaliny:

- odvádět teplo z místa řezu,
- snížit práci vlivem tření,
- snížit intenzitu otupování nástroje,
- zlepšit kvalitu obrobené plochy,
- odvádět třísky z místa řezu.

2.9.2. Nejčastěji používané řezné kapaliny:

Vodní roztoky uhličitanu, křemičitanu nebo dusičnanu sodného

- Dobře chladí, jejich mazivost je nepatrná. Používá se při broušení.

Emulze

- Je to směs vody a jemně rozptýlených olejů (asi 3 – 10 %). Jsou nejrozšířenější řeznou kapalinou.

Řezné oleje

- Mají vysokou mazací schopnost, ale méně chladí. Používají se při obrábění ozubených kol a řezání závitů.

2.9.3. Přívod řezné kapaliny do místa řezu

Standardní chlazení

Tento způsob přívodu řezné kapaliny nevyžaduje žádnou úpravu přívodního potrubí a vystačí si s běžným standardním zařízením dodávaným výrobcem obráběcího stroje. Toto zařízení je tvořeno: nádrží, řeznou kapalinou, čerpadlem a rozvodným potrubím. Množství dodávané řezné kapaliny je dáno typem čerpadla a škrcením průtoku výstupním kohoutem. [2]

Tlakové chlazení

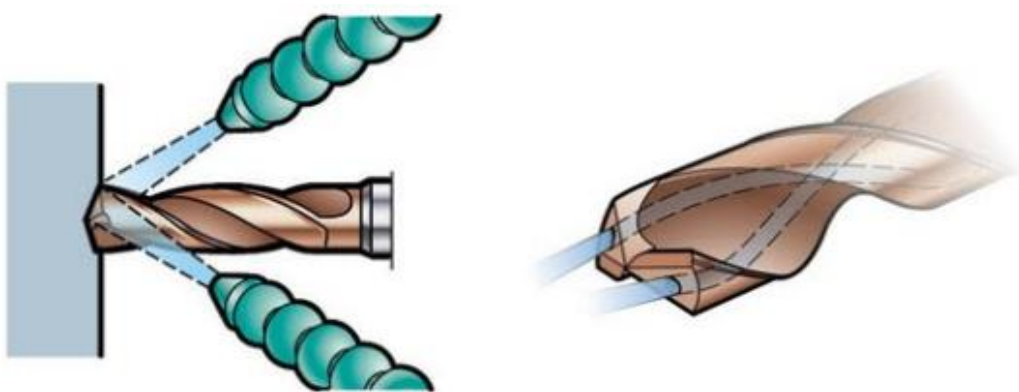
Řezná kapalina je přiváděna do místa řezu pod vysokým tlakem. Průměr výstupní trysky je 0,3 – 1 mm, tlak 0,3 – 3 MPa. Řezná kapalina je přiváděna na břit nástroje ze spodu, přímo do místa řezu. Tento způsob chlazení se používá tam, kde vzniklé teplo negativně působí na trvanlivost nástroje. Množství přiváděné kapaliny se pohybuje od 0,5 – 2 litrů za minutu. Nevýhodou je rozstřík řezné kapaliny do okolí a tvorba mlhy, proto musí být pracovní prostor uzavřen, aby nedocházelo ke znečišťování okolí stroje. [2]

Podchlazení řezné kapaliny

Podchlazení řezné kapaliny na teplotu nižší než je teplota okolí, přispívá ke zvýšení trvanlivosti nástrojů. Běžné řezné kapaliny můžeme podchladit na 5 – 7 °C, olej na 15 – 20 °C. Snížení teploty řezné kapaliny pod bod mrazu může přinést další zvýšení výkonu obrábění, ale je nutné použít řeznou kapalinu se speciálním složením. [2]

Vnitřní chlazení

Přináší výrazné zvýšení výkonu obrábění, můžeme navýšit řezné rychlosti o 5 – 15%. Tlak řezné kapaliny přiváděné do místa řezu vede ke zvýšení výkonu obrábění a k lepšímu odvodu třísek z místa řezu. Tato metoda je vhodná pro nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami, pro vrtáky (monolitní, s výměnnými břitovými destičkami) k vrtání hlubokých děr a děr do těžkoobrobitelných materiálů. [2]



Obrázek číslo 6 Přívod kapaliny středem Sandvik

2.10. Obráběcí centrum Hermle C 400

C 400 je dynamické a efektivní obráběcí centrum pro 5osé/5stranné obrábění. Použití zde nalézají osvědčená základní kompetence Hermle v 5osé technologii. Lože stroje v provedení z minerálního odlitku svou odolností vůči vibracím zajišťuje stroji C 400 potřebnou statickou stabilitu. Dále uvidíte příklady aplikací z oboru výroby nástrojů a konstrukce forem a ze strojírenství. [6]

Rozměry

- *Pojížděcí dráha 850 x 700 x 500 mm,*
- *Těleso: Ø 650 / V 500,*
- *Kolizní okruh: Ø 885 mm,*
- *Vzdálenost čela vřetena od plochy stolu: max. 625 mm. [6]*

Fakta

- *Otáčky vřetena: 15000 ot/min,*
- *Rychlé chody lineárně X-Y-Z: 35 m/min,*
- *Pevný upínací stůl: 1070 x 700 mm,*
- *Maximální zatížení stolu: 2000 kg. [6]*

2.10.1. Hightech vřetena nástroje s ochranou proti kolizi

Vřetena nástrojů zeštíhlené konstrukce se skládají ze dvou dílů a v případě servisu je lze snadno a rychle vyměnit. Díky malým kolizním hranám a ochraně proti kolizi pomocí pěchovacích pouzder je zaručena maximální bezpečnost. U 50 % všech kolizí se může škodám zabránit. [6]

2.10.2. Zásobník nástrojů

Vyzvedávací zásobník je u stroje C 400 integrovaný do lože stroje a zajišťuje tak velmi dobrou přístupnost. K dispozici je 30 zásobníkových míst pro nástroje o maximální hmotnosti 8 kg a maximální délce 200 mm. [6]



Obrázek číslo 7 Obráběcí centrum Hermle C400

2.11. Řídicí systém Heidenhain TNC 620

TNC 620 je mnohostranný řídicí systém až pro 5 os. Díky své pružné koncepci obsluhy možnosti dílenského programování v Dialogu HEIDENHAIN na stroji, nebo načítání externě připravených programů. Díky rozsahu svého výkonu je tento systém vhodný pro:

- *použití na frézkách, vrtáčkách a obráběcích centrech,*
- *kusovou a sériovou výrobu,*
- *výrobu nástrojů,*

- *obecné strojírenství,*
- *výzkum a vývoj,*
- *výrobu prototypů,*
- *zkušebny a opravy,*
- *odborné školy a učiliště.*

A má k tomu nezbytné a užitečné funkce pro:

- *Univerzální frézky*
 - *volné programování kontur,*
 - *frézovací cykly pro komplexní kontury,*
 - *rychlé nastavení vztažného bodu s 3D dotykovou sondou HEIDENHAIN.*
- *Vyvrtávačky*
 - *vrtací a závitovací cykly,*
 - *cykly pro rastry bodů v kruhovém a přímkovém uspořádání.*
- *Pětiosé obrábění se sklopnou frézovací hlavou a otočným stolem*
 - *externí, na stroji nezávislé programování,*
 - *TNC 620 automaticky přihlíží ke kinematickému uspořádání stroje,*
 - *sklápění roviny obrábění,*
 - *obrábění tvarů na plášti válce,*
 - *3D korekce nástrojů,*
 - *rychlé opracování díky krátkému času zpracování NC bloků. [7]*

2.12. EdgeCAM

Edgecam je jedním z vedoucích softwarů pro strojírenství, který splní veškeré nároky při tvorbě obráběcích programů pro CNC stroje. Umožňuje tvorbu programů od jednoduchých frézovacích útvarů až po složité 3D frézování, pro víceosé soustružení, soustružnicko-frézovací centra, rotační a víceosé frézování nebo obrábění sestav. Pomocí pokrokových obráběcích řešení dosáhnete vyšší produktivity a hospodárnost výroby.

Tyto řešení zahrnují prvky jako vynikající simulace drah nástrojů, jedinečně řešený nástroj pro vlastní tvorbu postprocesorů, obsáhlá databáze nástrojů, všestranně intuitivní prostředí pro tvorbu drah nástrojů či řízení výrobní dokumentace pomocí webové platformy.

Edgecam poskytuje produktivní dílenské řešení s velkou škálou frézovacích operací a cyklů. Frézovací operace umožňují uživateli rychle vytvořit výchozí dráhy nástrojů za pomoci jednoduše pochopitelných grafických návodů. Intuitivní průvodce Vás provede skrze rozhodnutí, které je nutno vytvořit při tvorbě obráběcího postupu. Toto ocení zejména noví nebo nepravidelní uživatelé Edgecam.

Frézovací operace Edgecam vycházejí z obsáhlých skupin frézovacích cyklů. Každý frézovací cyklus obsahuje nejmodernější technologické volby, umožňující uživatelům plně ovlivnit vytvářené dráhy nástrojů.

Efektivita obrábění je maximalizována nejen u jednoduchých či složitějších prizmatických součástí ale také u tvarových 3D ploch. Edgecam je tedy výkonným řešením, umožňující obrábění jak jednoduchých součástí, tak tvorbu složitých obráběcích postupů u 3D tvarových těles. [8]

2.12.1. Druhy operací v EdgeCAM

V často používaném programu EdgeCAM se využívají tyto druhy obrábění:

- *Obrábění ploch,*
- *Obrábění pomocí polohování, 5-osé operace, 4-osé operace,*
- *Inteligentní hrubovací a profilovací cykly,*
- *Cykly pro obrábění děr a frézování závitů,*
- *Grafická simulace kinematiky stroje pro bezpečnou kontrolu obrábění. [8]*

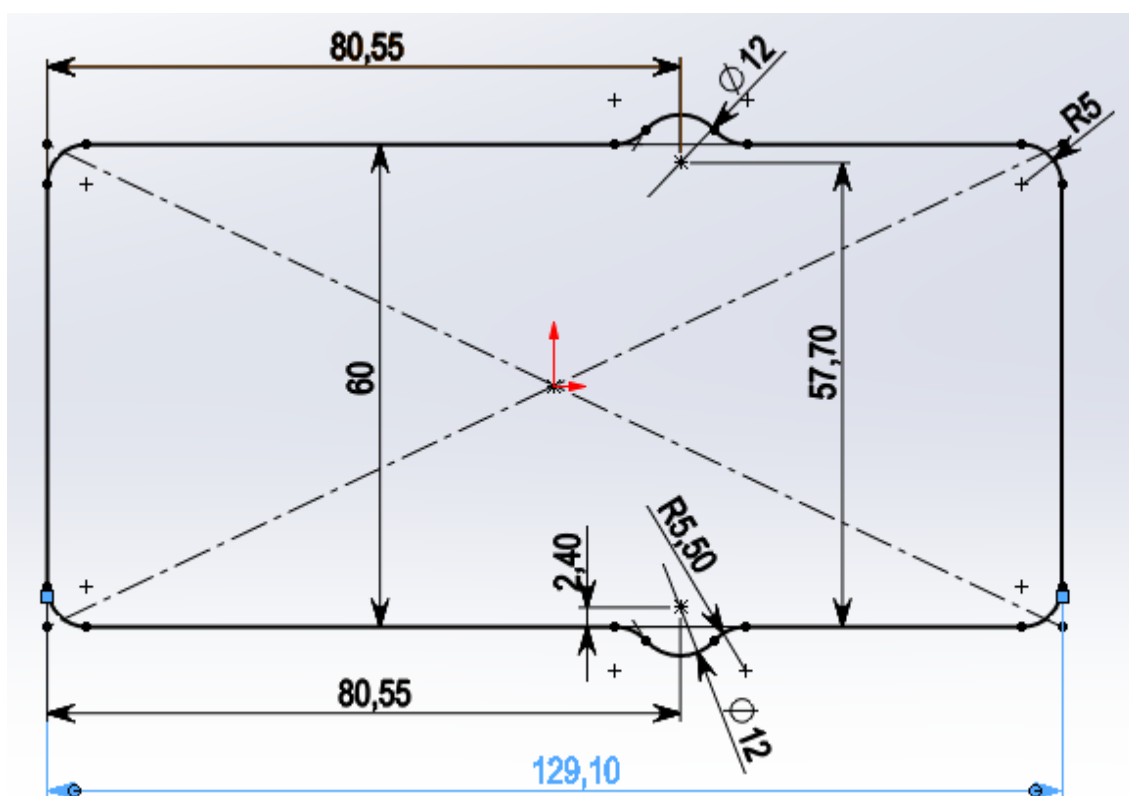
3. Praktická část

3.1. Vybraný výrobek

Pro svou bakalářskou práci jsem vybral jako výrobek víko na převodovku. Je to díl, na kterém mohu ukázat většinu možností modelování, programování i obrábění.

3.2. Modelování

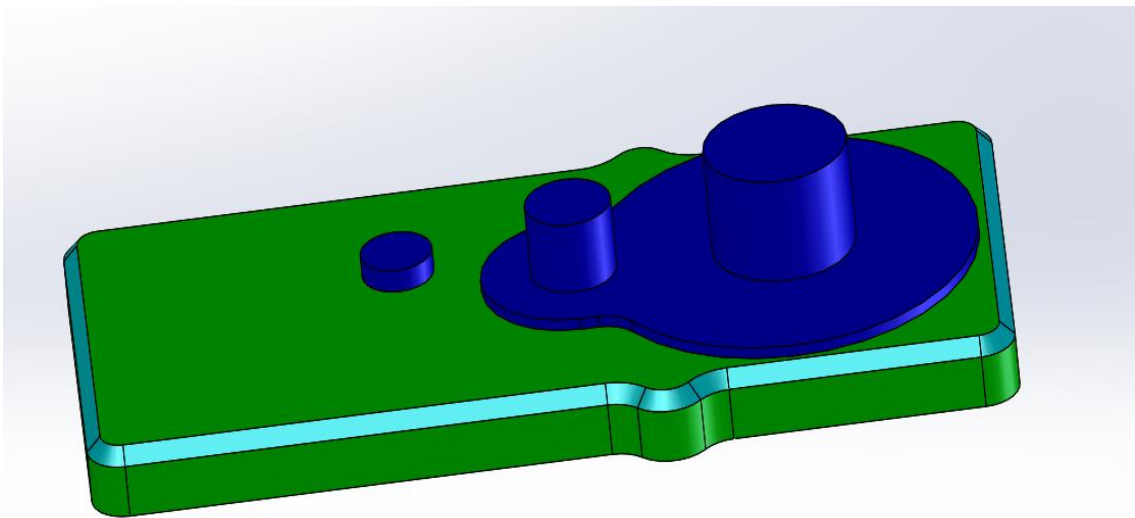
Modelování vybraného dílu provádím v programu SolidWorks, ve kterém jsem začal vytvořením první skici dílu. Jedná se o vnější tvar dílu. Viz obrázek číslo 7. Tvar by měl být co nejjednodušší. Proto zde volím větší zaoblení, aby se celý tvar mohl vyrobit jedním nástrojem.



Obrázek číslo 7 Vnější tvar

Poté pokračuji vysunutím. Díl by měl být co nejužší, aby nebyl zbytečně těžký, nezabíral moc místa a hlavně, aby byl polotovár co nejmenší a počáteční náklady na výrobu co nejnižší. To však nesmí být na úkor pevnosti a funkčnosti celého výrobku.

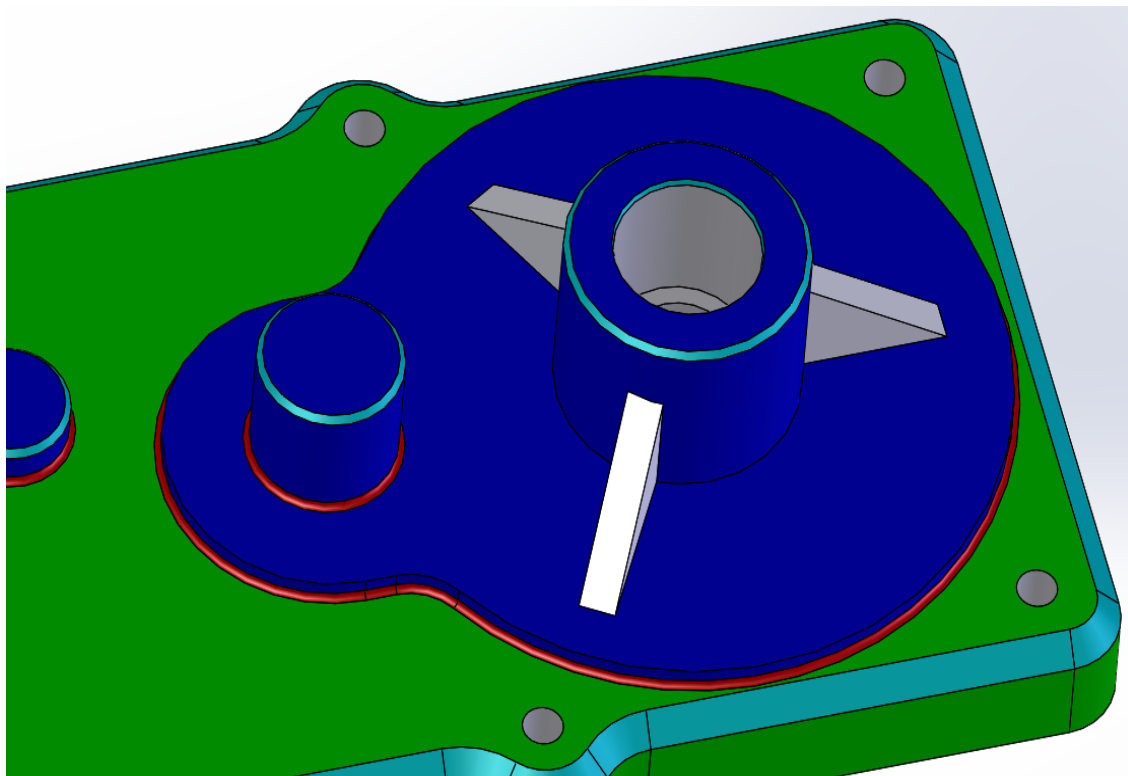
Ve víku musí být umístěny dva otvory, do kterých se nalisují osičky s ozubenými koly a okolo nich vytvořím kapsy, aby se ozubená kola mohla otáčet. Z tohoto důvodu je potřeba přidat vysunutí materiálu z druhé strany, aby bylo zabezpečeno dostatečné upevnění ozubených kol a místo pro ložisko. Viz obrázek číslo 8.



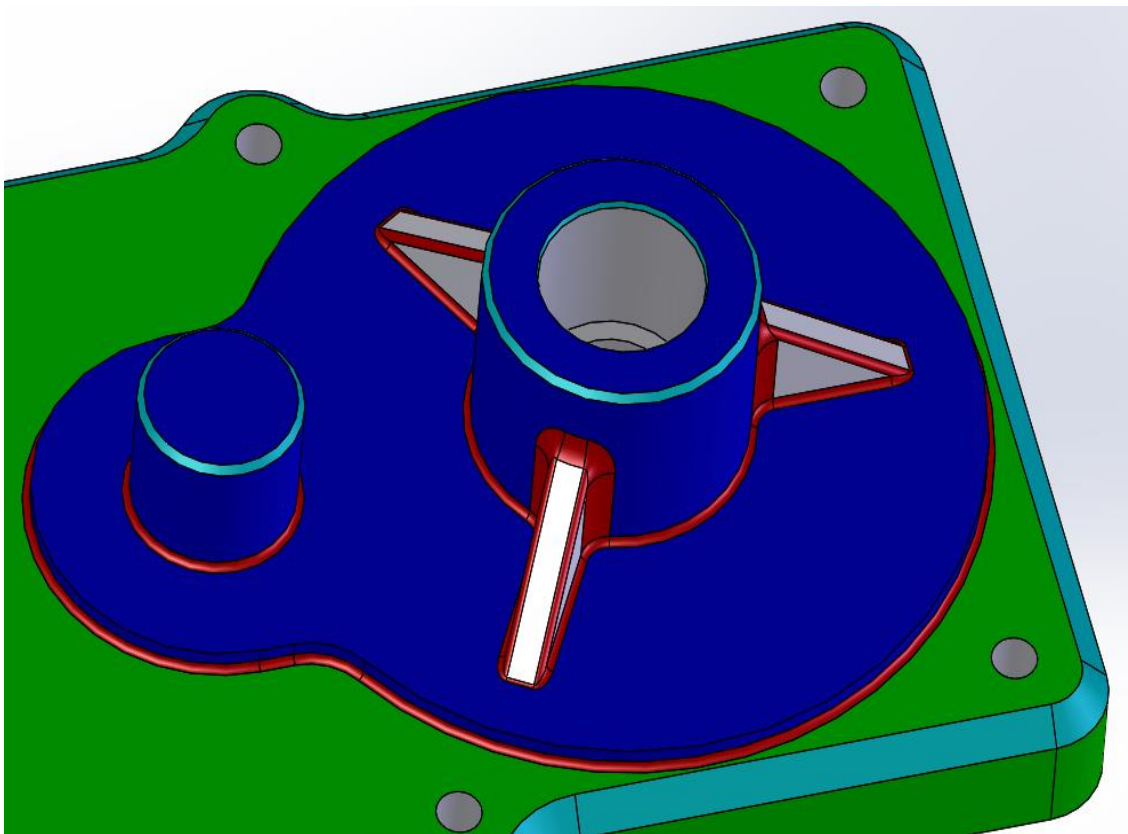
Obrázek číslo 8 Čelní strana

Tento takzvaný „komínek“ je velmi namáhaná část dílu, proto jsem zde přidal tři žebra, která zvýší jeho pevnost. Stěna „komínku“ může mít menší tloušťku. Výška a profil žeber by měl být stejný z důvodu vnitřního pnutí. Žebra musí mít dostatečný úkos a všechny hrany musí být zaobleny, protože první můj předpoklad je, že se bude díl vyrábět technologií lití.

Do rohů dílu jsem vložil metrické závity M4, kterými se víko přitáhne k převodovce.



Obrázek číslo 9 Žebra bez zaoblení



Obrázek číslo 10 Žebra se zaoblením

3.3. Zvolení nejvhodnějšího materiálu

3.3.1. Druhy vhodných materiálů

- Dural (5083 - AlMg4,5Mn) 42 4415
 - *slitina střední kvality,*
 - *dobrá obrobiteľnosť,*
 - *poměrně měkká slitina,*
 - *svařitelná, dobře eloxovatelná a má dobrou korozní odolnost,*
 - *vyrábí se technologií odřezávání z litého ingotu (minimální vnitřní pnutí),*
 - *nízká cena. [9]*
- Nerez (17 240)
 - *základní nerezavějící austenitická ocel,*
 - *nemagnetická,*
 - *vynikající odolnost proti korozi,*
 - *těžší obrobiteľnosť,*
 - *vyšší cena. [10]*
- Ocel (14 220)
 - *ocel vhodná k cementování a objemovému tváření,*
 - *dobře obrobiteľná,*
 - *dobrá svařitelnost,*
 - *použití na strojní součásti s velmi tvrdou cementovanou vrstvou a velkou pevností v jádře po kalení. [11]*
- Plast (Polyoxymetylén - POM)
 - *pevný, tuhý mimořádně houževnatý a rázuvzdorný materiál,*
 - *odolný slabým kyselinám, benzínu, oleji,*
 - *neodolává zásadám a aromatickým uhlovodíkům,*
 - *nízká cena. [11]*

3.3.2. Požadavky na materiál

- Lehký,
- Tepelně odolný,
- Pro velkosériovou výrobu vhodný na odlévání,
- Levný.

Veškeré tyto požadavky jsou zaneseny v přehledné tabulce. Základním parametrem pro výběr vhodného materiálu je, aby výrobek byl lehký a přesto pevný. V tomto ohledu splňují požadavky pouze dural a plast. Nerezová ocel 17 240 a ocel 14 220 jsou oproti ostatním materiálům skoro třikrát těžší.

Dalším požadavkem je tepelná odolnost, kterou nespĺňuje pouze plast POM. Zbylé materiály jsou v tomto ohledu vhodné.

Jelikož je předpoklad, že se tento díl bude ve velkosériové výrobě odlévat, je nutné tento požadavek zahrnout již při výrobě těchto prototypů.

Cena všech materiálů je velmi podobná. Pouze nerezová ocel je skoro dvakrát dražší, než zbylé materiály.

Z tabulky vyplývá, že nejvhodnějším materiálem je dural. Který použijí k výrobě, a proto budou technologii vyhotovovat pro tento materiál a následně z něj díl vyrobím.

Materiál	Rozměr materiálu (mm)	Hustota (kg/m ³)	Váha (g)	Tepelná odolnost	Vhodný na odlévání	Cena za kus (Kč)
Dural 42 4415	133 x 70 x 30	2 800	782	ANO	ANO	195
Nerez 17 240	133 x 70 x 30	8 000	2 234	ANO	x	380
Ocel 14 220	133 x 70 x 30	7 850	2 193	ANO	x	220
Plast POM	133 x 70 x 30	1 420	397	x	ANO	200

Tabulka číslo 3 Srovnání materiálů

3.4. Zvolení nejvhodnější technologie

3.4.1. Dostupné technologie

- Soustružení,
- Broušení naplocho a nakulato,
- 3D tisk,
- Lití,
- Elektroerozivní obrábění,
- Frézování.

3.4.2. Zhodnocení technologií

Jednotlivé technologie jsou popsány v teoretické části práce. Časové odhady jsem konzultoval s odborníky, kteří s těmito technologiemi denně pracují.

Soustružením se vyrábějí pouze součásti kruhového průřezu. Zvolený výrobek tento požadavek nesplňuje. Z tohoto důvodu není možné na výrobu této součásti technologii soustružení použít.

Technologie broušení je dokončovací druh operace, která musí být součástí výrobního procesu. Avšak v tomto případě není potřeba ji použít, jelikož zde není potřeba dosažení malých drsností povrchů a velkých přesností rozměrů, které jsou dosahovány broušením. Proto mohu technologii broušení na výrobu této součásti vynechat.

Za předpokladu, že by zvolený díl mohl být vyrobený z plastu a bylo by potřeba jen několik málo dílů, byla by technologie 3D tisku úplně ideální. Je to rychlá a moderní technologie. Bohužel z předešlé kapitoly vyplývá, že víko musí být z jiného materiálu a proto i tato technologie není vhodná.

Technologie odlévání je velmi vhodná pro velkosériovou výrobu. U této technologie je velký počáteční vklad v podobě výroby odlévacího nástroje. Výroba takového nástroje se pohybuje okolo 1 000 000 Kč. Ale posléze je výroba jednotlivých dílů velmi rychlá a levná. Ovšem na výrobu deseti těchto kusů není vůbec ekonomická.

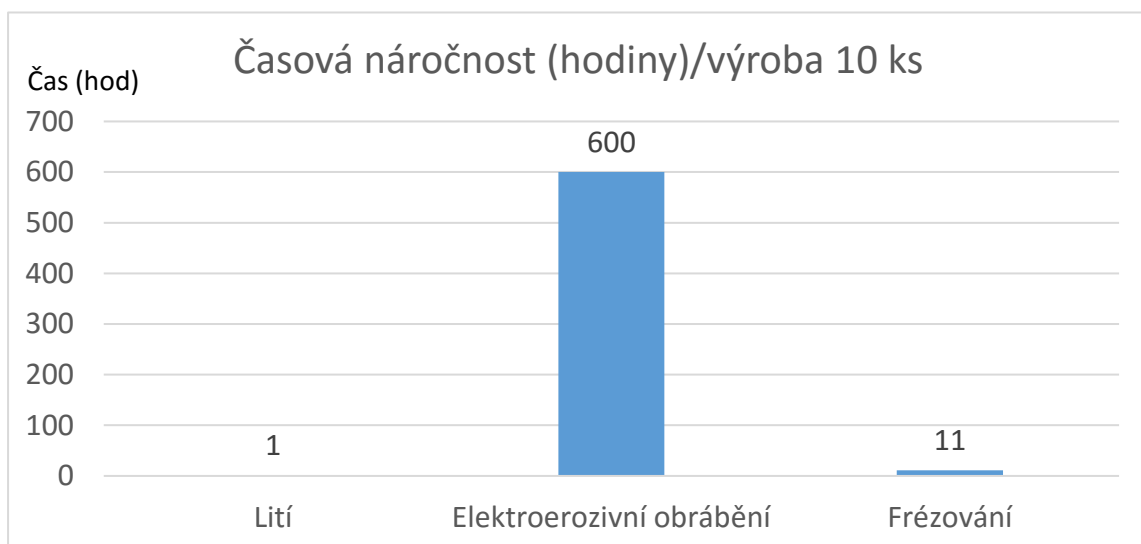
Elektroerozivní obrábění je velmi přesná technologie, ale je hodně pomalá. I když jsou elektrické generátory na slitiny velmi účinné, tak jenom vyříznutí obvodového tvaru

jednoho víka zabere hodinu času. Zbylé kapsy a výstupy je potřeba vyhloubit pomocí elektrod a to potrvá dalších 60 hodin. Navíc by bylo potřeba započítat vícepráce v podobě výroby jednotlivých elektrod, které se vyrábějí z mědi na frézce a drátořezu.

Frézování je velmi vhodná technologie na obrábění duralu, ale i ostatních materiálů, které byly na výběr. Nejedná se o nejrychlejší metodu pro velkosériovou výrobu, ale na vyrobení několika málo dílů je velmi vhodná. Vyrobení takového dílu odhaduji na 1 hodinu.

Technologie	Vhodnost	Časová náročnost (hodiny)
Soustružení	NE	x
Broušení	NE	x
3D tisk	NE	x
Lití	ANO	1*
Elektroerozivní obrábění	ANO	600*
Frézování	ANO	11

Tabulka číslo 4 Technologie
K hodnotám označeným * nejsou připočítané vícepráce.



Graf číslo 2 Časová náročnost vybraných technologií na výrobu 10 ks

Technologií odlévání jsou výrobky hotové nejrychleji, ale je předtím potřeba vyrobit formu, která není v grafu zohledněna. Odhadovaný čas výroby této formy je 1250 hodin a to značí velké předvýrobní náklady.

K vyrobení deseti požadovaných dílů se jeví jako nejekonomičtější a také nejvhodnější technologie frézování.

3.5. Programování

Programování obrábění mohou provádět několika způsoby. Existuje spousta druhů programovacích počítačových programů (EdgeCAM, SolidCAM, AlphaCAM, NX a spousta dalších). Jednoduché součásti se dají naprogramovat přímo na stroji pomocí různých cyklů (uvedené v teoretické části), nebo takzvaného volného FK programování. Já mám největší zkušenosti s programem EdgeCAM, který využiji pro tento díl.

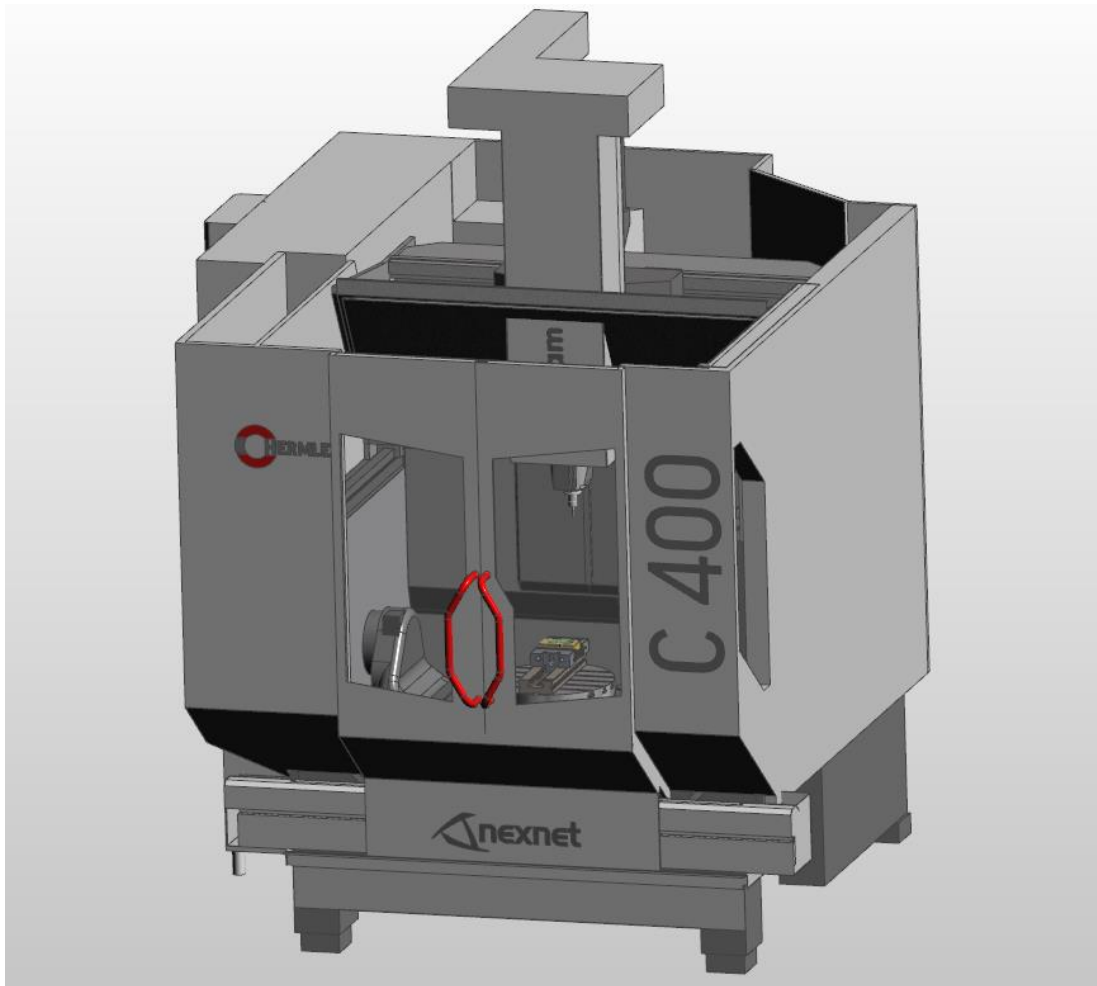
První krok je umístění počátku v osách „x“, „y“, „z“. Upřednostňuji umístění počátku v osách „x“ a „y“ na střed polotovaru a v ose „z“ nahoru. Hlavní důvod je jednoduché osondování a zamezení případné chyby při najetí.

Další krok je vložení polotovaru, upínky a vybrání stroje, na kterém budeme obrábět. Je důležité zadat přesné umístění upínky a obrobku ve stroji, aby pozdější simulace obrábění byly shodné se stavem ve stroji při obrábění.

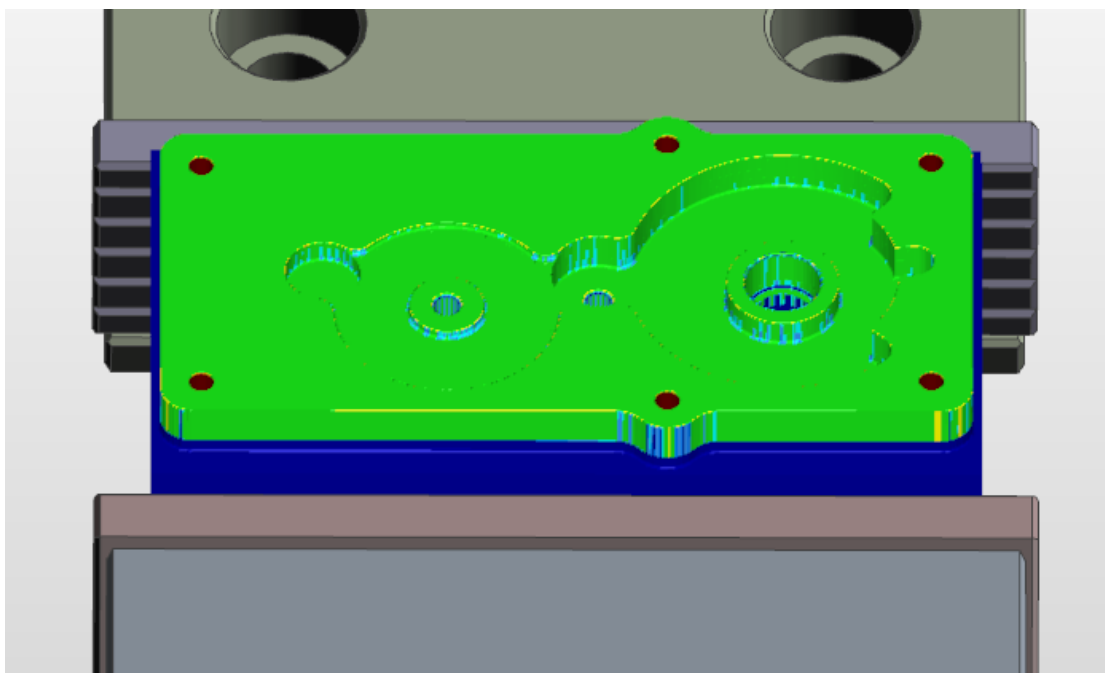
Následně musím vybrat vhodné nástroje pro výrobu. Jako první použiji plátkovou frézu Pokolm $\varnothing 42$ s rohovým rádiusem 3. Tato fréza je vhodná pro velké úběry materiálu. Další operace provedu s menšími, monolitními frézami ($\varnothing 10$, $\varnothing 6$, $\varnothing 5$), kterými obrobím zbytky materiálu po předchozí fréze. Veškeré tyto operace provádím s přídávkem 0,1 až 0,2 mm. Poté monolitní frézu $\varnothing 4$ s rohovým rádiusem 0,5 použiji k dokončovacímú profilování celé první strany.

Veškeré otvory vrtám vrtákem z rychlořezné oceli (HSS), proto je nutné každý otvor nejprve navrtat, abych zamezil případnému vyhnutí, nebo rozkmitání vrtáku při zavrtání do materiálu. Jestliže bych použil tvrdokovový vrták, nemusel bych použít navrtání. Otvor $\varnothing 9$ vyvrtám skrz celý polotovar, abych si usnadnil osondování z druhé strany.

Po vyvrtání otvorů je na řadě závitování a vystružování. V tomto případě se jedná o závity M4, které vyrobím strojním závitníkem přímo na stroji (pomocí cyklu 200). Strojní vystružník 3,98H7 využiji pro vytvoření uložení s přesahem (cyklus 201). Na závěr obrábění první strany dílu využiji odjehlovač 90° , abych mohl frézovat veškeré sražené hrany na tomto dílu a zamezil případným otřepům materiálu vzniklým předchozím obráběním. U otvorů pro osičky ozubených kol a pro ložisko použiji odjehlovač 60° , aby zde byla vhodnější náběhová hrana a lépe se osičky a ložiska lisovaly.

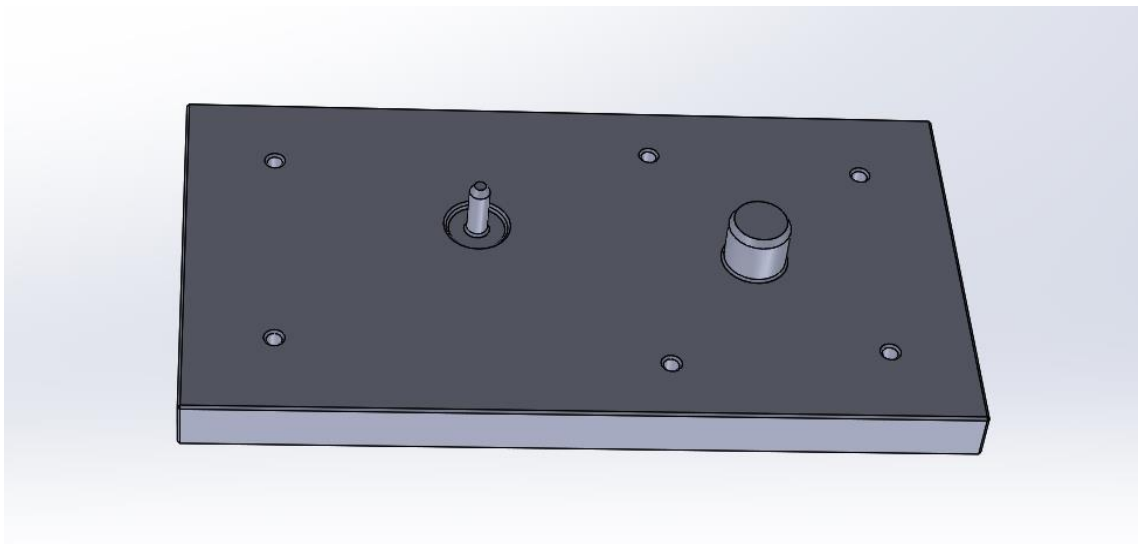


Obrázek číslo 11 Simulace obrábění



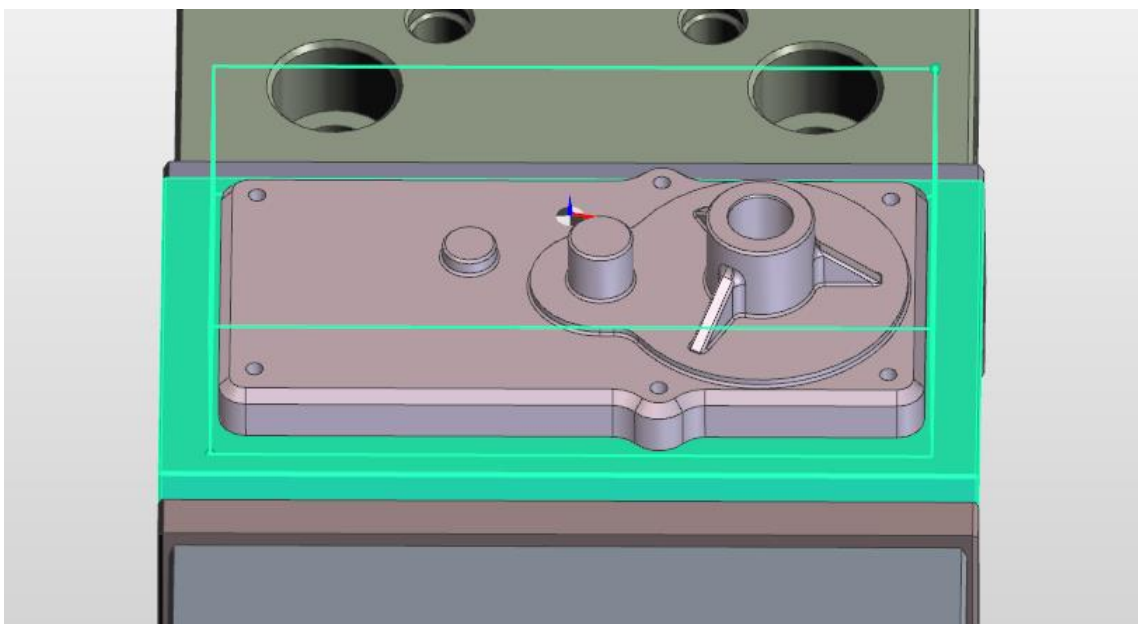
Obrázek číslo 12 Vizualizace první strany

Abych dodržel veškeré kolmosti a rovnoběžnosti, nemohu díl upnout z druhé strany do svěráku. Využiji tedy závitů M4, které jsou již vyrobeny z první strany. Mohu díl přišroubovat na přípravek, který jsem si dopředu připravil. V přípravku je pouze šest otvorů a dva výstupky, kterými se bude díl aretovat pomocí přesných otvorů. Tím docílím, aby každý díl byl správně ustaven a přesně vyroben.



Obrázek číslo 13 Přípravek

Frézování druhé strany probíhá podobně, jako první straně dílu. Používám stejné nástroje.



Obrázek číslo 14 Vizualizace druhé strany

3.5.1. Řezné podmínky

V katalogu výrobce nástrojů jsem našel veškeré rozměry nástrojů, doporučenou řeznou rychlost a střední posuv na zub. Tyto hodnoty jsou určeny pro chlazení emulzí, proto veškeré operace budou prováděny s funkcí M8 (chlادivo zapnuto). Otáčky a posuv jsem vypočítal podle vzorečků, které jsou uvedeny v teoretické části mé práce. Jednotlivé hodnoty jsem uvedl v tabulce.

Pozice	Název	D	R	z	f	v	n	s
1	Plátková fréza Pokolm 42r3	42	3	3	0,15	800	6066	2730
2	TK Fréza Torus 10r0,5	10	0,5	3	0,05	150	4777	717
3	TK Fréza Torus 6r0,5	6	0,5	3	0,03	150	7962	717
4	TK Fréza Torus 5r0,5	5	0,5	3	0,02	150	9554	573
5	TK Fréza Torus 4r0,5	4	0,5	3	0,015	150	11943	537
6	NC navrtávák HSS 90° N	6	X	2	0,02	45	2389	96
7	Vrták HSS 3,3mm	3,3	X	2	0,02	45	4343	174
8	Vrták HSS 3,8mm	3,8	X	2	0,025	45	3771	189
9	Vrták HSS 9mm	9	X	2	0,05	45	1592	159
10	Strojní závitník M4	4	X	3	X	13	1035	X
11	Strojní výstružník 3,98H7	3,98	X	6	0,05	13	1040	312
12	TK odjehlovač hran 90°	6	X	4	0,03	200	10616	1274
13	TK odjehlovač hran 60°	6	X	4	0,03	150	7962	955

Tabulka číslo 5 Tabulka nástrojů

3.5.2. Řídící kód

Vygenerovaný řídicí kód jsem vložil do přílohy číslo 2. Je zde pouze ukázka začátku a konce toho kódu, který zde podrobně popíšu. Vygenerovaný řídicí kód na obě strany tohoto dílu obsahuje 17 249 řádku, proto je celý uveden pouze v příloze na přiloženém CD.

0 BEGIN PGM Operace 1 MM

- Hlavička programu, název programu, měrná jednotka (MM/INCH)

1; CAS OBRABENI : 21.046 MIN

- Čas obrábění

2; *****NASTROJE*****

; CISLO: 1 NASTR: Plátková fréza 42 R3 PR: D+42,0
; CISLO: 2 NASTR: TK Fréza Torus 10r0,5 PR: D+10,0
; CISLO: 6 NASTR: NC navrtávák HSS-E 90° N PR: D+6,0
; CISLO: 7 NASTR: Vrták HSS/E N 3,3mm PR: D+3,3
; CISLO: 10 NASTR: Strojní závitník M4 PR: D+4,0
; CISLO: 9 NASTR: Vrták HSS/E N 9mm PR: D+9,0
; CISLO: 4 NASTR: TK Fréza Torus 5r0,5 PR: D+5,0
; CISLO: 5 NASTR: TK Fréza Torus 4r0,5 PR: D+4,0
; CISLO: 8 NASTR: Vrták HSS/E N 3,8mm PR: D+3,8
; CISLO: 11 NASTR: Strojní výstružník 3,98H7 PR: D+3,98
; CISLO: 3 NASTR: TK Fréza Torus 6r0,5 PR: D+6,0
; CISLO: 13 NASTR: TK odjehlovač hran 60° PR: D+6,0
; CISLO: 12 NASTR: TK odjehlovač hran 90° PR: D+6,0

- Tabulka nástrojů, číslo nástroje, název nástroje, průměr nástroje

3 BLK FORM 0.1 Z X-66.5 Y-35 Z-29

- Definice neobrobeného polotovaru v minimálních hodnotách a rovina obrábění

4 BLK FORM 0.2 X66.5 Y35 Z1

- Definice neobrobeného polotovaru v maximálních hodnotách

5 ; Plátková fréza 42 R3 (CPL Půdorys)

- Název nástroje, název roviny obrábění

6 TOOL CALL 1 Z S6066

- Vyvolání nástroje číslo 1 v ose „Z“ s 6 066 otáčkami

7 L M3 M8

- Funkce pro roztočení vřetena, chladio zapnout

8 L X+60.472 Y+75.54 F MAX

- Najetí nástroje na souřadnice v ose „X“ a „Y“ maximální rychlostí

9 L Z+10 R0 F MAX

- Najetí nástroje na souřadnici v ose „Z“ bez korekce nástroje maximální rychlostí

11 L X+60.472 Y+75.54 Z-0.5 F2730

- Najetí nástroje na souřadnice v ose „X“, „Y“ a „Z“ rychlostí 2 730 mm/min

13 CC X-7.504 Y+1.28

- Definice středu kruhu CC

14 C X+62.346 Y+53.1 DR-

- Souřadnice koncového bodu kruhového oblouku a smysl otáčení (+ / -)

5927 L X-27.874 Y-6.54 Z+9.85 F MAX

- Najetí nástroje na souřadnice v ose „X“ a „Y“ maximální rychlostí

5928 M5 M9

- Zastavení otáček vřetena, Chladivo vypnout

5929 L Z+495 R0 F MAX M91

- Najetí nástroje na souřadnici v ose „Z“ vztažené ke stroji a ne k nulovému bodu dílu, bez korekce nástroje, maximální rychlostí

5930 L X+0 Y+700 R0 F MAX M91

- Najetí nástroje na souřadnice v ose „X“ a „Y“ vztažené ke stroji a ne k nulovému bodu dílu, bez korekce nástroje, maximální rychlostí

5931 PLANE RESET TURN MB MAX FMAX

- Reset natočení os „C“ a „A“

5932 M2

- Konec programu

5933 LBL 1

- Začátek podprogramu číslo 1

5934 L X+16 Y+27.62 F MAX M99

- Najetí nástroje na souřadnice v ose „X“ a „Y“ maximální rychlostí a vyvolání cyklu

5940 LBL 0

- Konec podprogramu

3.6. Výroba dílu

Výrobu dílu provedu na stroji Hermle C400, který využívá řídicí systémem Heidenhain. Veškeré technické informace jsou uvedeny v teoretické části této práce.

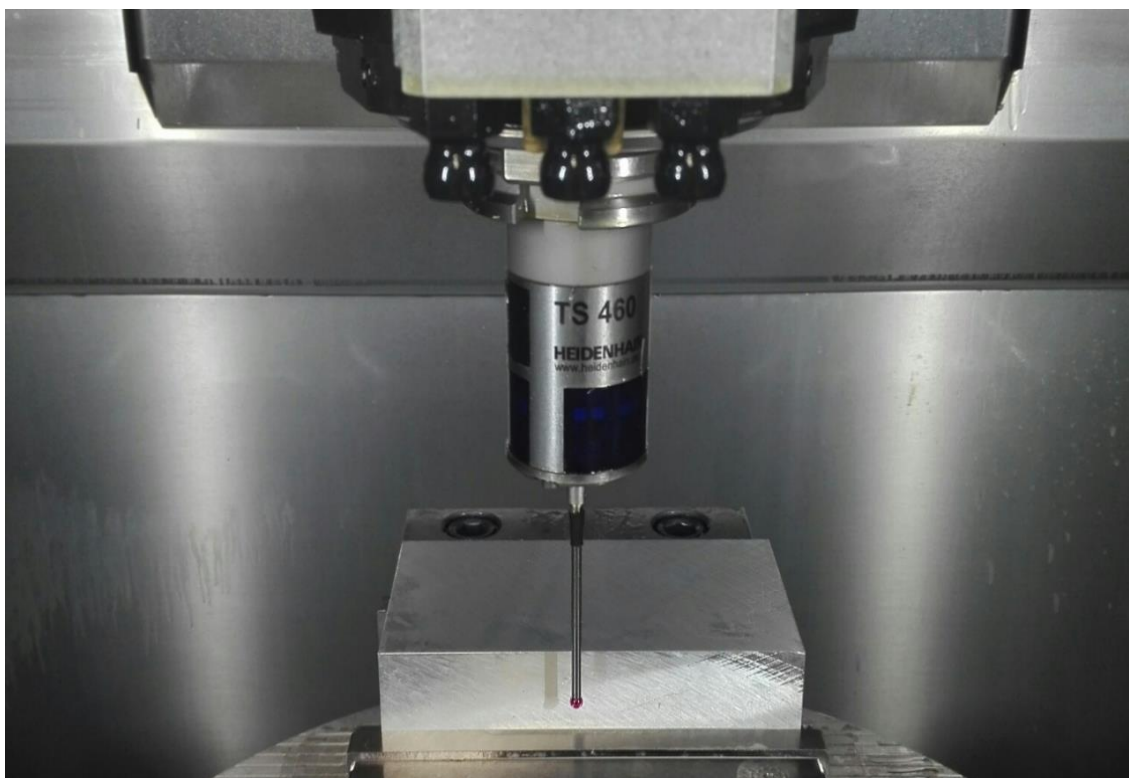
3.6.1. Stanovení rozměru polotovaru

Rozměry hotového dílu jsou 129,1 x 67,3 x 25 mm. Polotovar musím mít z každé strany větší alespoň o 1,5 mm, aby se nestalo, že by nějaká strana obrobku byla neobrobená. V ose „z“ musí být alespoň 5 mm přídavek, protože polotovar musí za několik milimetrů držet ve svěráku. Z tohoto vycházejí rozměry polotovaru 133 x 70 x 30 mm.

3.6.2. Osondování dílu

Osondování dílu provádím dotykovou sondou TS 460 HEIDENHAIN, která byla dodána výrobcem stroje. Práci s dotykovou sondou usnadňují cykly, které jsou součástí systému HEIDENHAIN. Dotyková sonda pracuje tak, že při dotyku sondy s obrobkem zastaví, zaznamená přesnou polohu sondy a vrátí se do výchozí pozice. Posléze mohou zapsat požadovanou hodnotu do místa dotyku.

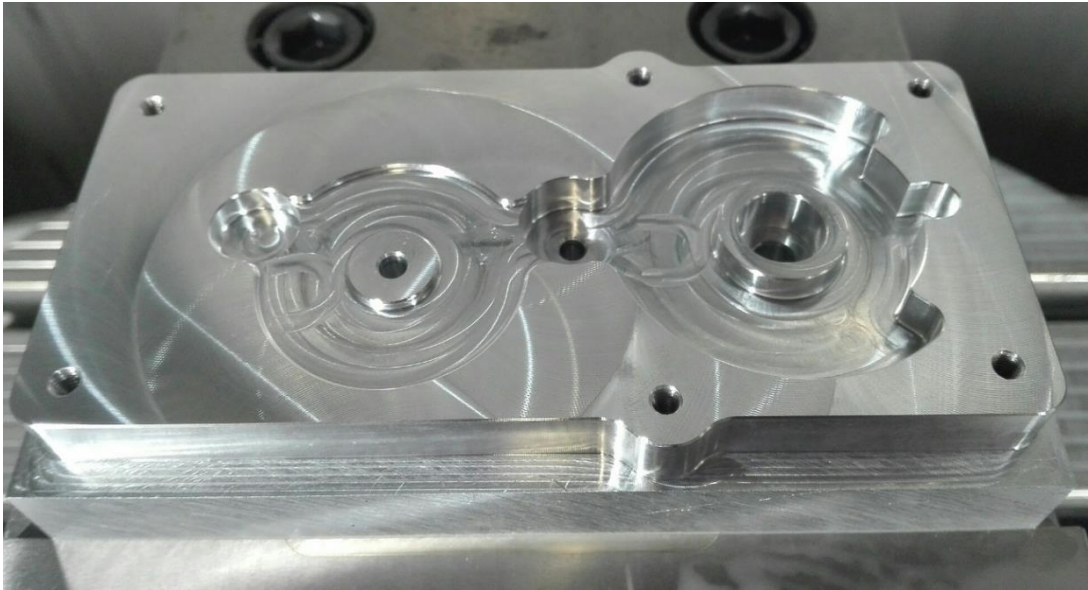
Jelikož mám polotovar obdélníkového tvaru, mohu použít cyklus 411 – VZTAŽNÝ BOD OBDÉLNÍK ZVENKU. Cyklus nastavím tak, aby nastavil nulový bod na prostředek dílu nahoru. Celý program s tímto cyklem je v příloze.



Obrázek číslo 15 Osondování dílu

3.6.3. První strana

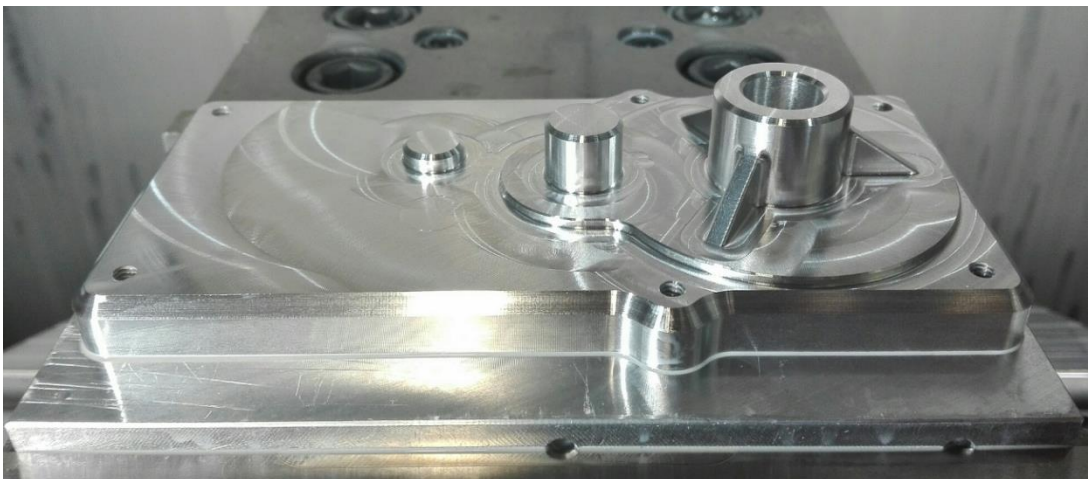
Obrábění první strany proběhlo bez nějakého problému a vše podle simulace v programu EdgeCAM. Jsou zde pouze vidět nepatrné stopy po dokončovací fríze, která profilovala vnitřní kapsy a čepy. Tento rozdíl jsem přeměřil dotykovou sondou, která naměřila rozdíl 0,02 mm. Tato odchylka neomezuje díl v jeho funkčnosti. Mohu to nazvat optickou vadou, která se na dalších dílech odstraní odsazením nástroje.



Obrázek číslo 16 Výroba první strany

3.6.4. Druhá strana

Obrobek je přichycen na přípravek šesti šrouby M4 a aretován pomocí výstupků na přípravku, které přesně zapadají na otvory, jež jsou vyrobeny z první strany obrobku. Před obráběním je nutné obrobek řádně doklepat na podložky, aby byla docílena požadovaná rovnoběžnost dílu. Celé obrábění proběhlo bez sebemenšího problému.



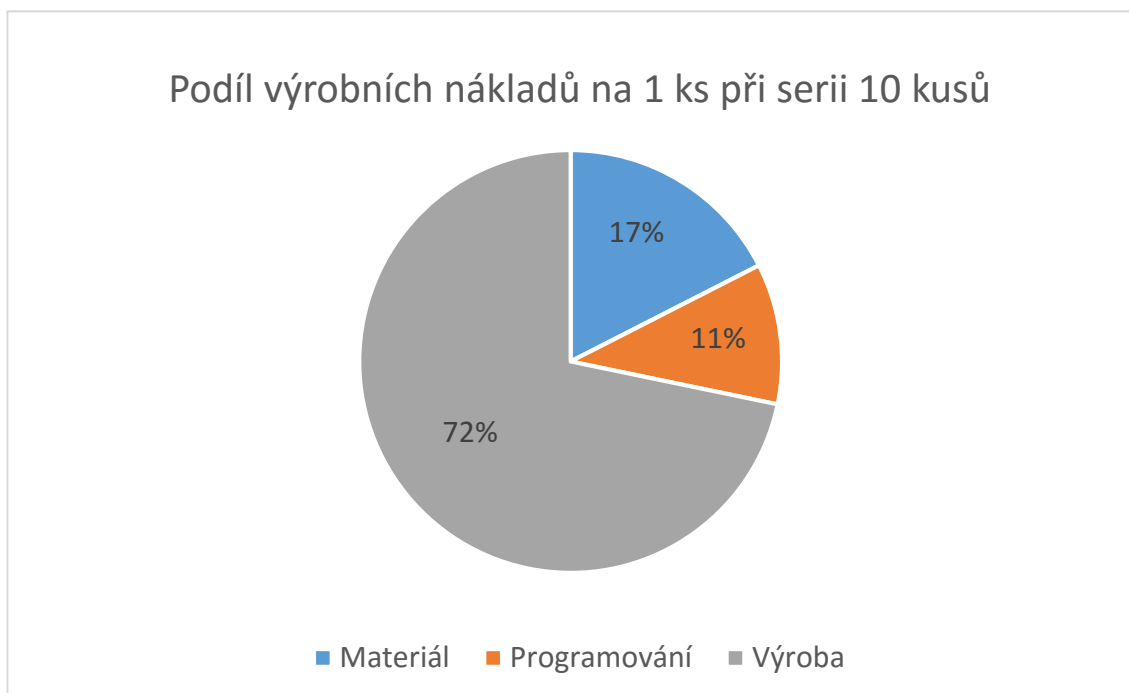
Obrázek číslo 17 Výroba druhé strany

3.7. Výrobní náklady na 10 kusů

Pro přehlednost uvedu výrobní náklady na 10 těchto kusů. Je zde započítána doba programování, obrábění a náklady na materiál použitý na výrobu. Cena za hodinu programování je přibližně stejná jako hodina chodu stroje a to je 800,- Kč/hod. Materiál Dural (42 4415) o rozměrech 133 x 70 x 30 stojí 195,- Kč za kus. Veškeré hodnoty jsou v přehledné tabulce a grafu níže.

	Cena za kus / hodinu (Kč)	Počet kusů / hodin	Celkové náklady (Kč/10ks)
Materiál	195,- Kč/ks	10 ks	1950,- Kč
Programování	800,- Kč/hod	1,5 hod	1200,- Kč
Výroba	800,- Kč/hod	10 hod/10 ks	8000,- Kč
Výrobní náklady			11150,- Kč

Tabulka číslo 6 Výrobní náklady



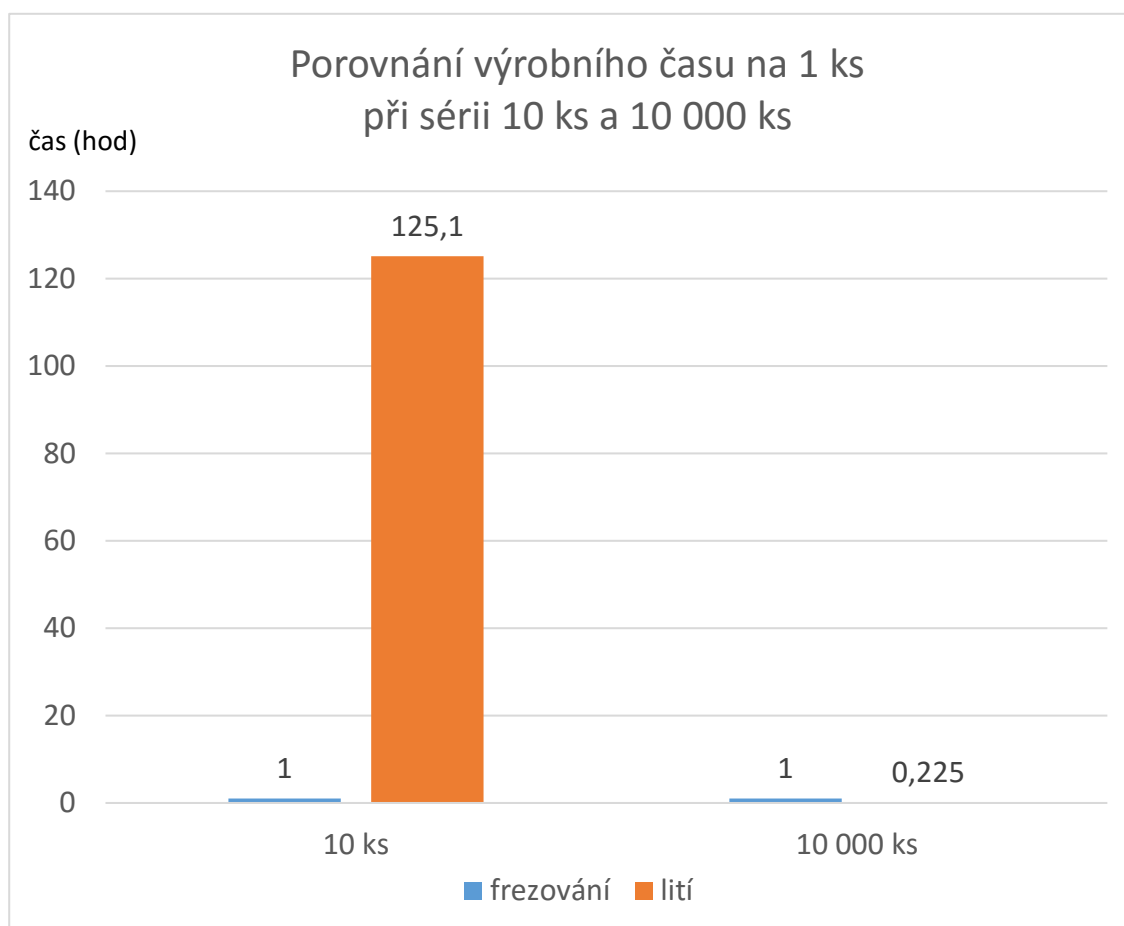
Graf číslo 3 Podíl výrobních nákladů

Z grafu a tabulky je patrné, že nejvyšší náklady na vyrobení 10 kusů, je za samotnou výrobu. Druhá nejvyšší položka je cena materiálu a nejméně peněz je vynaloženo na tvorbu programu. Jelikož je doba programování nezávislá na počtu vyráběných kusů.

3.8. Zhodnocení vybrané technologie

Konstrukční návrh víka k převodovce hodnotím jako zdařilý. Veškeré požadavky byly splněny. Díl je poměrně jednoduchý, přesto splňuje veškeré funkční prvky, které jsou požadovány.

Pokud by se měla víka vyrábět velkosériově, tak bych se přiklonil k vytvoření formy a díly vyráběl litím a tím ušetřil náklady na výrobu. Jako příklad uvedu srovnání časů na vyrobení 10 kusů a 10 000 kusů v grafu, který je v hodinách a je zde započítána počáteční investice do výroby odlévacího nástroje. Z grafu je patrné, že časová náročnosti na jeden kus při sérii 10 ks a 10 000 ks je u frézování stále stejná, avšak u technologie lití je se náklady na výrobu jednoho kusu rapidně snižují.



Graf číslo 4 Porovnání výrobního času na 1 ks při sérii 10 ks a 10000 ks

Celkově mohu technologii frézování těchto dílů v tomto počtu zhodnotit jako ideální. Díl byl vyroben v souladu s veškerými požadavky, ale zároveň i rychle.

Závěr

V teoretické části bakalářské práce jsem definoval základní pojmy užívané ve strojírenství. Dále jsem popsal jednotlivé výrobní postupy, technologie a technologičnost konstrukce. V této části jsem dále uvedl podrobnější popis vybraného obráběcího centra, s řídicím systémem Heidenhain a programu EdgeCAM využívaného k vytvoření programů pro tento stroj.

V praktické části jsem postupoval tak, jak by mělo být správně postupováno, když se vytváří konstrukční návrh a technologie pro nový díl. Nejprve jsem vymodeloval vzorový díl, který by měl sloužit, jako víko pro převodovku. Modelování jsem provedl v programu SolidWorks a následně jsem celý postup popsal. Dále jsem provedl analýzu materiálů, z kterých by bylo možné víko vyrobit. Po zhodnocení veškerých požadavků se ukázalo, že nejvhodnějším materiálem- bude dural 42 4415.

Následně jsem provedl analýzu možných technologií a vybral z nich tu nejvhodnější. Nejdříve jsem vyřadil technologie, které nejsou příliš vhodné pro výrobu tohoto dílu. Pak jsem vyloučil technologie, které nejsou schopné efektivně zpracovat daný materiál. Po selekci zbyly tři vhodné technologie, které jsem dále zkoumal z pohledu vhodnosti pro případnou výrobu. U každé jsem určil časovou náročnost na výrobu deseti dílů. Časovou náročnost jsem konzultoval s odborníky, kteří s těmito technologiemi pracují každodenně. Z dosažených hodnot je patrné, že nejvhodnější technologií, při daném počtu kusů, je frézování.

Dalším krokem bylo vytvoření programu, k jehož realizaci bylo nutné vybrat nástroje a stanovit vhodné řezné podmínky. Následně jsem vygeneroval řídicí kód, osondoval polotovar a celý díl vyrobit na CNC obráběcím centru Hermle C400. Výroba tohoto vzorového dílu proběhla bez technologických problémů. Zvolené nástroje a jejich dráhy, při obrábění, byly adekvátní ke zvolenému materiálu. Na vyrobeném dílu jsou velmi pěkně vidět dráhy (tzv. trajektorie) dokončovacího nástroje. Celkové výrobní náklady na výrobu deseti kusů těchto vík jsem spočetl na 11 150 Kč, při sazbě 800 Kč za hodinu a ceně materiálu 195 Kč na jeden kus.

Takto vyrobené víko k převodovce, při užití vybrané technologie, hodnotím jak konstrukčně, tak výrobně, za velmi zdařilé. Díl je velmi jednoduchý, obsahuje tři opěrná žebra, u každé hrany má zaoblení a tím je poměrně tuhý. Takto navržený a vyrobený díl pak vydrží i větší mechanické namáhání. Výroba frézováním se jeví v tomto počtu kusů jako ideální technologie. Avšak kdyby se vyráběl tento díl ve velkých sériích, bylo by vhodnější vyrobít formu a veškeré díly odlévat tlakově. Cena jednotlivých dílů by se tímto rapidně snížila.

Užitá literatura

- [1] VESELÝ, Bedřich. *Technická praktika strojí obrábění kovů*. 1. Pedagogická fakulta JU České Budějovice: Editační středisko PF JU České Budějovice, 1994, 73 s.
- [2] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II - 1. díl*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1641-8
- [7] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2005. ISBN 80-7361-011-6.

Zdroje z internetu

- [3] Technologičnost konstrukce [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://www.strojnicketabulkyonline.cz/obrabeni/technologicnost-konstrukce-se-zamerenim-na-obrabeni/>
- [4] Technologičnost konstrukce [online]. [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <http://www.strojnicketabulkyonline.cz/obrabeni/technologicnost-konstrukce-se-zamerenim-na-obrabeni/>
- [5] Speciální metody obrábění [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: http://jhamernik.sweb.cz/Specialni_metody.htm
- [6] Obráběcí stroje [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: https://www.hermle.de/cs/obr%C3%A1b%C4%9Bc%C3%AD_centra/modely/obr%C3%A1b%C4%9Bc%C3%AD_centrum_c_400
- [7] CNC řízení [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-rizeni/tnc-620/
- [8] *EdgeCAM* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://www.edgecamcz.cz/edgecam-production-milling>
- [9] Vlastnosti materiálu. *Kovo-spacil* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.kovo-spacil.cz/alloys/cz.htm>
- [10] Charakteristika nerezových ocelí. *KÖNIGFRANKSTAHL* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.akfs.cz/akfs/index.php?menu=234>
- [11] Volba a optimalizace řezných podmínek. *Tomáš CAHA* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30308870.pdf>

Seznam obrázků

- *Obrázek číslo 1 Způsoby frézování [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/12532/content_zpusoby_frezovani.JPG*
- *Obrázek číslo 2 Pracovní pohyby nástroje a obrobku [online]. [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <http://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/lmg/02000.jpg>*
- *Obrázek číslo 3 Soustružnické postupy [online]. [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <http://www.strojnicketabulkyonline.cz/obrabeni/technologicnost-konstrukce-se-zamerenim-na-obrabeni/>*
- *Obrázek číslo 4 Speciální metody obrábění [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: http://jhamernik.sweb.cz/Specialni_metody_soubory/image001.gif*
- *Obrázek číslo 5 Základní řezné úhly [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/23038/content_zakladni_rezne_uhly___kopie.png*
- *Obrázek číslo 6 Přívod kapaliny středem Sandvik [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/wp-content/uploads/2015/11/2-vrtani-privod-kapaliny-stredem-Sandvik-Coromant-CoroDrill-870.jpg>*
- *Obrázek číslo 7 Hermle C400 [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: https://www.hermle.de/imgsrc/2341/2023/1280/1/C400_rechts_touch.jpg*
- *Obrázek číslo 7 Vnější tvar – vlastní zdroj*
- *Obrázek číslo 8 Čelní strana – vlastní zdroj*
- *Obrázek číslo 9 Žebra bez zaoblení – vlastní zdroj*
- *Obrázek číslo 10 Žebra se zaoblením – vlastní zdroj*
- *Obrázek číslo 11 Simulace obrábění – vlastní zdroj*
- *Obrázek číslo 12 Vizualizace první strany – vlastní zdroj*
- *Obrázek číslo 13 Přípravek – vlastní zdroj*
- *Obrázek číslo 14 Vizualizace druhé strany – vlastní zdroj*
- *Obrázek číslo 15 Osondování dílu – vlastní zdroj*

- *Obrázek číslo 16 Výroba první strany – vlastní zdroj*
- *Obrázek číslo 17 Výroba druhé strany – vlastní zdroj*

Seznam tabulek

- Tabulka číslo 1 Předpisy drsností – Výuková skripta Veselý
- Tabulka číslo 2 Opracování povrchu kovových součástí – Výuková skripta Veselý
- Tabulka číslo 3 Srovnání materiálů – vlastní zdroj
- Tabulka číslo 4 Technologie – vlastní zdroj
- Tabulka číslo 5 Tabulka nástrojů – vlastní zdroj
- Tabulka číslo 6 Výrobní náklady – vlastní zdroj

Seznam grafů

- Graf číslo 1 Hospodárná řezná rychlost [online]. [cit. 2018-06-21]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30308870.pdf>
- Graf číslo 2 Časová náročnost vybraných technologií na výrobu 10 ks – vlastní zdroj
- Graf číslo 3 Podíl výrobních nákladů – vlastní zdroj
- Graf číslo 4 Porovnání výrobního času na 1 ks při sérii 10 ks a 10000 ks – vlastní zdroj

Seznam příloh

- Příloha číslo 1 Osondování dílu
- Příloha číslo 2 Řídící kód první strana – vybraná část
- Příloha číslo 3 Celý řídící kód první strana – na přiloženém CD
- Příloha číslo 4 Celý řídící kód druhá strana – na přiloženém CD

Přílohy

Příloha číslo 1 Osondování dílu

```
0 BEGIN PGM SONDA MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-62 Y-35 Z-30
2 BLK FORM 0.2 X+62 Y+35 Z+0.5
3 TOOL CALL 38 Z
4 L X+0 Y+0 R0 FMAX
5 L Z+100 R0 FMAX
6 TCH PROBE 411 VZT.BOD VNE UHLU ~
  Q321=+0 ;STRED 1. OSY ~
  Q322=+0 ;STRED 2. OSY ~
  Q323=+134 ;1. DELKA STRANY ~
  Q324=+70 ;2. DELKA STRANY ~
  Q261=-5 ;MERENA VYSKA ~
  Q320=+2 ;BEZPECNOSTNI VZDAL. ~
  Q260=+100 ;BEZPECNA VYSKA ~
  Q301=+1 ;NAJET BEZPEC.VYSKU ~
  Q305=+0 ;CISLO V TABULCE ~
  Q331=+0 ;PRESET ~
  Q332=+0 ;PRESET ~
  Q303=+1 ;PRENOS MERENE HODN. ~
  Q381=+1 ;SNIMANI V OSE TS ~
  Q382=+0 ;1.SOUR. PRO OSU TS ~
  Q383=+0 ;2.SOUR. PRO OSU TS ~
  Q384=+0 ;3.SOUR. PRO OSU TS ~
  Q333=+0.5 ;PRESET
7 L Z+495 R0 FMAX M91
8 L X+0 Y+700 R0 FMAX M91
9 PLANE RESET TURN MB MAX FMAX
10 M2
11 END PGM SONDA MM
```

Příloha číslo 2 Řídící kód první strana

```
0 BEGIN PGM Operace 1 MM
1; CAS OBRABENI : 21.046 MIN
2; *****NASTROJE*****
; CISLO: 1 NASTR: Plátková fréza 42 R3 PR: D+42,0
; CISLO: 2 NASTR: TK Fréza Torus 10r0,5 PR: D+10,0
; CISLO: 6 NASTR: NC navrtávák HSS-E 90° N PR: D+6,0
; CISLO: 7 NASTR: Vrták HSS/E N 3,3mm PR: D+3,3
; CISLO: 10 NASTR: Strojní závitník M4 PR: D+4,0
; CISLO: 9 NASTR: Vrták HSS/E N 9mm PR: D+9,0
; CISLO: 4 NASTR: TK Fréza Torus 5r0,5 PR: D+5,0
; CISLO: 5 NASTR: TK Fréza Torus 4r0,5 PR: D+4,0
; CISLO: 8 NASTR: Vrták HSS/E N 3,8mm PR: D+3,8
; CISLO: 11 NASTR: Strojní výstružník 3,98H7 PR: D+3,98
; CISLO: 3 NASTR: TK Fréza Torus 6r0,5 PR: D+6,0
; CISLO: 13 NASTR: TK odjehlovač hran 60° PR: D+6,0
; CISLO: 12 NASTR: TK odjehlovač hran 90° PR: D+6,0
;
3 BLK FORM 0.1 Z X-66.5 Y-35 Z-29
4 BLK FORM 0.2 X66.5 Y35 Z1
5 ; Plátková fréza 42 R3 ( CPL Půdorys )
6 TOOL CALL 1 Z S6066
7 L M3 M8
8 L X+60.472 Y+75.54 F MAX
9 L Z+10 R0 F MAX
10 L X+60.472 Y+75.54 Z+2.5 F MAX
11 L X+60.472 Y+75.54 Z-0.5 F2730
12 L X+60.472 Y+55.535
13 CC X-7.504 Y+1.28
14 C X+62.346 Y+53.1 DR-
.
.
.
5927 L X-27.874 Y-6.54 Z+9.85 F MAX
5928 M5 M9
5929 L Z+495 R0 F MAX M91
5930 L X+0 Y+700 R0 F MAX M91
5931 PLANE RESET TURN MB MAX FMAX
5932 M2
5933 LBL 1
5934 L X+16 Y+27.62 F MAX M99
5935 L X-57.98 Y+22.81 F MAX M99
5936 L X-57.98 Y-23.9 F MAX M99
5937 L X+16 Y-27.66 F MAX M99
5938 L X+57.94 Y-23.42 F MAX M99
5939 L X+57.94 Y+23.81 F MAX M99
5940 LBL 0
5941 END PGM Operace 1 MM
```