VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY DRŽÁKU

A PROPOSAL OF PRODUCTION TECHNOLOGY OF A HOLDER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Veronika Stará

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Petra Sliwková, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	**Veronika Stará**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	**Ing. Petra Sliwková, Ph.D.**
Akademický rok:	2021/22

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

Návrh technologie výroby držáku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V bakalářské práci bude navržena výrobní technologie pro zvolenou součást. Součástí práce bude postup výroby součásti, nástrojové vybavení, porovnání ekonomického řešení pro 2 různé frézky.

Cíle bakalářské práce:

Teoretický rozbor problematiky.
Rozbor stávající technologie.
Návrh výrobní technologie.
Technicko–ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, M. a M. PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

PÍŠKA, M. a kol. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. Brno: CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-x.

SHAW, M. C. Metal Cutting Principles. 2nd edition. New York Oxford University Press, 2005. 651 p. ISBN 0-19-514206-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá rozborem stávající technologie výroby zadaného držáku. Nový návrh výrobního postupu se zabývá výběrem CNC frézovacího centra, volbou vhodných nástrojů pro obrábění, zvolením řezných podmínek a zjištěním délky výroby jednotlivých operací. Práce zahrnuje ekonomické porovnání obou variant výrobního postupu.

Klíčová slova

CNC obrábění, ekonomické porovnání, frézování, nástroje, obrábění, technologický postup

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the analysis of the current production technology of the specified holder. The new design of the production process deals with the selection of the CNC milling center, the selection of suitable tools for machining, the selection of cutting conditions and determining the length of production of individual operations. The work includes an economic comparison of both variants of the production process.

Key words

CNC machining, economic comparison, milling, tools, machining, technological process

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STARÁ, Veronika. *Návrh technologie výroby držáku* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140375. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Petra Sliwková.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh technologie výroby držáku vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

20.5.2022
Datum

Veronika Stará

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Petře Sliwkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji svému otci za cenné informace a podporu poskytnutou během vypracování práce, a i celého mého studia.

OBSAH

ÚVOD 9
1 CHARAKTERISTIKA ZVOLENÉ SOUČÁSTI 10
1.1 Rozbor zvoleného dílu 10
1.2 Materiál 10
2 TECHNOLOGIE POUŽITÉ PŘI VÝROBĚ 11
2.1 Dělení materiálu 11
2.1.1 Dělení materiálu na pásových pilách 11
2.2 Frézování 11
2.2.1 Válcové frézování 12
2.2.2 Čelní frézování 12
2.2.3 Nástroje při frézování 13
2.2.4 Upínání frézovacích nástrojů 14
2.2.5 Upínání obrobku 16
2.2.6 Stroje pro frézování 16
2.2.7 Řezné podmínky při frézování 18
2.2.8 Jednotkový strojní čas 20
2.3 Vrtání 21
2.3.1 Nástroje pro vrtání 21
3 ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE 23
3.1 Volba stroje 23
3.1.1 Stroj pro dělení materiál 23
3.1.2 Stroj pro frézování a vrtání 24
3.2 Volba polotovaru 25
3.2.1 Výpočet spotřeby materiálu 25
3.3 Použité nástroje a měřidla ve stávajícím postupu 27
3.4 Technologický postup 28
3.5 Délka času výroby 29
4 NÁVRH VÝROBNÍ TECHNOLOGIE 33
4.1 Volba stroje 33
4.2 Volba nástrojů 34
4.3 Technologický postup 35
4.4 Délka času výroby 36
5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ 39
5.1 Výpočet aktuální ceny polotovaru 39
5.2 Ekonomické porovnání 39
5.3 Vyhodnocení 41
ZÁVĚR 42
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 43
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 44

ÚVOD

Obrábění je technologický proces, díky kterému se zhotoví požadovaný tvar obrobku pomocí odebírání materiálu v požadovaných rozměrech a přesnosti. Mezi hlavní obráběcí operace se řadí soustružení, hoblování, obrážení, vrtání a frézování. Bakalářská práce se primárně zabývá operací frézování. Frézování je rozšířená metoda obrábění především díky možnosti obrobení značného množství tvarových ploch pomocí rozmanitých nástrojů. Práce se zabývá návrhem výrobního technologického postupu. Výrobní technologický postup je organizovaný sled operací, jimiž musí požadovaný polotovar projít při obrobení do požadovaného tvaru obrobku.

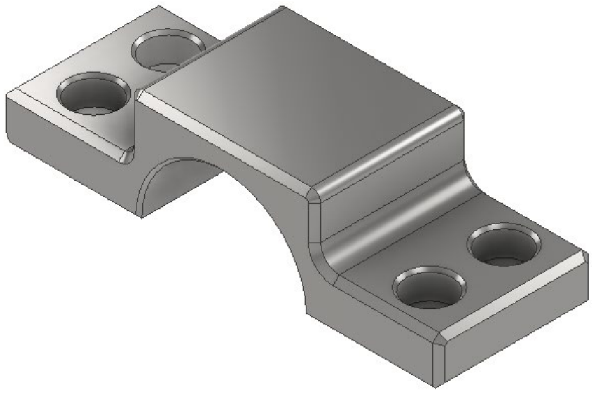
Teoretická část se věnuje rozboru použitých technologii při výrobě zadaného držáku. Praktická část se zaměřuje na rozbor stávající technologie, kde je popsána volba stroje pro frézování, použité nástroje při výrobě, technologický postup, určení délky času výroby a výpočet spotřeby materiálu. Nově navržená technologie se především zaměřuje na produktivnější výrobu půlkruhového vybrání v dolní části obrobku. Technologický postup obsahuje volbu frézovacího centra, výběr vhodných nástrojů, technologického postupu a stanovení času potřebného pro výrobu. Závěrem práce je výpočet aktuální ceny polotovaru, ekonomické porovnání variant, které zahrnuje cenu polotovaru, ceny nástrojů a náklady na provoz a obsluhu stroje.

1 CHARAKTERISTIKA ZVOLENÉ SOUČÁSTI

Hlavním cílem bakalářské práce je nový návrh výrobního postupu, na CNC frézovacím centru a ekonomické zhodnocení variant při sériovosti 1 200 ks za rok. Při řešení výroby součásti bylo použito několik výrobních technologii. Polotovar se dělí na pásové gravitační pile, operace frézování a vrtání bude prováděna na CNC frézce.

1.1 Rozbor zvoleného dílu

Zadaný díl viz Obr. 1 se vyrábí CNC frézováním tvaru, rádiusů a vrtáním 4 průchozích otvorů se zahloubením. Při výrobě se řídíme normou ČSN ISO 2768 mK. Výkres držáku je přiložen v Příloze č. 1.



Obr. 1 Model dílu.

1.2 Materiál

Pro vyráběnou součást byl zvolen materiál EN 10025 S235JR, jedná se o evropskou standardní normu pro nelegovanou konstrukční ocel taženou za studena [1].

Význam názvu S235JR

„S“ – zkratka pro Structual steel.

„235“ – označuje minimální hodnotu meze kluzu (MPa) pro tloušťku oceli ≤ 16 mm.

„JR“ – označuje jakostní třídu vztahující se k energetické hodnotě rázové zkoušky Charpy ≥ 27 J, při pokojové teplotě 20 °

Chemické složení oceli je znázorněno v Tab. 1.

Tab. 1 Chemické složení oceli S235JRG2 [2].

Ocel	Chemické složení v % (≤)					
	C	N	Mn	P	S	Cu
S235JR	0,170	0,012	1,400	0,035	0,035	0,550

Hustota materiálu je 7,85 g/cm^3.

Obrobitelnost materiálu pro frézování a vrtání je 14 b [2].

2 TECHNOLOGIE POUŽITÉ PŘI VÝROBĚ

2.1 Dělení materiálu

Hutní materiál je dodávaný v normalizovaných rozměrech. Před vlastním obráběním materiál dělíme na potřebné délky s přídavkem, podle požadovaných rozměrů konečného obrobku. Vhodné metody pro dělení materiálu jsou řezání pomocí pilového pásu, pilového kotouče. Pro vyráběnou součást bylo zvoleno dělení materiálu na pásové pile. [3; 4]

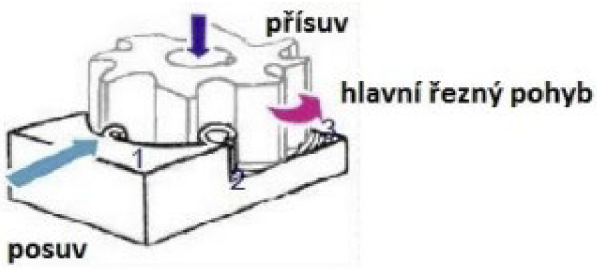
2.1.1 Dělení materiálu na pásových pilách

Pro zadaný díl dělení materiálu na pásové pile, viz Obr. 2, je produktivní a dochází k nejmenším ztrátám materiálu při prořezu. Řezná spára je o jednu až dvě třetiny menší než u kotoučových pil. Nástrojem je svařený pilový pás. Pohyb pásu zajišťuje hnací kolo a vlastní váha ramene pomocí gravitačního pohybu zajišťuje přítlak dořežu [4].

Obr. 2 Pásová pila PILOUS [17].

2.2 Frézování

Frézování se řadí mezi velmi rozšířené metody třískového obrábění. Výhodou této technologie je produktivita a rozmanitost výroby. Frézováním lze obrábět rovinné, tvarové, rotační plochy, drážky různých tvarů, závity, ozubení, vrtat otvory pomocí velké škály různých nástrojů. Při frézování vykonává hlavní rotační pohyb nástroj-fréza. Vedlejší přímočarý pohyb je posuv, který vykonává obrobek, viz Obr. 3. Při přerušovaném řezném procesu odebírá každý rotující břit nástroje krátké třísky. U moderního frézování se využívají plynule měnitelné posuvy, které se mohou realizovat ve více směrech zároveň. Z technologického hlediska se podle polohy osy nástroje k obráběné ploše rozlišuje frézování válcové a čelní. [3; 4]

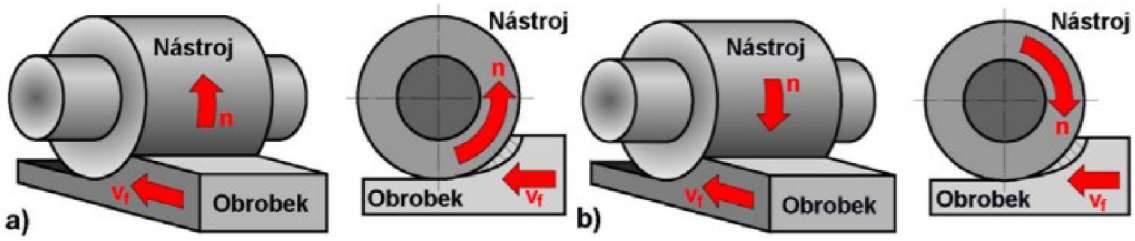


Obr. 3 Základní pohyby při frézování [4].

2.2.1 Válcové frézování

Válcové frézování se převážně používá při frézování s válcovými a tvarovými frézami, kolmo na osu frézy a směr posuvného pohybu. Při frézování válcovou frézou je tříska odebíraná břity na obvodě frézy. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. Výhodou obvodového frézování je, že s rostoucím průměrem frézy můžeme pracovat s větším pracovním posuvem, protože dochází k odběru delší třísky na úkor její tloušťky, což má vliv na snížení pružné deformace a lepší odvod tepla z obrobku [4; 5].

V závislosti na kinematice frézovacího procesu se rozlišuje frézování nesousledné a frézování sousledné, viz Obr. 4.



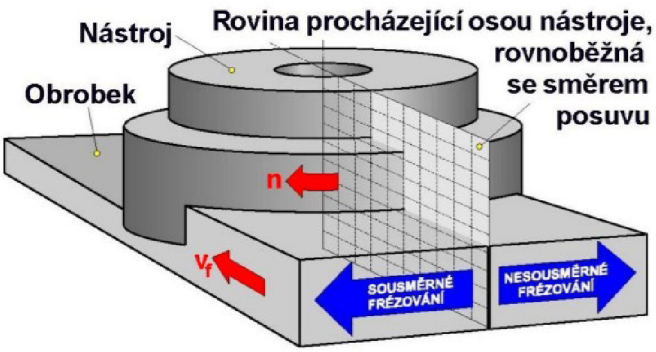
Obr. 4 Válcové frézování [4]: a) nesousledné b) sousledné.

Při nesousledném frézování se ostří rotujícího nástroje v místě dotyku pohybuje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Proměnlivá tloušťka třísky se mění od minimální hodnoty na hodnotu maximální [3; 6].

Při sousledném frézování je smysl rotace takový, že ostří se v místě dotyku pohybuje ve směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se mění z maximální hodnoty na nulovou hodnotu. Obrobená plocha se zhotovuje, když zub frézy vychází ze záběru. Při použití sousledného frézování musí být zajištěna vůle a předpětí mezi posunovým šroubem a maticí stolu. Při nedodržení hrozí poškození stroje i nástroje. Sousledné frézování se používá především u CNC frézek [3; 6].

2.2.2 Čelní frézování

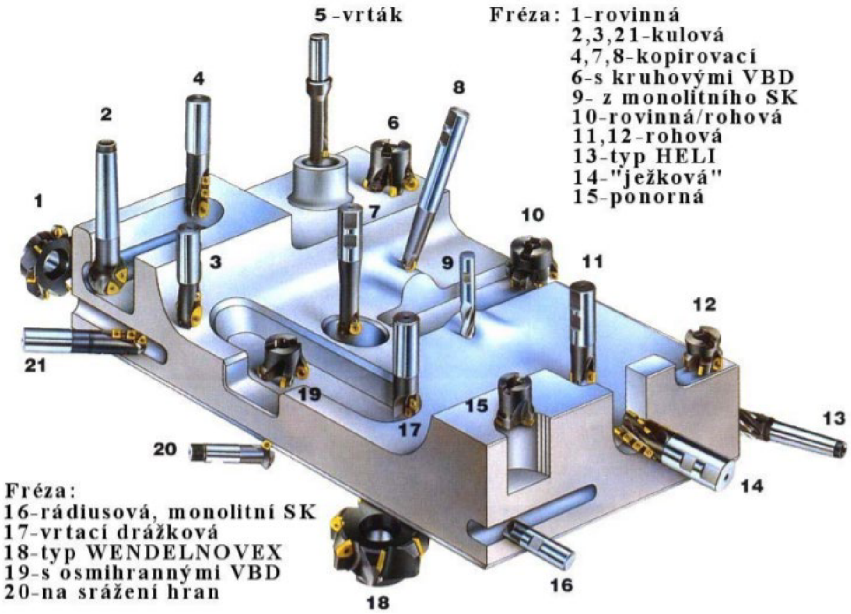
Při čelním frézování (Obr. 5) se tříska odebírá po obvodu a na čele nástroje. Osa nástroje je kolmá na osu obrobku. Hloubka odebírané vrstvy se nastavuje ve směru osy nástroje a tříska je odebírána od minimální hodnoty po maximální. Při čelním frézování je v záběru více břitů zároveň [5; 6].



Obr. 5 Čelní frézování [4].

2.2.3 Nástroje při frézování

Frézy (Obr. 6) jsou vícebřité nástroje, na kterých jsou břity uspořádané na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše. U čelních fréz jsou břity i na čelní ploše nástroje. Pro metodu frézování díky velkému rozsahu technologie se používá velké množství druhů fréz. Frézy se v návaznosti na svou technologičnost třídí do několika skupin podle různých hledisek [4; 3].



Obr. 6 Frézy firmy Walter [4].

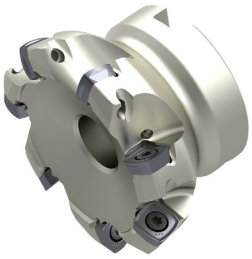
1. Podle provedení zubu [6; 5]:
   - Frézy se zuby frézovanými
   - Frézy se zuby podsoustruženými
2. Podle směru zubů vzhledem k ose frézy [6]:
   - Frézy se zuby přímými
   - Frézy se zuby ve šroubovici na Obr. 7

Obr. 7 Fréza se zuby ve šroubovici [15].

3. Podle způsobu upnutí [6]:
   - Frézy stopkové – upínají se za válcovou nebo kuželovou stopku
   - Frézy nástrčné na Obr. 8 – upínají se na centrální otvor

Obr. 8 Nástrčná fréza [15].

4. Podle smyslu otáčení při pohledu od vřetena stroje [6]:
   - Frézy pravořezné.
   - Frézy levořezné
5. Podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy [6]:
   - Frézy jemnozubé – používají se pro frézování na čisto
   - Frézy polohrubozubé – používají se pro středně velké úběry při frézování
   - Frézy hrubozubé – používají se pro operace hrubování
6. Podle konstrukčního uspořádání [5]:
   - Frézy monolitní
   - Frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami (Obr. 9)
   - S letovanými destičkami
   - Frézy s vloženými noži



Obr. 9 Fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami [15].

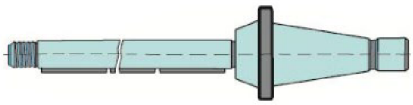
7. Podle geometrického tvaru funkční části [6]:
   - Frézy válcové – s břity na válcové ploše
   - Frézy úhlové – s břity na válcové a čelní ploše
   - Frézy kotoučové – s břity na válcové a obou čelních plochách
   - Frézy kuželové – s břity na jedné nebo dvou kuželových plochách
   - Tvarové – s břity na tvarových plochách (např: frézy na ozubení)
   - Frézy drážkovací na Obr. 10

Obr. 10 Fréza na T drážky [15].

2.2.4 Upínání frézovacích nástrojů

Frézy musí být vždy pevně a spolehlivě upnuty. Na upnutí nástrojů jsou kladeny požadavky na souosost frézy a vřetena stroje, pevnost proti axiálním silám i pootočení. Musí být zajištěna opakovaná přesnost upnutí při výměně nástrojů. [7; 8]

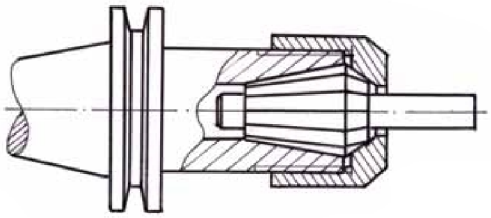
- Upínání nástrčných fréz probíhá pomocí trnů na Obr. 11. Upínají se do vřetena kuželovou stopkou a krouticí moment je přenášen perem. Upínací kužel frézovacích trnů a pracovního vřetena může být buď metrický 1:20, Morse 1:19 nebo strmý 1:3,5. Frézy se upínají co nejblíže k vřetenu, aby bylo zajištěno co nejtužší zajištění nástroje [7; 8].



Obr. 11 Dlouhý upínací trn se strmým ISO kuželem [8].

- Frézy s kuželovou upínací stopkou se upínají přímo do kuželové dutiny vřetena frézky v případě, je-li kužel upínací stopky frézy a dutiny vřetena shodný. Pokud je kužel upínací stopky menší než kužel dutiny vřetena, je nutno k upínání použít redukční pouzdra. [8]

- Frézy s válcovou stopkou se upínají pomocí upínacích pouzder a kleštin na Obr. 12. Kleština je vyrobena z pérové oceli, po obvodu je 8x rozřezána (4x z pravé strany a 4x z levé). Vtlačováním kleštiny do kuželové části pouzdra se zmenšuje její vnitřní průměr, a tím dojde k upevnění válcové stopky nástroje. [8; 9]

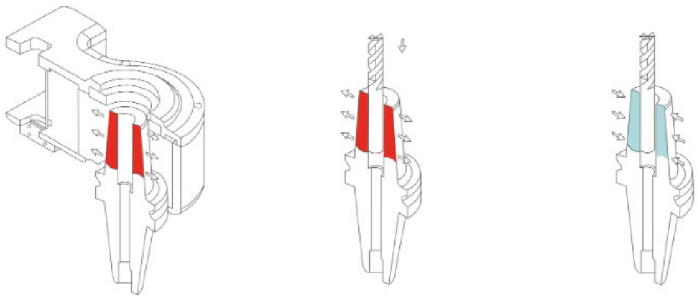


Obr. 12 Kleštinový upínač [4].

- Hydraulické upínání, viz Obr. **13**, pomocí otáčením upínacího šroubu vytváří rovnoměrný tlak hydraulické kapaliny uvnitř upínače. Tento tlak působí na upínací pouzdro, které pevně a přesně upne vložený nástroj. Pro upnutí menších nástrojů lze použít redukční pouzdra. [8]

Obr. 13 Hydraulický upínač **[4]**.

- Tepelné upínání, viz Obr. 14, spočívá v teplotní roztažnosti materiálů. Nástrojové držáky jsou vyrobeny ze speciálního materiálu, jehož ohřevem dojde ke zvětšení otvoru pro upnutí nástroje. Obsluha vloží nástroj do držáku, kde ochlazením dojde ke smrštění držáku a následnému upnutí nástroje. Nevýhodou tepelného upínání je omezená možnost opakovatelného upínání. [8]



Obr. 14 Princip tepelného upínání [18].

2.2.5 Upínání obrobku

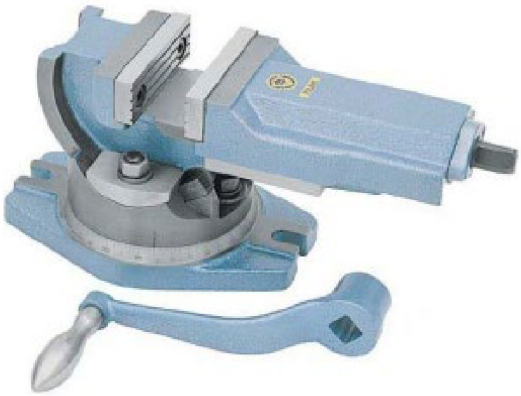
Účelem upnutí obrobku je zajištění jeho správné polohy vůči nástroji, zabezpečení obrobku proti posouvání vzhledem k nástroji a zachycení řezných sil vyvolaných nástrojem při obrábění. Obrobek se upíná na pracovní stůl frézky. Upínání obrobků musí být dostatečně tuhé, aby zaručilo nehybnost obrobku a odolnost proti vzniku chvění. Obrobek však nesmí být deformován upínací silou. [8; 4]

Upínání může být [8]:

- mechanické
- elektromagnetické
- hydraulické
- pneumatické

K upínání obrobků na frézky se používají [8; 4]:

- strojní svěráky – mohou být ovládány ručně, pneumaticky nebo hydraulicky, upínají se s nimi malé obrobky. Svěráky mohou být pevné, otočné na Obr. 15, sklopné nebo prizmatické
- upínky se šrouby a opěrkami
- upínací úhelníky
- podložky a podpěrky
- přídavná zařízení frézek – otočné stoly a dělicí přístroje – možnost frézovat obrobky s otvorem – např. ozubená kola,
- jednoúčelové upínací přípravky – obrobky se upínají za plochy, které nebudou v dané frézovací operaci obráběny, vhodné pro velké série obrobku



Obr. 15 Otočný svěrák [4].

2.2.6 Stroje pro frézování

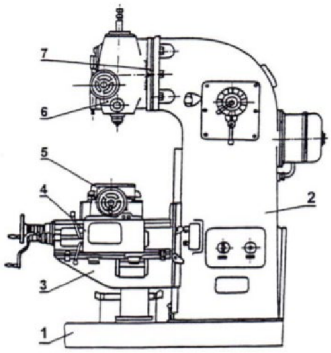
Frézovací stroje – frézky jsou vyráběny a dodávány ve velkém množství modelů a velikostí. Nejčastěji se frézky dělí do čtyř základních skupin, a to na frézky stolové, frézky konzolové, frézky rovinné a frézky speciální. Dále se frézky rozlišují z hlediska řízení pracovního cyklu na frézky ovládané ručně a frézky ovládané programem (CNC frézky). Velikost frézky určuje šířka upínací plochy stolu a velikost kužele ve vřetenu pro upnutí nástroje. Mezi důležité parametry se řadí pracovní rozsah os, typ vedení os (kluzné, lineární), velikost upínací plochy, kroutící moment vřetene, maximální otáčky vřetene. [4; 5; 3]

- Konzolové frézky

Konzolové frézky na Obr. 16 patří mezi nejvíce rozšířené frézovací stroje. Jejich hlavním znakem je výškově přestavitelná konzola, která je upevněna na vedení stojanu a po stojanu je přestavitelná ve svislém směru, stůl má příčný a podélný posuv, což umožňuje pohyb obrobku ve třech osách vůči nástroji. Používají se pro obrábění menších a středních součástí. [4; 5; 3]

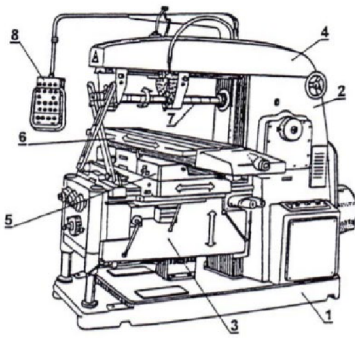
Konzolové frézky se vyrábí v základních variantách:

1. Konzolová frézka svislá (Obr. 16) – pracovní osa vřetene je kolmá k upínací ploše stolu. Vřeteno je uložené ve svislé hlavě, která je připevněna k horní části stojanu. Natáčení svislé hlavy je možné o ± 45° na obě strany [4; 5; 3].



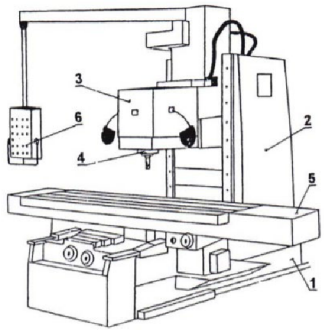
Obr. 16 Svislá konzolová frézka [4].

2. Konzolová frézka vodorovná (Obr. 17) – má vodorovnou osu pracovního vřetene, která je rovnoběžná s plochou podélného stolu a současně kolmá na směr pohybu podélného stolu [5].



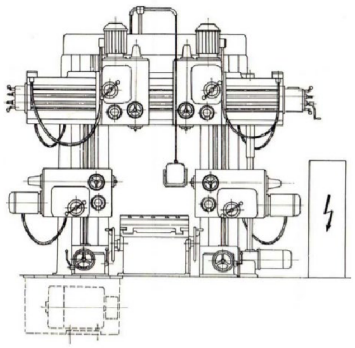
Obr. 17 Konzolová frézka vodorovná [4].

- Stolové frézky na Obr. 18 - svislý pohyb je prováděn přemístěním vřeteníku po vedení stojanu stroje. Na stolových frézkách lze produktivně a zároveň velmi kvalitně obrábět velké a těžké součásti [3].



Obr. 18 Svislá stolová frézka [4].

- Rovinné frézky na Obr. 19 – robustní stroje, které patří mezi nejvýkonnější ze všech druhů frézek. Je na nich tedy možné obrábět obrobky velkých rozměrů a hmotností. Na rovinných frézkách se obrábí nejčastěji frézovacími hlavami při obrábění vodorovných, šikmých i svislých ploch a stopkovými frézami při frézování úzkých ploch a drážek. Vyrábí se i s více vřeteníky, tedy jako portálové [3].



Obr. 19 Rovinná portálová frézka [4].

2.2.7 Řezné podmínky při frézování

Vzorce jsou použity ze zdrojů [4].

Hlavní, rotační pohyb u všech druhů frézování koná nástroj, posuvový pohyb je většinou přímočarý a koná ho obrobek. Hodnota řezné rychlosti se vypočítá podle vztahu [4]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3}\ [\mathrm{mm.min^{-1}}] \tag{2.1}$$

kde: D [mm]- průměr nástroje,

n [$\mathrm{min^{-1}}$] - otáčky nástroje.

Základní jednotkou posuvového pohybu je posuv na zub f_z [mm], což je délka dráhy, kterou ujede obrobek po dobu záběru zubu. Z posuvu na zub lze vypočítat posuv na otáčku f_n (délka dráhy, kterou urazí obrobek po dobu jedné otáčky nástroje) [4]:

$$f_n = f_z \cdot z\ [\mathrm{mm}] \tag{2.2}$$

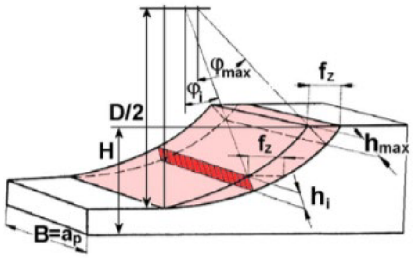
kde: z [-] - počet zubů (břitů) nástroje.

Posuvová rychlost se vypočítá podle vztahu [4]:

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n\ [\mathrm{mm.min^{-1}}] \tag{2.3}$$

kde: n [$\mathrm{min^{-1}}$] - otáčky nástroje.

„Při válcovém nesousledném frézování se tloušťka třísky h_i mění od nulové do maximální hodnoty a při sousledném frézování od maxima do nuly. Jmenovitá tloušťka třísky h_i je v libovolné fázi odřezávání vyjádřena vztahem [4]“, viz Obr. 20:



Obr. 20 Průřez třísky při válcovém frézování [4].

$$h_i = f(\varphi_i) = f_z \cdot \sin\varphi_i \ [\text{ mm}] \tag{2.4}$$

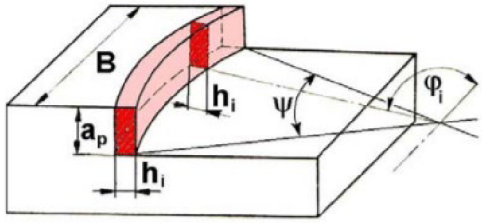
kde: f_z [mm] - posuv na zub

φ_i [°] - úhel posuvového pohybu

„Úhel posuvového pohybu φ_i se mění nejen v závislosti na poloze řešeného zubu, ale u fréz se šikmými zuby nebo zuby ve šroubovici, také podél příslušného ostří.
Jmenovitý průřez třísky pro polohu zubu frézy se označí A_{Di} [4]“:

$$A_{Di} = h_i \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin\varphi_i \ [\text{ mm}^2] \tag{2.5}$$

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky bude při $\varphi_i = \varphi_{max}$ [4]:



Obr. 21 Průřez třísky při čelním frézování [4].

$$A_{Dmax} = h_{max} \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin\varphi_{max} \ [\text{ m}^2] \tag{2.6}$$

$$\sin\varphi_{max} = \frac{2}{D}\sqrt{DH - H^2} \ [\ -\ ] \tag{2.7}$$

U čelního frézování (Obr. 21) se tloušťka třísky rovněž mění v závislosti na úhlu posuvového pohybu φ_i a je navíc ovlivněna i úhlem nastavení hlavního ostří κ_r (na je hodnota κ_r=90°), proto se její okamžitá hodnota vypočítá podle vztahu [4]:

$$h_i = f(\varphi_i) = f_z \cdot \sin\varphi_i \cdot \sin\kappa_r \ [\text{ mm}] \tag{2.8}$$

Jmenovitá šířka třísky b_i je pro libovolné φ_i konstantní a vypočítá se ze vztahu [4]:

$$b = \frac{a_p}{\sin\kappa_r} \ [\text{ mm}] \tag{2.9}$$

Jmenovitý průřez třísky A_{Di} pro κ_r =90°

$$A_{Di} = h_i \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm}^2\text{]} \tag{2.10}$$

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky je při φ_i = 90°

$$A_{Dmax} = f_z \cdot a_p \text{ [mm}^2\text{]} \tag{2.11}$$

2.2.8 Jednotkový strojní čas

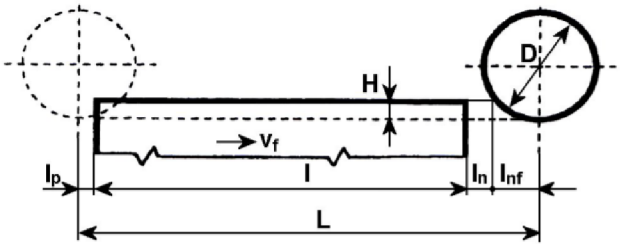
Vzorce jsou použity ze zdrojů [4].

Jednotkový strojní čas je obecně vyjádřen vztahem [4]:

$$\tau_{as} = \frac{L}{v_f} \text{ [min]} \tag{2.12}$$

kde: L [mm] - dráha nástroje ve směru posuvového pohybu

v_f [mm min^{-1}] - posuvová rychlost



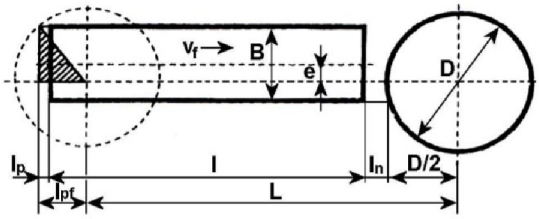
Obr. 22 Dráha frézy pro válcové frézování [4].

Hodnota L pro válcové frézování (Obr. 22) se vyjádří pomocí vztahu:

$$L = l + l_n + l_p + l_{nf} \text{ [mm]} \tag{2.13}$$

Kde:

$$l_{nf} = \sqrt{H \cdot (D - H)} \text{ [mm]} \tag{2.14}$$



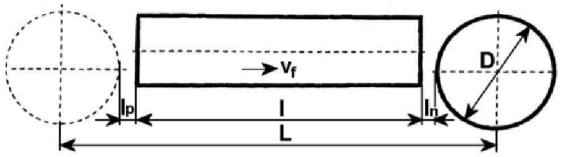
Obr. 23 Dráha frézy pro hrubé čelní frézování asymetrické [4].

Hodnota L pro čelní hrubé frézování asymetrické (Obr. 23) se vyjádří pomocí vztahu:

$$L = l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - l_{pf} \; [mm] \tag{2.15}$$

Kde:

$$l_{pf} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2} \; [mm] \tag{2.16}$$



Obr. 24 Dráha frézy pro čelní frézování načisto asymetrické [4].

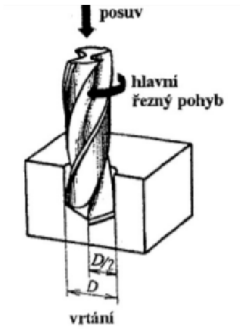
Hodnota L pro čelní frézování na čisto asymetrické (Obr. 24) se vyjádří pomocí vztahu:

$$L = l + l_n + l_p + D \text{ [mm]} \tag{2.17}$$

2.3 Vrtání

Výrobní metoda, při které se zhotovují otvory do plného materiálu nebo se zvětšují již předpracovaného otvoru (předvrtané, předlité, předlisované atd.). Nástrojem pro vrtání je vrták, který koná hlavní rotační pohyb. Ve výjimečných případech koná hlavní pohyb obrobek. Vedlejší pohyb je přímočarý posuvný (ve směru osy nástroje), který vykonává také nástroj. Při vrtání je nejčastěji osa kolmá k obráběné ploše. [3]

Podle technologie vrtání na Obr. 25 a druhu, konstrukce a geometrie použitého vrtáku lze vrtání rozdělit na navrtávání začátku díry středicím vrtákem do plného materiálu, vrtání krátkých děr do plného materiálu, vrtání krátkých děr do předpracovaných děr, vrtání hlubokých děr, speciální případy vrtání, např. vrtání děr v plechu atd. [10].

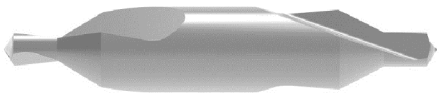


Obr. 25 Schéma vrtání [10].

2.3.1 Nástroje pro vrtání

Podle druhu konstrukce, technologie vrtání a geometrie nástroje lze vrtáky rozdělit do několika skupin (středící vrtáky, šroubovité vrtáky, kopinaté vrtáky, vrtáky s vyměnitelnou špičkou, vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami, korunkové, vrtáky do plechu, stupňovité atd.) [10].

Vrtáky na středící důlky na Obr. 26 slouží k navrtávání středicího otvoru pro podepření obrobku hrotem do soustruhu nebo brusky (koníku) [3].



Obr. 26 Středící vrták [15].

Šroubovité vrtáky na Obr. 27 jsou nejčastějším nástrojem pro vrtání děr. Mají na válcovém těle vytvořeny dvě protilehlé šroubové drážky, které slouží k odvodu třísky, ale např. i k přívodu procesní kapaliny do místa řezu [3].

Obr. 27 Šroubovitý vrták [15].

Monolitní vrtáky na Obr. 28 jsou jak řezná část, tak stopka z jednoho materiálu.

Obr. 28 Monolitní vrták [15].

Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami na Obr. 29 destičky ze slinutých karbidů jsou upnuty v tělese držáku pomocí šroubů přímo nebo u větších vrtáků pomocí kazet, které usnadňují výměnu a chrání lůžko před opotřebením. Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami mají centrální přívod řezné kapaliny [3].

Obr. 29 Vrták s VBD [15].

3 ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE

Třetí kapitola je věnována stávající technologii výroby zadaného dílu. V kapitole je rozebrán technologický postup výroby včetně zvolených nástrojů a řezných podmínek. Délka času výroby byla zjištěna v programu PowerMill Viewer 2021.

3.1 Volba stroje

Pří výrobě zadaného dílu bude využita CNC frézka a pásová gravitační pila pro dělení materiálu. Frézka je polo zakrytovaná, bez vnitřního chlazení nástroje. Frézka má rychloposuvy 8 m/min a kluzné vedení všech os.

3.1.1 Stroj pro dělení materiál

Pro dělení hutního polotovaru na požadované délky polotovaru byla zvolena pásová gravitační pila na Obr. 30 od firmy Pilous ARG 235. Materiál je nakupován v hutních rozměrech, proto je nutné ho nařezat na potřebné délky polotovaru. Pásová pila vyžaduje přítomnost obsluhy. Technické specifikace pily (viz Tab. 2).

Obr. 30 Pásová pila Pilous [17].

Tab. 2 Technické specifikace Pilous ARG 235.

Hlavní motor	400 V, 50 Hz, 0,9/1,4 kW
Motor čerpadla	400 V, 50 Hz, 0,05 kW
Rychlost pásu	40/80 m/min
Pracovní výška svěráku	900 mm
Nádrž chladící kapaliny	Cca 15 l
Rozměry stroje (min)	1 680 x 750 x 1 400 mm
Rozměry stroje (max)	1 870 x 1 300 x 2 000 mm
Hmotnost stroje	285 kg

3.1.2 Stroj pro frézování a vrtání

Pro frézování a vrtání byla zvolena CNC frézka Style BT 1500, viz Obr. 31. Zvolený stroj je polo zakrytovaná CNC frézka bez vnitřního chlazení nástrojů. Frézka má kluzné vedení na všech osách. Technické specifikace frézky, viz. Tab. 3.

Obr. 31 Frézka Style BT 1500 [16].

Tab. 3 Technické specifikace frézky STYLE BT 1500.

X-osa rozsah – kluzné vedení	1 500 mm
Y-osa rozsah – kluzné vedení	650 mm
Z-osa rozsah – kluzné vedení	600 mm
Šířka lože	700 mm
Pracovní stůl	1850 x 610
Max. zatížení stolu	1 000 kg
Výška pracovního stolu	850 mm
Výkon hlavního motoru	7,5 kW
Max. otáčky vřetene	8 000 1/min
Rychloposuv	8 m/min
Rozsah posuvu	0,01–4000 mm/min
Automatický výměník pro	24 nástrojů
Hmotnost stroje	5 300 kg
Rozměry stroje (d x š x v)	3,1 x 2,3 x 2,5 m

3.2 Volba polotovaru

Zadaný materiál pro výrobu je EN 10025 S235JR. Materiál je nakupován v rozměru 35x50x3000 mm. Hustota zvoleného materiálu je 7,85 g/cm^3.

Vztah pro výpočet hmotnosti:

$$Q_p = \rho \cdot V = \rho \cdot d \cdot š \cdot v$$
$$Q_p = 7{,}85 \cdot 3{,}5 \cdot 5 \cdot 14{,}2 = 1950{,}725 \text{ g} = 1{,}95 \text{ kg} \tag{3.1}$$

Kde:

m_{pol} – Hmotnost polotovaru [g]
ρ – Hustota materiálu [g/cm^3]
V – Objem materiálu [cm^3]
š – Šířka polotovaru [cm]
d – Délka polotovaru [cm]
v – Výška polotovaru [cm]

Jeden polotovar bude vážit Q_p = 1,95 kg. Vzhledem k hmotnosti polotovaru není nutné používat žádné pomůcky pro manipulaci. Manipulace bude realizována obsluhou stroje.

3.2.1 Výpočet spotřeby materiálu

Hmotnost hotové součásti byla zjištěna v programu Autodesk Inventor 2023. Hmotnost hotové součásti je 0,709 kg. Použité vzorce k výpočtu jsou ze zdrojů [11].

Vztah pro výpočet ztráty vzniklé obráběním:

$$q_o = Q_p - Q_s \tag{3.2}$$
$$q_o = 1{,}95 - 0{,}709 = 1{,}241 \text{ kg}$$

Kde:

q_0 – Ztráta materiálu obráběním přídavku [kg]
Q_P – Hmotnost polotovaru [kg]
Q_S – Hmotnost hotového obrobku [kg]

Vztah pro výpočet nevyužité délky tyče:

$$l_k = L - N_{pl} \cdot (l + s) \tag{3.3}$$
$$l_k = 3000 - 19 \cdot (142 + 1) = 283 \text{ mm}$$

Kde:

l_k – délka nevyužitého konce tyče [mm]
L – Celková délka tyče [mm]
n_{pl} – Počet přířezu z jedné tyče [mm]
l – Délka polotovaru [mm]
s –Délka průřezu materiálu [mm]

Vztah pro vpočet ztráty z nevyužitého konce tyče:

$$Q_k = š \cdot v \cdot l_k \cdot \rho \tag{3.4}$$
$$Q_k = 3{,}5 \cdot 5 \cdot 28{,}3 \cdot 7{,}85 = 3\,887{,}72 \text{ g} = 3{,}88 \text{ kg}$$

Kde:

Qk – Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče [kg]

Vztah pro vpočet ztráty z nevyužitého konce tyče na jeden kus:

$$q_k = \frac{Q_k}{n_{pl}}$$

$$q_k = \frac{3{,}88}{20} = 0{,}2 \text{ kg} \tag{3.5}$$

Kde:

q_k – Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče na jeden kus

Výpočet počtu přířezů z jedné tyče:

$$n_p = \frac{L}{l + s} \tag{3.6}$$

$$n_p = \frac{3000}{142 + 1} = 20{,}98\ [-] => 20 \text{ ks}$$

Vztah pro výpočet ztráty materiálu při dělení, pro jeden kus:

$$q_u = \check{s} \cdot v \cdot s \cdot \rho \tag{3.7}$$

$$q_u = 3{,}5 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 7{,}85 = 137{,}38 \text{ g} = 0{,}14 \text{ kg}$$

Vyjádření celkových ztrát zadané součásti:

$$Z_m = q_o + q_k + q_u \tag{3.8}$$

$$Z_m = 1{,}241 + 0{,}20 + 0{,}14 = 1{,}581 \text{ kg}$$

Výpočet normy spotřeby materiálu:

$$N_m = Q_s + Z_m \tag{3.9}$$

$$N_m = 0{,}709 + 1{,}581 = 2{,}29 \text{ kg}$$

Kde:

N_m – Norma spotřeby materiálu [kg]

Z_m – celkové ztráty materiálu [kg]

Stupeň využití materiálu zjistíme dosazením do vztahu:

$$k_m = \frac{Q_s}{N_m} \tag{3.10}$$

$$k_m = \frac{0{,}709}{2{,}29} = 0{,}31 = 31\ \%$$

Kde:

k_m –Stupeň využití materiálu [-]

Celkový počet tyčí pro celou sérii:

$$t_{celk} = \frac{celkový\ počet\ kusů}{n_p} \tag{3.11}$$

$$t_{celk} = \frac{1200}{20} = 60 \text{ ks}$$

3.3 Použité nástroje a měřidla ve stávajícím postupu

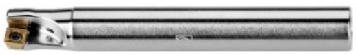
Použitá měřidla viz Tab. 4 ve stávající technologii jsou od firmy MITUTOYO a KMITEX.

Tab. 4 Použitá měřidla [12].

Číslo měřidla	Název měřidla	Znázornění měřidla	Označení výrobce	Norma
M1.	Digitální posuvné měřítko MITUTOYO		500-150-30	DIN 862
M2.	Hloubkoměr digitální bez nosu KMITEX		2055.300	DIN 862

Nástroje (Tab. 5) pro výrobu byli voleny ze slinutých karbidů dále SK, rychlořezné oceli dále HSS nebo s výměnnými břitovými destičkami. Frézy byly zvoleny od firmy DORMER Pramet. Pilový pás byl zvolen od firmy Pilous.

Tab. 5 Použité nástroje pro stávající technologii [13].

Číslo nástroje	Název nástroje / Název destičky	Znázornění nástroje	Označení výrobce nástroje / Označení výrobce destičky	Materiál Těla / Materiál ID
N1.	Stopková fréza		S71718.0	SK
N2.	Fréza na srážení hran		2516-45-11	
	TCMT		TCM T16T308E-FM	
N3.	Fréza pro zaoblování hran		F5050.5.V6.57.R2	HSS
N4.	Stopková fréza do rohu		40A4R054E04-SAD16E	
	ADMX		ADMX 16 0608PR-R	
N5.	Stopková fréza do rohu		16A3R020A14-SSO05O	
	SOMT		SOMT 050204SR-M	
N6.	Kopírovací fréza		25L2R065A32-SZP25-C	
	ZP		ZP 25ER-FM	
N7.	Nástrčná fréza do rohu		63A04R-S90LN16	
	LNMU		LNMU 160708ER-F	

Číslo nástroje	Název nástroje Název destičky	Znázornění nástroje	Označení výrobce nástroje Označení výrobce destičky	Materiál Těla Materiál ID
N8.	Vrták		R1008.5	SK
N9.	Stopková fréza do rohu ADMX		10A2R018A08-SAD07D ADMX 070202SR-M	
N10.	Kulová fréza		S2296.0	HSS
N11.	Kulová fréza		S23112.0	HSS
N12.	Fréza pro zaoblování hran		F5050.5.V6.57.R3	HSS
N13.	Pilový pás PILOUS		Maxtex 434	

3.4 Technologický postup

V (Tab. 6) tabulce technologického postupu byla popsána stávající technologie výroby. Technologický postup je zhotoven na 2 upnutí obrobku. Při stávající technologii bylo využito 13 nástrojů a 2 měřidla.

Tab. 6 Technologický postup stávající technologie.

VUT FSI ÚST	Technologický postup	Název: Držák	Bakalářská práce
Vyhotovil: Veronika Stará		Polotovar:50x35x142	Materiál: S235JR
Číslo operace:	Označení stroje, operace:	Popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, měřidla, pomůcky:
1-1	Nástrojová dílna Pásová pila	Dělit materiál v délce 142 mm	N13.
2-1	Obrobna Frézka Style BT 1500	Upnout polotovar do svěráku	
		Zarovnat čela z každé strany na L=140 mm	N1.
		Srazit hranu čela 1x45°	N1.
		Srazit hranu čela 2x45°	N1.
		Kaskádovitě hrubovat půlkruhové vybrání	N4.
		Kaskádovitě dohrubovat půlkruhové vybrání	N5.
		Frézovat půlkruhové vybrání na čisto	N6.
		Srazit hrany 1x45°	N2.
		Srazit hranu 2x45°	N2.
		Frézovat vnější rádius R2	N3.

VUT FSI ÚST	Technologický postup	Název: Držák	Bakalářská práce
Vyhotovil: Veronika Stará		Polotovar:50x35x142	Materiál součásti:
Číslo operace:	Označení stroje, operace:	Popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, měřidla, pomůcky:
2-2	Obrobna Frézka	Otočit obrobek	
		Upnout do svěráku	
		Frézovat vybrání s přídavky na rádiusy	N7.
		Zarovnat čela na L=60 mm	N1.
		Frézovat vnitřní rádiusu R6	N10.
		Frézovat vnitřní rádiusu R3	N11.
		Frézovat vnější rádiusu R3	N12.
		Vrtat díry Ø 8,5 mm	N8.
		Frézovat zahloubení děr Ø 15 mm	N9.
		Srazit otvor 1x45° mm	N2.
		Srazit po obvodu 2x45° mm	N2.
3-1	Kontrolní stanoviště	Kontrolovat rozměry z četnosti 10 %	M1., M2.
4-1	Sklad	Konzervovat do krabic po 100 ks	
		Balit a připravit na přepravu	

3.5 Délka času výroby

Řezné podmínky viz Tab. 7 byly voleny v závislosti na doporučení výrobce a možnostem obráběcího stroje. Řezné podmínky byly zvoleny pro jednotlivé nástroje a u jednotlivých operací jsou totožné. Podmínky se vztahují pro navrhnuté nástroje výše.

Tab. 7 Řezné podmínky pro jednotlivé nástroje.

Nástroj	Průměr	Počet zubů	v_c [m/min]	n [min^{-1}]	f_z [mm]	v_f [mm/min]
1.	20	4	200	3 183	0,1	1 273
2.	11	2	175	5 064	0,14	1 418
3.	6	3	75	1 751	0,04	70
4.	40	4	225	1 790	0,16	1 146
5.	16	3	250	4 974	0,16	2 387
6.	25	2	225	2 865	0,12	917
7.	63	5	255	1 288	0,08	773
8.	8,5	1	110	4 119	0,12	499

Nástroj	Průměr	Počet zubů	v_c [m/min]	n [min^{-1}]	f_z [mm]	v_f [mm/min]
9.	10	2	250	7 958	0,12	1 910
10.	6	2	80	4 244	0,02	76
11.	12	2	64	2 122	0,03	51
12.	6	3	33	1 751	0,04	53

Tab. 8 Délka času výroby.

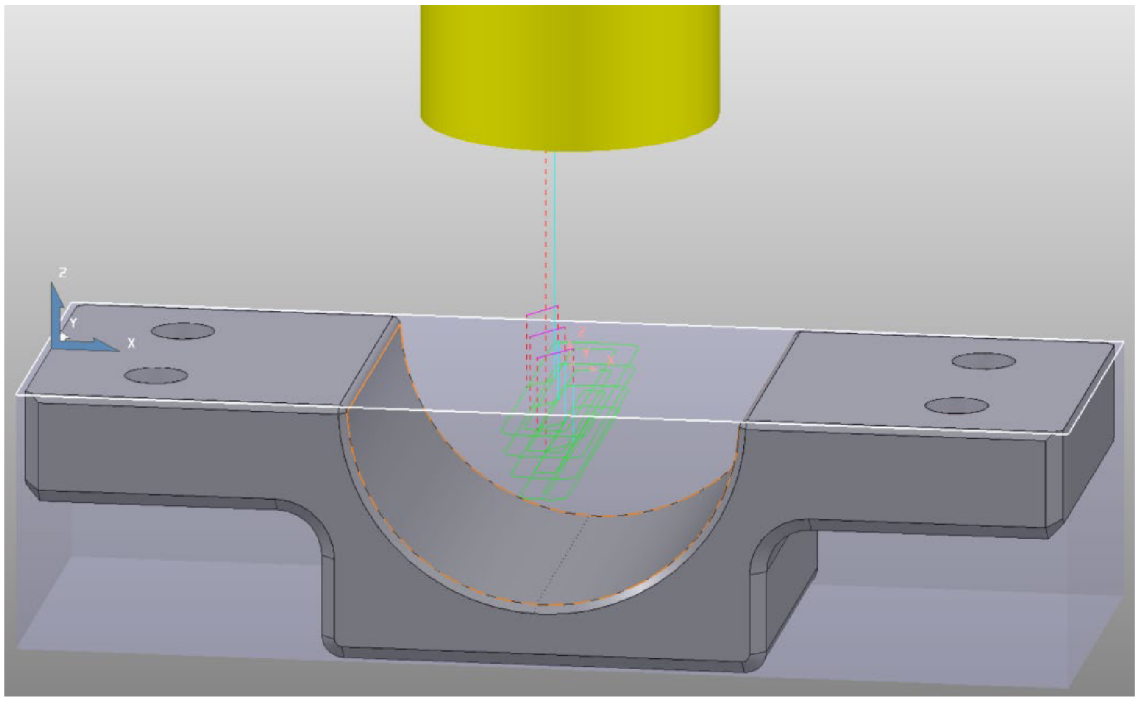
Číslo operace	Nástroj	Popis práce	Čas výroby [min]
2-1	1.	Zarovnat čela	0:00:58
	1.	Srazit hrany čel	0:00:32
	4.	Kaskádovitě hrubovat	0:01:17
	5.	Kaskádovitě dohrubovat	0:00:46
	6.	Frézovat půlkruhové vybrání	0:08:06
	2.	Srazit hrany	0:01:02
	3.	Frézovat rádius	0:00:24
2-2	7.	Frézovat vybrání	0:03:08
	1.	Zarovnat čela	0:00:32
	10.	Frézovat zaoblení	0:00:21
	11.	Frézovat rádius	0:00:19
	12.	Frézovat rádius	0:00:17
	8.	Vrtat díry	0:00:58
	9.	Frézovat vybrání	0:00:45
	2.	Srazit hrany a díry	0:01:12
Otočení a upnutí obrobku 2x 0:00:30			0:01:00
Výměna nástroje 13x 0:00:20			0:02:60
Celkový čas výroby			0:24:37

Čas výroby (viz Tab. 8), byl zjištěn v programu PowerMill Viewer 2021, je 24 min 37 s. Při řešení výroby součásti bylo zjištěno, že pro výrobu součásti je nesložitější půlkruhové vybrání. Proto je ukázka řešení technologie v PowerMill Viewer 2021 zaměřena na výrobu těchto operací.

- Kaskádovitě předhrubovat půlkruhové vybrání viz (Obr. 32) s frézou Ø 40 mm, viz (Tab. 9).

Tab. 9 Řezné podmínky pro předhrubování.

Nástroj	Průměr	Počet zubu	v_c [m/min]	n [min^{-1}]	f_z [mm]	v_f [mm/min]	a_p [mm]
4.	40	4	225	1 790	0,16	1 146	4,5

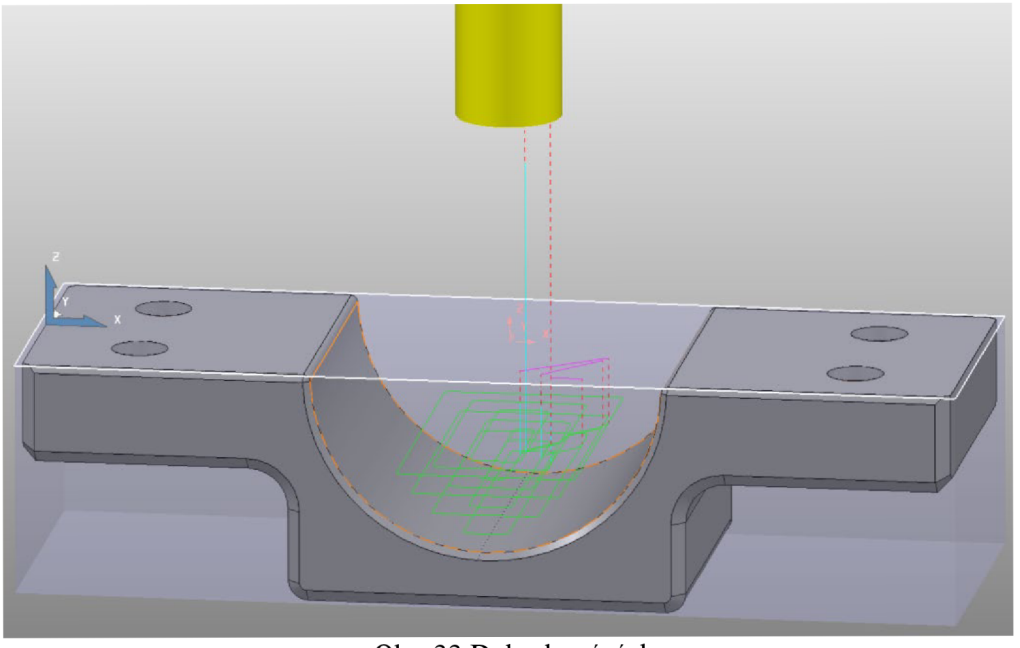


Obr. 32 Kaskádovitě předhrubovat půlkruhové vybrání.

- Dohrubování dna viz Obr. 33 s frézou Ø16 mm viz Tab. 10.

Tab. 10 Řezné podmínky pro dohrubování dna.

Nástroj	Průměr	Počet zubu	v_c [m/min]	n [min^{-1}]	f_z [mm]	v_f [mm/min]	a_p [mm]
5.	16	3	250	4 974	0,16	2 387	4,5

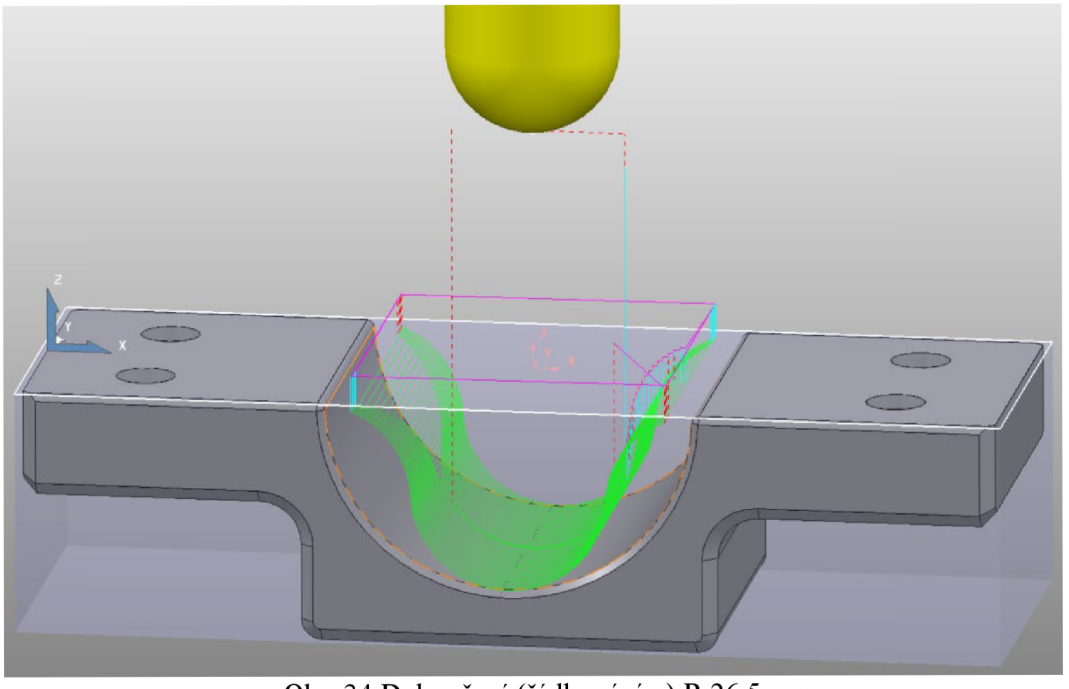


Obr. 33 Dohrubování dna.

- Dokončení půlkruhového vybrání (Obr. 34) R 26,5 mm pomocí řádkování s frézou Ø 25 mm viz Tab. 11.

Tab. 11 Řezné podmínky pro dokončení.

Nástroj	Průměr	Počet zubu	v_c [m/min]	n [min^{-1}]	f_z [mm]	v_f [mm/min]	a_p [mm]
6.	25	2	225	2 865	0,12	917	1,05



Obr. 34 Dokončení (řádkováním) R 26,5 mm.

4 NÁVRH VÝROBNÍ TECHNOLOGIE

Pro novou výrobní technologii bude navržen stroj s lineárním vedením ve všech osách. Lineární vedení má vyšší rozsah rychloposuvu, proto lze očekávat úsporu při neproduktivních časech, jako je výměna nástrojů a přejezdy. V předešlé technologii byla na výrobu nejsložitější obrobení půlkruhového vybrání, proto se nová technologie zabývá především produktivnějším obrobením plochy R 26,5 mm. Při výrobě byl zvolen stejný polotovar jako u předešlé technologie.

4.1 Volba stroje

Volba stroje pro dělení materiálu zůstává stejná jako v předešlé kapitole. Frézka byla zvolena od firmy Stránský a Petržík Cosmos CVM-1160 (Obr. 35). Frézovací centrum je plně zakrytované a má chlazení vnitřkem vřetena. Frézka má lineární vedení os s rychlostí rychloposuvu 30 m/min. Zvolený stroj má technické specifikace stroje (Tab. 12).

Obr. 35 CNC frézka Cosmos CVM-1160 [14].

Tab. 12 Technické specifikace frézky Cosmos CVM-1160 [14].

X-osa rozsah, lineární vedení	1 100 mm
Y-osa rozsah	600 mm
Z-osa rozsah	600 mm
Šířka lože	700 mm
Pracovní stůl	1 250 x 600
Max. zatížení stolu	1 000 kg
Výška pracovního stolu	750 mm
Výkon hlavního motoru	11 kW
Max. otáčky vřetene	12 000 min^{-1}
Rychloposuv	30 m/min
Pracovní posuvy os	10 m/min
Automatický výměník pro	24 nástrojů
Hmotnost stroje	6 100 kg
Rozměry stroje (d x š x v)	2,8 x 2,65 x 2,5 m

4.2 Volba nástrojů

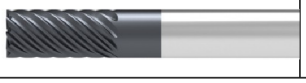
Pro výrobu byly zvoleny měřidla (Tab. 13) od firmy MITUTOYO A KMITEX.

Tab. 13 Zvolená měřidla [12].

Číslo měřidla	Název měřidla	Znázornění měřidla	Označení výrobce	Norma
M1.	Digitální posuvné měřítko MITUTOYO		500-150-30	DIN 862
M2.	Hloubkoměr digitální bez nosu KMITEX		2055.300	DIN 862

Zvolené nástroje pro nově navrženou technologii (Tab. 14) jsou od firmy Ceratizit. Pří výběru nástrojů byl kladen důraz na funkčnost a možnosti využití v nově zvolené technologii. U nástrojů, kde to bylo možné, bylo zvoleno chlazení pomocí vřetena. Materiál nástrojů byl volen ze slinutých karbidů dále SK nebo tělesa s výměnnými břitovými destičkami.

Tab. 14 Zvolené nástroje [15].

Číslo nástroje	Název nástroje / Název destičky	Znázornění nástroje	Označení výrobce nástroje / Označení výrobce destičky	Materiál Těla / Materiál ID
N1.	Stopková fréza		H.SA.20,0.52°.Z4.R2,0. HB. K TI1000	SK
N2.	Stopková fréza srážecí		C272.12.R.01-09	
	SDHT		SDHT 0903AESN-F50	
N3.	Čtvrtkruhová profilová fréza		N.VR.2,0.0°. Z4.HA TI1000	SK
N4.	Nástrčná fréza		A490.63.R.07-09	
	SDNT		SDNT 09T308ER-F50 CTCM245	
N5.	Čtvrtkruhová profilová fréza		N.VR.3,0.0°. Z4.HA TI1000	SK
N6.	Rádiusová fréza		N.RD.3,0.30°.Z4.HB. L8,0	SK
N7.	Rádiusová fréza		N.RD.6,0.30°.Z4.HB. L8,0	SK
N8.	Vrták		WTX-HFDS.8,5.R.3D.IK. HA DPX14S	SK
N9.	Stopková fréza do rohu		N.SC.10,0.45°.Z9.HA. L TI400	SK

Číslo nástroje	Název nástroje Název destičky	Znázornění nástroje	Označení výrobce nástroje Označení výrobce destičky	Materiál Těla Materiál ID
N10.	Rychloposuvová fréza XDTH		CHSC.25.R.04-11-B-40 XDHT 11T302FR-27P H216T	
N11.	Stopková fréza		H.SA.20,0.52°.Z4.R2,0. HB.EL TI1000	SK
N12.	Pilový pás PILOUS		Maxtex 434	

4.3 Technologický postup

Nově navržený technologický postup výroby pro zadanou součást (Tab. 15). Postup byl zvolen především tak, aby byla zefektivněna výroba půlkruhového vybrání. Postup je navržen na 4 upnutí obrobku s tím, že při operaci 3 a 4 jsou upnuty dva obrobky proti sobě.

Tab. 15 Technologický postup výroby.

VUT FSI ÚST	Technologický postup	Název: Držák	Bakalářská práce
Vyhotovil: Veronika Stará		Polotovar:50x40x142	Materiál: S235JR
Číslo operace:	Označení stroje, operace:	Popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, měřidla, pomůcky:
1-1	Nástrojová dílna Pásová pila	Dělit materiál v délce 142 mm	N13.
2-1	Obrobna Frézka Cosmos CVM-1160	Upnout polotovaru do svěráku	
		Zarovnat čela z každé strany na L= 140 mm	N1.
		Srazit hranu 2x45°	N2.
		Frézovat vnější rádius R2	N3.
2-2	Obrobna Frézka Cosmos CVM-1160	Otočit obrobek	
		Upnout do svěráku	
		Frézovat vybrání s přídavky na rádius	N4.
		Zarovnat čela na L=60 mm	N1.
		Frézovat vnější rádius R3	N5.
		Frézovat vnitřní rádius R3	N6.
		Frézovat vnitřní rádius R6	N7.
		Srazit hranu 2x45°	N2.
		Vrtat díry Ø 8,5 mm	N8.
		Frézovat zahloubení děr Ø 15 mm	N9.
2-3	Obrobna Frézka Cosmos CVM-1160	Upnout dva kusy proti sobě do svěráku	
		Předhrubovat otvor s přídavkem 0,5 mm	N10.
		Srazit otvor 1x45°	N2.
		Srazit hrany po obvodu 2x45°	N2.

VUT FSI ÚST	Technologický postup	Název: Držák	Bakalářská práce
Vyhotovil: Veronika Stará		Polotovar:50x40x142	Materiál součásti:
Číslo operace:	Označení stroje, operace:	Popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, měřidla, pomůcky:
2-4	Obrobna Frézka Cosmos CVM-1160	Otočit a upnut dva kusy proti sobě do svěráku	
		Dokončit otvor Ø 73	N11.
		Srazit otvor 1x45°	N2.
		Srazit hrany po obvodu 2x45°	N2.
3-1	Kontrolní stanoviště	Kontrolovat rozměry s četností 10%	M1., M2.
4-1	Sklad	Konzervovat do krabic po 100 ks	
		Balit a připravit na přepravu	

4.4 Délka času výroby

Zvolené řezné podmínky (Tab. 16) pro jednotlivé nástroje. Řezné podmínky byly voleny podle doporučení výrobce a možností obráběcího stroje. Řezné podmínky byly zvoleny pro nástroje uvedené výše.

Tab. 16 Řezné podmínky.

Nástroj	Průměr	Počet zubů	v_c [m/min]	n [min^{-1}]	f_z [mm]	v_f [mm/min]
1.	20	4	210	3 437	0,12	1 650
2.	10	2	240	7 639	0,18	2 750
3.	4	3	100	7 800	0,06	955
4.	63	9	250	1 263	0,17	1 930
5.	6	3	140	7 427	0,6	1 485
6.	6	2	145	7827	0,05	783
7.	12	2	300	7 958	0,05	796
8.	8,5	1	120	4 494	0,12	539
9.	10	4	180	5 730	0,05	573
10.	26	4	200	2 449	0,5	4 898
11.	20	4	200	3 183	0,07	891

Tab. 17 Čas výroby.

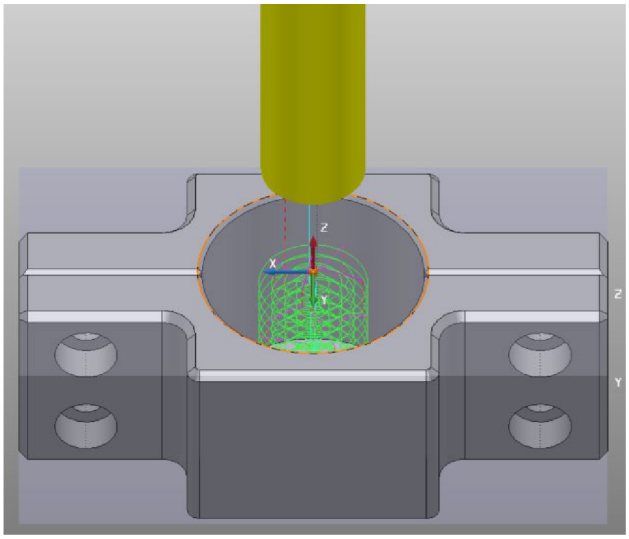
Číslo operace	Nástroj	Popis práce	Čas výroby [min]	
2-1	1.	Zarovnat čela	0:00:54	
	2.	Srazit hranu	0:00:33	
	3.	Frézovat zaoblení	0:00:15	
2-2	4.	Frézovat vybrání	0:03:01	
	1.	Zarovnat čela	0:00:22	
	5.	Frézovat zaoblení	0:00:34	
	6.	Frézovat rádius	0:00:15	
	7.	Frézovat rádius	0:00:18	
	2.	Srazit hranu	0:00:14	
	8.	Vrtat díry	0:01:03	
	9.	Frézovat vybrání	0:00:45	
Při 3 a 4 operaci upnuty 2 kusy proti sobě			Čas výroby na 2 upnuté kusy	Přepočet času výroby na kus
2-3	10.	Předhrubovat otvor	0:01:18	0:00:39
	2.	Srazit hranu	0:00:45	0:00:22
2-4	11.	Dokončit otvor	0:04:58	0:02:29
	2.	Srazit hranu	0:00:43	0:00:21
Otočení a upnutí obrobku 4x 0:00:30			0:02:00	0:01:30
Výměna nástroje 15x 0:00:10			0:01:50	0:01:50
Celkový čas výroby			0:19:18	0:15:25

Délka času výroby (Tab. 17) jednotlivých operací. Čas výroby byl zjištěn v programu PowerMill Viewer 2021. Při výpočtu času bylo zvoleno upnutí nástroje pouze 3x z důvodů výroby 2 kusů při operacích 3 a 4. Výpočet času je tedy udáván na jeden kus. Ze stejného důvodu je čas výroby u 3. a 4. operace dělen 2, aby byl dosažen čas výroby pouze na jeden kus. Výroba jednoho kusu zabere 0:15:25 min.

- Hrubování otvoru na Obr. 36 frézou Ø 26 mm viz Tab. 18.

Tab. 18 Řezné podmínky pro hrubování.

Nástroj	Průměr	Počet zubu	v_c [m/min]	n [min^{-1}]	f_z [mm]	v_f [mm/min]	a_p [mm]
10.	26	4	200	2 449	0,5	4 898	6,25

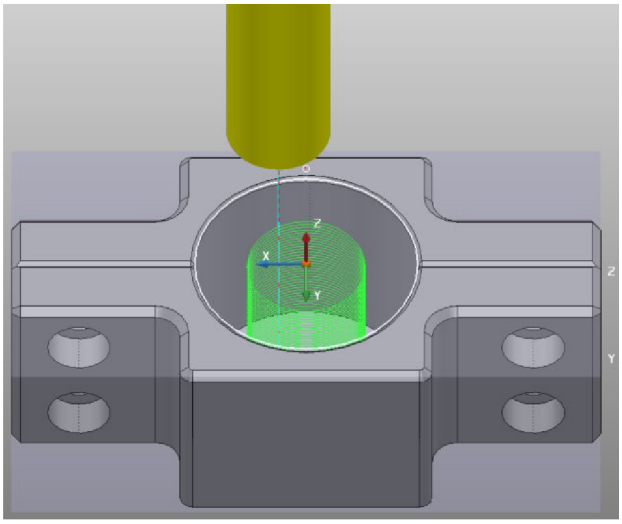


Obr. 36 Předhrubovat otvor

- Dokončit otvor pomocí kruhové interpolace viz (Obr. 37) pomocí frézy Ø 20 mm viz Tab. 19.

Tab. 19 Řezné podmínky pro dokončení.

Nástroj	Průměr	Počet zubu	v_c [m/min]	n [min^{-1}]	f_z [mm]	v_f [mm/min]	a_p [mm]
11.	20	4	200	3 183	0,07	891	1,4



Obr. 37 Dokončit otvor kruhovou interpolací

5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V ekonomickém zhodnocení porovnáváme rozdílné náklady na výrobu pro zadanou součást. Při porovnání nekalkulujeme dělení hutního materiálu z důvodu stejné cenové relace. Bylo zjištěno, že výrobní čas je u nově navržené technologie kratší, je tedy nutno ověřit postup i z ekonomického hlediska. Při porovnávání je nutné zahrnout cenu za materiál, která je totožná u obou variant, cenu za nástroje, hodinové náklady na výrobu a náklady na obsluhu.

5.1 Výpočet aktuální ceny polotovaru

Cena za materiál poptávána dne 20. 4. 2022 viz Tab. 20. Z jedné 3 000 mm tyče je možno vyrobit 20 ks přířezů. Celková hmotnost jedné tyče je 47,1 kg. Cena za MJ je 58,00 Kč. Celková cena bez DPH je tedy 2 731,8 Kč, cena s 21 % DPH je 3 305,48 Kč. Cenová nabídka byla poptávána u firmy ZJP.

Tab. 20 Výpočet ceny za materiál.

	Množství [kg]	Cena za MJ [Kč]	Cena bez DPH [Kč]	Cena s 21 % DPH [Kč]
Cena jedné tyče	47,100	58,0	2 731,80	3 305,48
Cena jednoho polotovar	2,355	58,0	136,59	165,27
Celková cena za materiál 60 ks	2 826,000	58,0	163 908,00	198 328,68

5.2 Ekonomické porovnání

Cena nástrojů u stávající technologie byla zjištěna v katalogu nástrojů u firmy DormerPramet, u nově navržené technologie byla cena určena z katalogu firmy Ceratizit viz Tab. 21. Nově navržená technologie potřebuje o jeden nástroj méně, přesto je cena nástrojů větší než u předešlé technologie. U nově navržené technologie byl kladen větší důraz na kvalitu nástrojů a možnost jejich efektivního využití.

Tab. 21 Cena za nástroje.

Cena za nástroje pro stávající technologii		Cena za nástroje pro navrženou technologii	
Číslo nástroje	Cena nástroje [Kč]	Číslo nástroje	Cena za nástroje [Kč]
N1.	8 830	N1.	7 660
N2.	6 725	N2.	6 050
N3.	849	N3.	3 497
N4.	8 935	N4.	15 420
N5.	5 955	N5.	3 895
N6.	8 865	N6.	1 174
Cena za nástroje pro stávající technologii		Cena za nástroje pro navrženou technologii	

Číslo nástroje	Cena nástroje	Číslo nástroje	Cena za nástroje
N7.	14 050	N7.	3 097
N8.	1 975	N8.	3 325
N9.	4 950	N9.	2 634
N10.	1 135	N10.	11 745
N11.	1 370	N11.	9 104
N12.	1 087	N12.	721
N13.	721		
Celková cena	50 592	Celková cena	56 577

Náklady na hodinu výroby jednotlivých strojů byly určeny, viz Tab. 22. V ceně nákladů jsou zahrnuty náklady na údržbu, energie, provozní kapaliny. Cena za hodinovou hrubou mzdu se liší kvůli potřebné větší kvalifikaci pracovníka u nově navrženého stroje.

Tab. 22 Celkové hodinové náklady na výrobu.

Použitý stroj	Náklady na hodinu provozu [Kč]	Náklady na hrubou mzdu pro obsluhu [Kč]	Celkové náklady na hodinu provozu a obsluhy [Kč]
STYLE BT 1500	825	200	1 025
CVM-1160	1050	220	1 270

Celkové náklady pro jednotlivé stroje viz Tab. 23 a Tab.24 Náklady jsou rozpočítány na kus, měsíční a roční dávku. Nejčastěji je odebírána výroba po měsíční dávce 100 ks. Dále je tedy porovnávána tato varianta.

Tab. 23 Náklady pro stávající technologii.

Náklady pro frézku STYLE BT 1500	Náklady za provoz a obsluhu [Kč]	Náklady na materiál [Kč]	Celkové náklady [Kč]
Náklady na jeden kus	416,32	165,27	581,59
Náklady na měsíční dávku 100 ks	41 632,00	16 527,00	58 159,00
Roční náklady na výrobu	499 584,00	198 324,00	697 908,00

Tab. 24 Náklady pro nově navrhnutou technologii.

Náklady pro frézku CVM-1160	Náklady za provoz a obsluhu [Kč]	Náklady na materiál [Kč]	Celkové náklady [Kč]
Náklady na jeden kus	322,80	165,27	488,07
Náklady na měsíční dávku 100 ks	32 280,00	16 527,00	48 807,00
Roční náklady na výrobu	387 360,00	198 324,00	585 684,00

5.3 Vyhodnocení

Pro vyhodnocení byla zvolena dávka 100 ks. Celkové náklady na výrobu jsou zhodnoceny, viz Tab. 25. Hlavní výhodou nově navržené technologie je kratší čas výroby oproti stávající technologii. Cena zá nástroje je u nově navržené technologie vyšší než u stávající. Rozdíl cen za nástroje však pokryje první vyrobená dávka.

Tab. 25 Celkové náklady.

Použitý stroj	Celkové náklady na výrobu 100ks	Cena za nástroje	Celková cena
STYLE BT 1500	58 159	50 592	108 751
CVM-1160	48 807	56 577	105 384

Při vyhodnocení je vidět že úspora je především kvůli zkrácení výrobního času u nově navržené technologie. Předpokládá se, že použité nástroje při správném používání vytrvají více než 100 ks, náklady na jednotlivou výrobu se tedy budou lišit podle aktuálního stavu nástrojů. Tělesa u fréz s vyměnitelnými břitovými destičkami nebude nutné zakupovat nové.

Celková úspora oproti stávající technologii je tedy 3 367 Kč.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá návrhem nové výrobní technologie zadaného držáku. Práce se skládá z teoretického rozboru problematiky, rozboru stávající technologie výroby a návrhu nového výrobního postupu včetně použitých nástrojů.

Stávající výrobní postup byl zhotoven na dvě upnutí obrobku. Čas výroby u stávající technologie je 24 minut a 37 sekund. Byl zjištěn nejdelší čas výroby u půlkruhového vybrání v dolní části obrobku.

Nově navržený postup byl zaměřen na produktivnější výrobu půlkruhového vybrání R 26,5. Délka času výroby u nově navržené technologie je 15 minut a 25 sekund. Nově navržené nástroje jsou chlazeny vnitřkem vřetena. Díky rychlosti rychloposuvu a rychlejší výměně nástroje bylo ušetřeno 10 sekund při každé výměně nástroje. Technologie byla zhotovena na čtyři upnutí obrobku, ale díky možnosti volby většího posuvu a řezné rychlosti je obrobení součásti zhotoveno rychleji. Čas ušetřený při výrobě pomocí nově navržené technologie je 9 minut a 12 sekund.

Ekonomické zhodnocení porovnává ceny nástrojů. Cena nově zvolených nástrojů je vyšší oproti stávající technologii, protože nově zvolené nástroje jsou ze slinutých karbidů nebo s výměnnými břitovými destičkami s možností chlazení vnitřkem vřetena. Ekonomické porovnání dále zahrnuje náklady na provoz a obsluhu stroje. Celkově ušetřené náklady při výrobě 100 ks jsou 3 367 Kč. Předpokládá se však, že použité nástroje na výrobu vydrží více než 100 ks, náklady na jednotlivou výrobu se tedy budou lišit podle aktuálního stavu nástrojů. Jako další zlepšení výroby dílu by se použilo upínací lišty pro upnutí více obrobků pro jednu operaci. Frézováno by bylo více kusů zároveň.

Všechny stanovené cíle práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] Steel S235JR. In: *World Material* [online]. Naas: Copyright, 2022 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: https://www.theworldmaterial.com/1-0038-steel-s235jr-material/

[2] Materiálový list: Materiál S235JR. In: *Techportal* [online]. Praha: Dashöfer Holding, 2002 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLT_peBZxsdEl75N8MGgz73w

[3] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II*. První vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007-2008. ISBN 978-80-248-1822-1.

[4] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění-1.část* [online]. První. Brno: VUT Brno, 2003 [cit. 2022-01-31]. Dostupné z: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf>. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT Brno.

[5] KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Výrobní technologie II: [obrábění]*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2189-4.

[6] BILÍK, Oldřich. *Obrábění I*. První. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN ISBN 80-7078-811-9.

[7] VASILKO, Karol. *Top trendy v obrábaní: [príručka]*. První. Žilina: Media/St, 2006. Stroje, materiály, technológie. ISBN 80-968-9542-7.

[8] Nástroje, upínání nástrojů a ostření. In: *ELUC* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1228

[9] PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. První. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.

[10] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část* [online]. Brno, 2004 [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-2cast.pdf. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT Brno.

[11] KOCMAN, Karel a Jiří PERNÍKÁŘ. *Ročníkový projekt II: Obrábění* [online]. 2002. Brno [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/RocnikovyProjekt_II-obrabeni.pdf

[12] *M & B Calibr: Měřící technika* [online]. In: . Ivančice: Shoptet [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://eshop.mbcalibr.cz/

[13] *DormerPramet: Nástroje pro obrábění* [online]. In: . [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://dormerpramet.com/cz/cs/login

[14] Stránský a Petržík. In: *Obráběcí stroje* [online]. Bílá Třemešná, 2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://www.stranskyapetrzik.cz/stroje/uvod/

[15] *Ceratizit: Nástroje pro obrábění* [online]. Brno, 2021 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: https://cuttingtools.ceratizit.com/cz/cs.html

[16] *Style: cnc machines* [online]. In: . Dvůr Králové nad Labem [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://www.stylecncmachines.cz/

[17] Pilous: Profesionální pásové pily na kov a dřevo. In: *Pilous* [online]. Brno: JRWN, 2016 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://www.pilous.cz/

[18] *Macmatic: CNC obráběcí stroje* [online]. Zlín: ., 2021 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: https://www.macmatic.cz/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Tab. 26 Seznam použitých zkratek.

Zkratka	Jednotka	Název
CNC	[-]	Computer Numerical Control
HSS	[-]	Rychlořezná ocel
SK	[-]	Slinutý karbid

Tab. 27 Seznam použitých symbolů.

Symbol	Jednotka	Název
A_{Di}	[mm^2]	Jmenovitý průřez třísky
A_{Dmax}	[mm]	Maximální velikost třísky
a_p	[mm]	Hloubka řezu
b	[mm]	Jmenovitá šířka třísky
B	[mm]	Šířka frézované plochy
d	[cm]	Délka polotovaru
D	[mm]	Průměr
e	[mm]	Vyosení nástroje vůči obrobku
f_n	[mm]	Posuv na otáčku
f_z	[mm]	Posuv na zub
H	[mm]	Celkový přídavek na obrábění
h_i	[mm]	Jmenovitá tloušťka tříska
h_i	[mm]	Tloušťka třísky
k_m	[-]	Stupeň využití materiálu
L	[mm]	Dráha nástroje
l	[mm]	Obráběná délka
L	[mm]	Celková délka tyče
l_k	[mm]	Délka nevyužitého konce tyče
l_n	[mm]	Délka náběhu nástroje
l_p	[mm]	Délka přeběhu nástroje
n	[1/min]	Otáčky
N_m	[kg]	Norma spotřeby materiálu
n_{pl}	[mm]	Počet přířezu z jedné tyče
q_0	[kg]	Ztráta materiálu obráběním
Q_k	[kg]	Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče
q_k	[kg]	Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče na jeden kus
Q_p	[kg]	Hmotnost polotovaru
Q_S	[kg]	Hmotnost hotového obrobku
q_u	[kg]	Ztráta materiálu při dělení
s	[mm]	Délka přířezu materiálu
š	[cm]	Šířka polotovaru
T_{as}	[min]	Jednotkový strojní čas
t_{celk}	[ks]	Celkový počet tyčí
v	[cm]	Výška polotovaru

V	[cm^3]	Objem materiálu
v_c	[mm/min]	Řezná rychlost
v_f	[mm/min]	Posuvová rychlost
z	[-]	Počet zubů nástroje
Zkratka	Jednotka	Název
Z_m	[kg]	Celkové ztráty materiálu
κ_r	[°]	Úhel hlavního ostří
φ_i	[°]	Úhel posuvového pohybu
ρ	[g/cm^3]	Hustota materiálu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres součásti

Seznam výkresů

Držák-2022-BP-01