



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBNÍ TECHNOLOGIE DESKY UPÍNAČE PÁSOVÉ PILY

PRODUCTION TECHNOLOGY FOR A BAND SAW CLAMP PLATE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Straka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. David Straka
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh výrobní technologie desky upínače pásové pily

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Teoretický rozbor problematiky související s zadaným tématem funkce a výroby části čelistí pásové pily. Návrh variantních výrobních technologií zvolené součásti se zaměřením na možný přechod na cnc výrobní zařízení.

Srovnání jednotlivých výrobních variant z hlediska efektivity a ekonomické výhodnosti. Výroba zvoleného dílu a praktické ověření zvolené technologie.

Technicko–ekonomické zhodnocení a doporučení do budoucna.

Součástí práce budou i veškeré technické podklady a výstupy včetně návrhu potřebných řídicích programů pro CNC stroje.

Cíle diplomové práce:

- Analýza zadané problematiky.
- Návrh variant technologie výroby.
- Návrh řídicích CNC programů.
- Srovnání jednotlivých variant výroby.
- Volba nejvhodnějšího způsobu řešení.
- Technicko–ekonomické zhodnocení dosažených výsledků a doporučení.

Seznam doporučené literatury:

ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2003. 193 s. ISBN 80-2147-2336-6.

CHLADIL, Josef. Teorie obrábění. 3. přeprac. vyd. Brno: VUT, 1989. 193 s. ISBN 65-137-2224-0.

ŠTULPA, Miroslav. CNC obráběcí stroje. Praha: BEN, 2006. 128 s. ISBN 80-7300-207-8.

MARINESCU, Ioan D. Handbook of machining with grinding wheels. Boca Raton, Fla.: CRC/Taylor, 2007. 596 p. ISBN 978-157-4446-715.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem variantních technologií na výrobu součásti deska upínače pásové pily. Úvod práce je zaměřen na problematiku týkající se zadané součásti. V návaznosti na to jsou popsány využití výrobní technologie. Praktická část práce je věnována návrhu variantních technologií pomocí konvenčních a nekonvenčních strojů. V závěru práce jsou metody zhodnoceny po technické a ekonomické stránce.

Klíčová slova

Pásová pila, obrábění, technologický postup, konvenční stroje, CNC

ABSTRACT

This thesis deals with the proposal of production technologies for a band saw clamp plate. Introduction of thesis is focused on problematics about selected component. In the next section, there are described technologies, which were used in the thesis. Practical part is about proposals of conventional and unconventional production methods. Methods are evaluated in the conclusion of thesis.

Key words

Band saw, machining, production plan, conventional machines, CNC

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STRAKA, David. Návrh výrobní technologie desky upínače pásové pily [online]. Brno, 2022 [cit. 2021-08-08]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/137196>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Oskar Zemčík.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh technologie výroby desky upínače pásové pily vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu.

9.8. 2021

Datum

Bc. David Straka

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Oskaru Zemčíkovi Ph.D. za odborné vedení a ochotu při vypracování diplomové práce.

Obsah

ABSTRAKT.....	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE.....	5
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ.....	7
Úvod.....	10
1 Úvod do problematiky.....	11
1.1 Pásové pily.....	11
1.1.1 Rozdělení pásových pil	11
1.2 Zvolená součást	14
1.2.1 Pilous ARG 300 CF-NC servo AUTOMAT	15
1.2.2 Materiál součásti	16
1.2.3 Obrobitelnost materiálu.....	16
1.3 Volba polotovaru	18
1.3.1 Přídavek na obrábění.....	18
1.4 Spotřeba materiálu.....	19
2 Uplatněné výrobní technologie	21
2.1 Frézování	21
2.1.1 Řezné podmínky.....	22
2.1.2 Řezné síly	24
2.1.3 Jednotkový strojní čas	24
2.2 Vrtání	25
2.2.1 Řezné podmínky.....	25
2.2.2 Řezné síly	27
2.2.3 Jednotkový strojní čas	28
2.3 Povrchová úprava – černění	29
3 Technologie výroby pomocí konvenčních strojů.....	30
3.1 Stroje.....	30
3.1.1 Pásová pila PILOUS ARG 260 PLUS	30
3.1.2 Konzolová frézka TOS F2V-R.....	31
3.1.3 Stolní převodová vrtačka OPTIdrill DH 26 GT	32
3.2 Nástroje.....	33
3.3 Obrábění na TOS F2V-R.....	37
3.4 Obrábění na DH 26-GT	37
3.5 Zámečnická práce	38

3.6	Technologický postup.....	38
4	Technologie výroby zaměřená na CNC zařízení.....	40
4.1	HAAS VF-2SS	40
4.2	Nástroje.....	41
4.3	Upnutí obrobku.....	45
4.4	Obrábění na VF-2SS.....	45
4.5	Technologický postup zaměřený na CNC	47
5	Srovnání variant výroby součásti	48
6	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	50
6.1	Ekonomické zhodnocení.....	50
6.1.1	Náklady spojené s provozem stroje.....	50
6.1.2	Náklady na nástroje	53
6.1.3	Náklady na povrchovou úpravu	54
6.1.4	Celkové výrobní náklady	54
6.2	Technické zhodnocení	55
7	Závěr.....	56
	Seznam použitých zdrojů	57
	Seznam použitých symbolů a zkratk	60
	Seznam příloh.....	61

Úvod

Strojírenství je rozsáhlý pojem zahrnující širokou škálu oborů a uplatnění. Technologie obrábění se řadí mezi nejrozšířenější oblasti ve strojírenství. Vývoj této technologie se ubírá extrémním tempem kupředu, obecně jako celého strojírenského průmyslu. Vzhledem k tomu, že dochází k neustálé inovaci a modernizaci technologií, jsou podniky kvůli udržení konkurenceschopnosti nuceny neustále investovat do svých technologií a zařízení. Dnešní doba s sebou přináší rozsáhlé možnosti při volbě nástrojů a strojů. S tím rostou i nároky na znalosti programátorů, technologů, konstruktérů a samotnou obsluhu zařízení.

Počítačem řízené stroje neboli CNC zařízení jsou v dnešní době již neodmyslitelnou součástí moderní výroby. Stroje jsou řízeny pomocí počítačem navrhnutým programem. V současnosti je na trhu nabízeno množství programovacích CAD/CAM softwarů. Výroba pomocí těchto strojů se stává rychlejší, přesnější, efektivnější a z ekonomického hlediska úspornější.

Tato práce se zabývá návrhem a porovnáním technologií pro výrobu součásti deska upínače pásové pily. Jsou navrženy dvě variantní technologie. První technologie je zaměřena na obrábění pomocí konvenčních strojů. Druhá varianta se soustředí na obrábění pomocí CNC stroje. Cílem práce je porovnat konvenční a nekonvenční metodu výroby součásti z hlediska efektivity a ekonomické náročnosti.

1 Úvod do problematiky

1.1 Pásové pily

Pásová pila je mechanické zařízení, které dělí materiál svým nekonečným pilovým pásem. Pohyb pilového pásu je orientován jedním směrem a rovnoměrnou rychlostí [1].

1.1.1 Rozdělení pásových pil

Pásové pily se dělí podle řady hledisek. Podle řezaného materiálu jsou pily rozdělovány na pásové pily na dřevo a pásové pily na kov. Pily mohou být dále děleny z hlediska konstrukce, ovládání, typu pohonu, zaměření a dalších faktorů. Zvolená součást je díl pásové pily na kov. Níže jsou popsány vybrané typy pásových pil [1].

Manuální pásové pily

Manuální pásové pily jsou charakteristické svou nízkou hmotností. Jsou využívány především v menších dílnách, na stavbách a při montážních pracích, neboť díky svým rozměrům a hmotnosti se jedná o zařízení, se kterým lze snadno manipulovat. Posuv pily je realizován ručně. Upnutí materiálu je taktéž řešeno ručně, popřípadě mechanickým svěrákem. Pilou lze řezat slabostěnné, silnostěnné i plné profily materiálu. Příklad manuální pásové pily je zobrazen na obrázku 1.1. [2].



Obrázek 1.1. Pásová pila manuální, Pilous ARG 105 MOBIL [3].

Poloautomatická pásová pila

Poloautomatické pásové pily jsou schopny samostatně pracovat po dobu jednoho pracovního cyklu, k dalším úkonům je potřeba činnosti obsluhy. Pila je vhodná pro řezání plných a vysoce pevných materiálů o větších rozměrech. Často je využívána ve větších výrobních sériích. Vyznačuje se vysokou přesností a kvalitou zpracování. Na obrázku 1.2. je zobrazena pásová pila Pilous ARG 260 H [2].



Obrázek 1.2. Pásová pila Pilous ARG 260 H [3].

Automatická pásová pila

Automatická pásová pila je zařízení pracující samostatně, není zde potřeba přítomnosti obsluhy stroje. Přísun materiálu je realizován podavači, následně je obrobek odsunut z místa řezu a celý cyklus se opakuje. Vše je ovládáno hydraulicky. Pily jsou vhodné pro řezání plných a rozměrově větších profilů [2,3].



Obrázek 1.3. Pásová pila automatická, Pilous ARG 260 CF-NC AUTOMAT [3].

Gravitační pásová pila

Největší upotřebením gravitačních pásových pil se nachází v dílnách. Pila je připevněna k podstavci, díky němuž je zařízení více stabilní a hůře se s ním manipuluje. Pohyb pilového pásu je řešen tíhou ramene pily. Pohyb ramene je realizován manuálně, upnutí materiálu a napínání pásu je podobné jako u manuálních pil. Zařízení jsou zpravidla vybavena olejovým tlumičem, díky němuž lze nastavit potřebný přítlak při řezání různých průměrů a druhů materiálu. Příklad gravitační pásové pily je na obrázku 1.4. [2,5].



Obrázek 1.4. Pásová pila gravitační, Pilous ARG 235 plus [3].

Dvousloupové CNC automaty

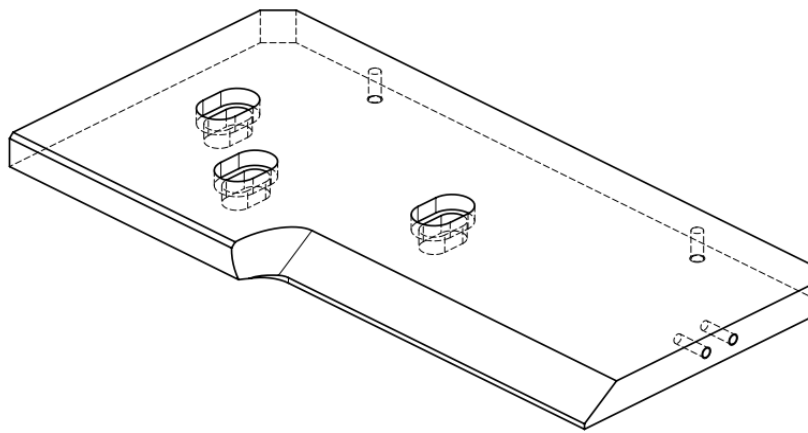
Rameno pily je řízeno hydraulicky, pohybuje se po sloupech a obvykle je vyrobeno z litiny. Taktéž upínání materiálu je řešeno pomocí hydrauliky. V počítači, který řídí kompletně celý stroj, lze nastavit různé řezné podmínky pro rozdílné typy materiálu. Stroj je využíván u větších sérií, proto je běžnou součástí válečkový dopravník, který usnadňuje manipulaci s materiálem. Vzniklé třísky jsou emulzí dopravovány do vany a z vany odstraňovány třískovým dopravníkem [5].



Obrázek 1.5. Pásová pila Pilous ARG 300 DCT CF-NC AUTOMAT [3].

1.2 Zvolená součást

Součást pro diplomovou práci je zvolena deska upínače pásové pily. Jedná se o díl ze stroje pásové pily Pilous ARG 300 CF-NC servo AUTOMAT, bližší rozbor stroje je uveden níže. Součást slouží k upevnění pohyblivé části čelisti svěráku pily a posunu polotovaru. Technologicky nejobtížnější prvek součásti je výkroj pro kryt pásu. Tento prvek slouží k zabíhání části pásu, kde je již chráněn svým krytem. Vyskytují se zde funkční prvky, které slouží jako spojovací, u kterých je nutno dodržet předepsané rozměry včetně rozměrových tolerancí. Drsnost součásti je $R_a = 3,2 \mu\text{m}$. Součást je povrchově upravena černěním, aby se zvýšila odolnost proti otěru a korozivzdornost, neboť při procesu řezání dochází k neustálému chlazení. Výkresová dokumentace se je uložena v příloze 1.



Obrázek 1.6. Model součásti.



Obrázek 1.7. Vyrobená součást.

1.2.1 Pilous ARG 300 CF-NC servo AUTOMAT

Pásová pila od firmy Pilous je plně automatizované zařízení, které nachází uplatnění ve všech typech výroby. Zařízení dokáže dělit i těžké a velké obrobky. Posun materiálu je realizován pomocí servopohonu s řídicím systémem. Díky servomotoru je umožněno podávání materiálu s vysokou rychlostí a přesností. Posuv pilového pásu a upínání materiálu je ovládáno hydraulicky. Konstrukce svěráku zajišťuje přesné podávání hrubých i nerovných materiálů. Maximální produktivita je dosažena frekvenčním měničem, což vede ke zvýšení životnosti pásu a přesnosti řezu. Stroj disponuje mimořádnou stabilitou při řezání díky jeho masivní konstrukci. Informace o stroji jsou uvedeny v tabulce 1.1. [4].



Obrázek 1.8. ARG 300 CF-NC servo AUTOMAT [4].

Tabulka 1.1. Technické údaje ARG 300 CF-NC servo AUTOMAT [4].

Hlavní motor pásové pily	400 V / 50 Hz / 2,2 kW	
Motor čerpadla pásové pily	400 V / 50 Hz / 0,05 kW	
Motor hydraulického agregátu	400 V / 50 Hz / 0,05 kW	
Rychlost pilového pásu	15-90	[m/min]
Rozměry pásové pily (min)	1650 x 2150 x 1400	[mm]
Rozměry pásové pily (max)	1700 x 2150 x 1900	[mm]
Hmotnost pásové pily	1020	[kg]
Rozměry pilového pásu	3150 x 27 x 0,9	[mm]
Pracovní výška svěráku	810	[mm]
Nádrž chladicí kapaliny	40	[l]
Servomotor posuvu	1,3 / 2	kW
Rychlost posuvu materiálu	1,6 / 2,5 / 3	[m/min]

1.2.2 Materiál součásti

Materiál pro součást je zvolena ocel 11 523. Jedná se o nelegovanou konstrukční jemnozrnnou ocel. Ocel je vhodná ke svařování a ohýbání. Využívá se taktéž pro části strojů, jízdních kol, automobilů a tlakových nádob. V tabulce 1.3. je uvedeno chemické zastoupení prvků v oceli 11 523, zbytek je tvořen částí železa (Fe), které je v materiálu hlavní složkou. Mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tabulkách 1.4. a 1.5. [5, 6].

Tabulka 1.2. Označení materiálu příslušnou normou [5].

Norma	DIN	ČSN	EN 10027-1	EN 10027-2
Značení	St52-3	11 523	S35530	1.0553

Tabulka 1.3. Chemické složení 11 523 [hm. %] [5].

C	Mn	Si	P	S	Al
max 0,2	max 1,6	max 0,55	max 0,04	max 0,045	max 0,015

Tabulka 1.4. Mechanické vlastnosti oceli 11 523 [6].

Mez pevnosti	[MPa]	490-630
Mez kluzu	[MPa]	345
Tažnost	[%]	22
Nárazová práce	[J]	27

Tabulka 1.5. Fyzikální vlastnosti oceli 11 523 [6].

Hustota	[kg·m ⁻³]	7850
Měrná tepelná kapacita	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	458
Tepelný součinitel roztažnosti	[K ⁻¹]	11,7·10 ⁻⁶
Tepelná vodivost	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	53,4

1.2.3 Obrobitelnost materiálu

Pojem obrobitelnost lze popsat jako míru schopnosti určitého materiálu být zpracován danou technologií obrábění. Je to důležitá vlastnost, rozhodující o volbě technologie a příslušných řezných podmínkách. Náklady, pracnost a ekonomický výsledek procesu jsou podmíněny stupněm obrobitelnosti. Obrobitelnost je ovlivňována fyzikálními a mechanickými vlastnostmi materiálu. Důležité faktory ovlivňující obrobitelnost materiálu [7]:

- Způsob výroby a teplené zpracování obráběného materiálu
- Mikrostruktura obráběného materiálu
- Fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu
- Chemické složení obráběného materiálu
- Pracovní prostředí
- Metoda obrábění
- Geometrie nástroje
- Druh a vlastnosti nástrojového materiálu

Obrobitelnost je pojem relativní vzhledem již uvedeným skutečnostem. Obrobitelnost je určena porovnáním materiálu s materiálem jiným, přičemž pracovní podmínky a stroje jsou stejné. Nejčastější kritérium, podle kterého jsou materiály srovnávány je hodnota řezné síly a zvolené trvanlivosti (v_{CT}). Při posuzování obrobitelnosti tímto kritériem se vyhodnocuje

objem materiálu, který je odebrán za jednotku času. Materiál je odebírán nástrojem v stanoveném řezném prostředí a při stálém průřezu třísky. Při vyhodnocování obrobiteľnosti lze konstrukční materiály rozřadit do devíti skupin pomocí malých písmen [8]:

- a – litiny
- b – oceli
- c – těžké nezelezné kovy
- d – lehké nezelezné kovy
- e – plastické hmoty
- f – přírodní nerostné hmoty
- g – vrstvené hmoty
- v – tvrzené litiny pro výrobu válců

V každé skupině je vybrán jeden materiál, který je nazýván etalon obrobiteľnosti. Relativní obrobiteľnost ostatních materiálů patřících do skupiny je stanovena vzhledem k vybranému materiálu. Materiály jsou rozdělovány podle indexu obrobiteľnosti, který je dán vztahem [8]:

$$i_0 = \frac{v_{cT}}{v_{cT et}} \quad [-] \quad 1.1$$

kde:

v_{cT}	[m·min ⁻¹]	Řezná rychlost při dané trvanlivosti
$v_{cT et}$	[m·min ⁻¹]	Řezná rychlost při dané trvanlivosti pro etanolový materiál

Materiály na základě vztahu 1.1 jsou řazeny do tříd. Skupina materiálu je označena písmenem a třída materiálu číslem, které se píše před označením skupiny. Index obrobiteľnost je odstupňován podle geometrické řady, která má kvocient ($q = 10^{\frac{1}{10}} = 1,26$). Hodnota kvocientu a třídy etanolového materiálu je 1. Obrobiteľnost materiálu se zvyšuje se zvyšujícím se číslem třídy. V tabulce 1.6. je uvedeno dělení základních skupin na příslušné třídy obrobiteľnosti [8].

Tabulka 1.6. Dělení základních skupin na třídy obrobiteľnosti [8].

Index obrobiteľnosti			Materiál			
Vyjádřeno kvocientem	Střed	Rozsah	Litiny	Oceli	Slitiny	
					Mědi	Hliníku
$1,26^{-2}$	0,63	0,57-0,71	9a	12b	9c	8d
$1,26^{-1}$	0,80	0,72-0,89	10a	13b	10c	9d
$1,26^0$	1	0,90-1,12	11a	14b	11c	10d
$1,26^1$	1,26	1,13-1,41	12a	15b	12c	11d
$1,26^1$	1,59	1,42-1,78	13a	16b	13c	12d

Třída materiálu pro ocel 11 523 je předepsána 14b při operacích frézování, vrtání, hoblování a soustružení. Materiál součásti je dobře obrobiteľný, při obrábění lze volit běžné nástroje a doporučené katalogové řezné podmínky [9].

1.3 Volba polotovaru

Při výběru vhodného polotovaru je nutno brát v úvahu určitá kritéria. Výrobní náklady jsou jedny z nejdůležitějších faktorů. Závisí především na materiálové a tvarové náročnosti součásti, využití materiálu a na nákladech spojených se zhotovením a obráběním daného polotovaru. Spotřeba materiálu musí být co nejmenší, vzhledem k tomu je určen přídavek na obrábění. Jako polotovar je zvolena široká pásová ocel, jejíž parametry jsou určeny níže [10].

1.3.1 Přídavek na obrábění

Maximální rozměry součásti: 309 x 150 x 15 mm.

Vztah pro výpočet velikosti přídávku [10]:

$$p = \frac{5 \cdot s}{100} + 2 \quad [\text{mm}] \quad (1.2)$$

kde

p	[mm]	přídavek pro stranu
s	[mm]	rozměr strany

Přídavek na délku součásti:

$$p_l = \frac{5 \cdot l}{100} + 2 = \frac{5 \cdot 309}{100} + 2 = 17,45 \text{ mm} \quad (1.3)$$

Přídavek na šířku součásti:

$$p_b = \frac{5 \cdot b}{100} + 2 = \frac{5 \cdot 150}{100} + 2 = 9,5 \text{ mm} \quad (1.4)$$

Přídavek na výšku součásti:

$$p_h = \frac{5 \cdot h}{100} + 2 = \frac{5 \cdot 15}{100} + 2 = 2,75 \text{ mm} \quad (1.5)$$

Vypočítané hodnoty přídávků na obrábění jsou příliš vysoké zejména u přídávku pro délku a šířku součásti. Velikost přídávků je postačující v rozmezí 4-6 mm. Přídavek pro dělení materiálu je 2 mm. Zvolené přídávky:

$$p_l = 6 \text{ mm}$$

$$p_b = 5 \text{ mm}$$

$$p_h = 2,75 \text{ mm}$$

Vzorec pro výpočet celkového rozměru polotovaru [10]:

$$S = p + s \quad [\text{mm}] \quad (1.6)$$

S	[mm]	celkový rozměr strany
s	[mm]	rozměr strany
p	[mm]	přídavek pro stranu

Délka polotovaru:

$$L = l + p_l = 309 + 6 = 315 \text{ mm} \quad (1.7)$$

Výška polotovaru:

$$H = h + p_h = 15 + 2,75 = 17,75 \text{ mm} \quad (1.8)$$

Šířka polotovaru:

$$B = b + p_b = 150 + 5 = 155 \text{ mm} \quad (1.9)$$

Z vypočítaných hodnot je stanoven polotovar **široká ocel 160x20 - ČSN 42 5524** [11].

1.4 Spotřeba materiálu

Pro výpočet normy spotřeby a využití materiálu je užitá rozborově propočtová metoda, která se věnuje faktorům ovlivňující spotřebu [10].

Hmotnost hotové součásti: $Q_s = 4,906 \text{ kg}$

Hmotnost polotovaru: $Q_p = 7,863 \text{ kg}$

Ztráty vzniklé obráběním [10]:

$$q_0 = Q_p - Q_s \text{ [kg} \cdot \text{ks}^{-1}] \quad (1.10)$$

$$q_0 = 7,863 - 4,906 = 2,957 \text{ kg} \cdot \text{ks}^{-1} \quad (1.11)$$

Ztráty vzniklé prořezem [10]:

$$q_u = a \cdot b \cdot l_u \cdot \rho \text{ [kg} \cdot \text{ks}^{-1}] \quad (1.12)$$

$$q_u = 0,16 \cdot 0,02 \cdot 0,002 \cdot 7850 = 0,050 \text{ kg} \cdot \text{ks}^{-1} \quad (1.13)$$

Počet přířezů z tyče [10]:

$$n_a = \frac{l_s}{l_o + l_u} \text{ [ks]} \quad (1.14)$$

$$n_a = \frac{6}{0,313 + 0,002} = 19 \text{ ks} \quad (1.15)$$

Ztráty z nevyužitého konce [10]:

$$l_k = l_s - n_a \cdot (l_u + l_o) \text{ [m]} \quad (1.16)$$

$$l_k = 6 - 19 \cdot (0,313 + 0,002) = 0,015 \text{ m} \quad (1.17)$$

$$q_k = a \cdot b \cdot l_k \cdot \rho \text{ [kg} \cdot \text{ks}^{-1}] \quad (1.18)$$

$$q_k = 0,16 \cdot 0,02 \cdot 0,015 \cdot 7850 = 0,377 \text{ kg} \cdot \text{ks}^{-1} \quad (1.19)$$

Celkové ztráty obráběním polotovaru [10]:

$$z_m = q_0 + q_u + q_k \text{ [kg} \cdot \text{ks}^{-1}] \quad (1.20)$$

$$z_m = 2,957 + 0,05 + 0,377 = 3,384 \text{ kg} \cdot \text{ks}^{-1} \quad (1.21)$$

Norma spotřeby materiálu [10]:

$$N_m = Q_s + z_m [kg \cdot ks^{-1}] \quad (1.22)$$

$$N_m = 4,906 + 3,384 = 8,29 kg \cdot ks^{-1} \quad (1.23)$$

Stupeň využití materiálu [10]:

$$k_{ma} = \frac{Q_s}{N_m} [-] \quad (1.24)$$

$$k_{ma} = \frac{4,906}{8,29} = 0,59 \quad (1.25)$$

Stupeň využití materiálu se ve strojírenství při obrábění pohybuje v rozmezí 0,4-0,8. Podle stupně využití se hodnotí pracnost výrobku, použitá technologie a další. Koeficient blíží se jedné signalizuje malé množství třísek (malá spotřeba času) a obráceně [10].

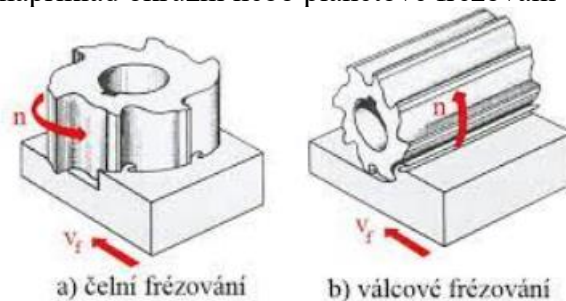
2 Uplatněné výrobní technologie

V této části kapitoly jsou teoreticky popsány technologie potřebné pro výrobu součástí. Jedná se o technologii frézování, vrtání a povrchové úpravy černění.

2.1 Frézování

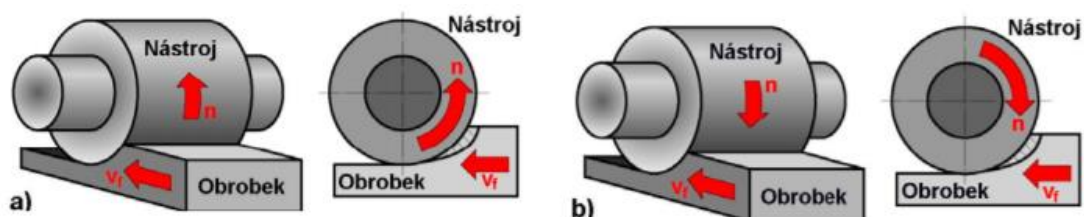
Frézování je jedna z nejčastěji využívaných metod obrábění. Dosahuje se zde vysoké kvality a výkonnosti. Při této technologii dochází k úběru materiálu pomocí rotujícího nástroje (frézy). Tento pohyb je nazýván hlavní. Vedlejší pohyb neboli posuv je vykonáván obrobkem. Třísky jsou odebrány jednotlivými zuby nástroje, proces řezání je tedy přerušovaný [12].

Frézování je rozlišováno dle technologického hlediska na válcové a čelní. U válcového frézování je materiál obráběn obvodem nástroje a obráběná plocha je rovnoběžná vzhledem k ose nástroje. Při čelním frézování dochází k úběru materiálu pomocí čela nástroje. Obráběná plocha je kolmá vzhledem k ose nástroje. Na obrázku 2.1. jsou zobrazeny metody čelního a válcového frézování. Z těchto dvou základních metod jsou odvozeny další typy frézování, kterými jsou například okružní nebo planetové frézování [12].



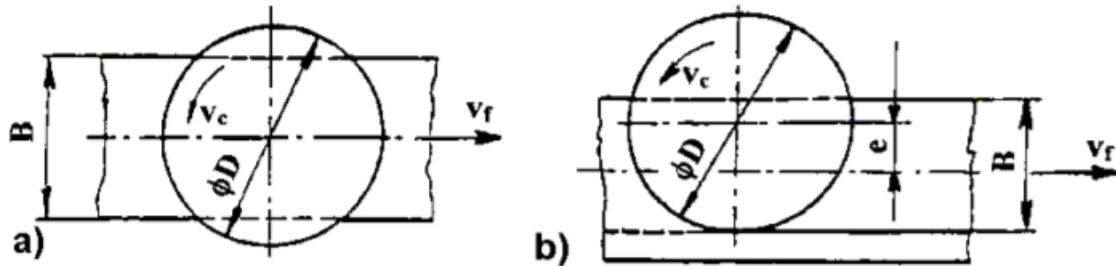
Obrázek 2.1. Čelní a válcové frézování [13].

U válcového frézování jsou zuby umístěny na obvodu nástroje. Vzhledem k otáčení nástroje a posuvu obrobku se rozlišují dva typy válcového frézování. Jedná se o sousledné a nesousledné frézování. U nesousledného frézování se nástroj pohybuje v opačném směru proti posuvu obrobku. Tloušťka třísky je proměnlivá a mění se od minimální po maximální hodnotu. U sousledného frézování dochází k posuvu nástroje ve stejném směru jako otáčení nástroje. Tloušťka třísky se pohybuje z hodnoty maximální na minimální. Na obrázku 2.2. je znázorněno válcové sousledné a nesousledné frézování. Posuvový pohyb je označen v_f a n je směr otáčení nástroje [12].



Obrázek 2.2. Válcové frézování a) nesousledné, b) sousledné [12].

Zuby při čelním frézování jsou umístěny jak na obvodu, tak i na čele frézy. Rozlišují se dva typy čelního frézování vzhledem k poloze obráběné plochy a osy nástroje. Jedná se o symetrické a nesymetrické frézování. Osa nástroje je vedena středem obráběné plochy u symetrického frézování. U nesymetrického frézování osa neprochází středem obráběné plochy. Na obrázku 2.3. jsou znázorněny oba typy čelního frézování [12].



Obrázek 2.3. Čelní frézování a) symetrické, b) nesymetrické [12].

2.1.1 Řezné podmínky

Hlavní pohyb u frézování je vykonáván vždy nástrojem. Jedná se o pohyb rotační. Vedlejší pohyb neboli posuvový pohyb je vykonáván obrobkem. Vzorec pro výpočet řezné rychlosti [12]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.1)$$

kde

D	[mm]	Průměr nástroje
n	[min ⁻¹]	Otáčky nástroje

Základní jednotkou posuvu je posuv na zub (f_z), z něhož lze vypočítat posuv na otáčku (f_n) dle vztahu [12]:

$$f_n = f_z \cdot z \quad [\text{mm}] \quad (2.2)$$

kde

f_z	[mm]	Posuv na zub
z	[-]	Počet zubů

Vzorec pro výpočet posuvové rychlosti [12]:

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.3)$$

Tloušťka třísky u sousledného a nesousledného frézování je proměnlivá. Mění svou hodnotu z maximální na minimální a naopak. Je potřeba počítat s úhlem posuvového pohybu (φ_i). Výpočet tloušťky třísky je vyjádřen vzorcem [12]:

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

kde

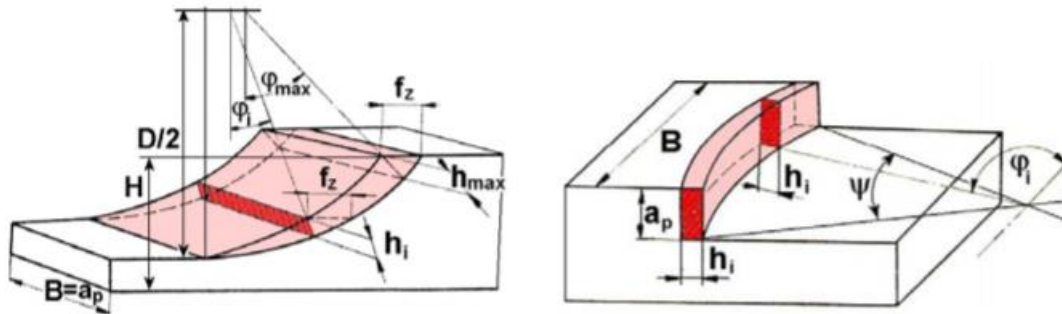
φ_i	[°]	Úhel posuvového pohybu
-------------	-----	------------------------

Z obrázku 2.4. lze v závislosti na tloušťce třísky odvodit vzorec pro výpočet jmenovitého průřezu třísky [12]:

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

kde

a_p [mm] Hloubka řezu



Obrázek 2.4. Průřez třísky při válcovém a čelním frézování [12].

Za předpokladu $\varphi_i = \varphi_{max}$ bude maximální hodnota jmenovitého průřezu [12]:

$$A_{Dmax} = a_p \cdot h_{max} = a_p \cdot f_z \cdot \sin(\varphi_{max}) \quad [\text{mm}^2] \quad (2.6)$$

$$\sin \varphi_{max} = \frac{2}{D} \cdot \sqrt{D \cdot H - H^2} \quad [-] \quad (2.7)$$

Tloušťka třísky při čelním frézování je taktěž proměnlivá. Je závislá na úhlu posuvového pohybu (φ_i) a na úhlu nastavení hlavního ostří (κ_r), který na obrázku 2.4. nabývá hodnoty 90 °. Okamžitá hodnota tloušťky třísky při čelním frézování je dána vztahem [12]:

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

Výpočet šířky třísky [12]:

$$b = \frac{a_p}{\sin(\kappa_r)} \quad [\text{mm}] \quad (2.9)$$

Vzorec pro výpočet jmenovitého průřezu třísky [12]:

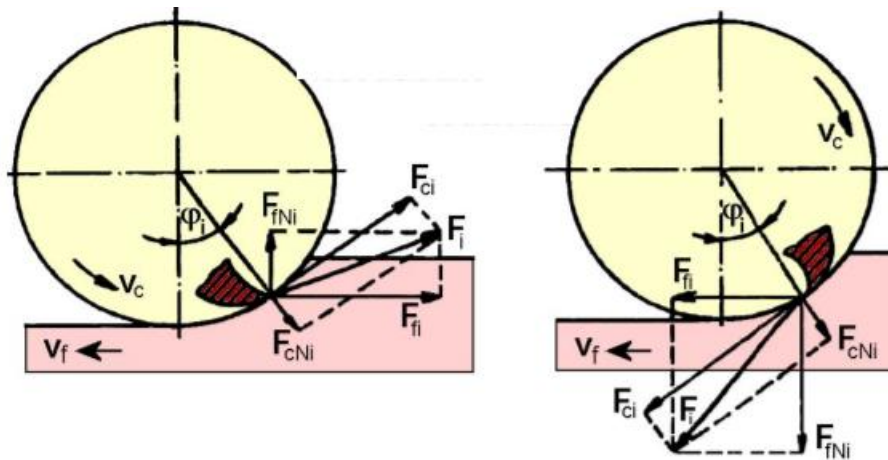
$$A_D = b \cdot h = a_p \cdot f_z \cdot \sin(\varphi_i) \quad [\text{mm}^2] \quad (2.10)$$

kde

h [mm] Tloušťka třísky
b [mm] Šířka třísky

2.1.2 Řezné síly

Při určování řezných sil u frézování se vychází ze silových poměrů na jednom břitu pod úhlem φ_i . Na obrázku 2.5. je zobrazeno válcové frézování, kde se celková řezná síla F_i rozkládá na řezné složky F_{fi} a F_{fNi} [12].



Obrázek 2.5. Rozklad sil při sousledném a nesousledném frézování [6].

Výpočet řezné složky síly F_{ci} [12]:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin(\varphi_i) \quad [\text{N}] \quad (2.11)$$

kde

k_{ci}	[MPa]	Měrná řezná síla
f_z	[mm ⁻¹]	Posuvová rychlost
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří

Vzorec pro výpočet měrné řezné síly [12]:

$$k_{ci} = \frac{C_{FC}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} \quad [\text{MPa}] \quad (2.12)$$

kde

C_{FC}	[-]	Konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu
x	[-]	Exponent vlivu tloušťky třísky

Po úpravě vztahů (2.11) a (2.12) lze vyjádřit [12]:

$$F_{ci} = C_{FC} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin(\varphi_i)^x \quad [\text{N}] \quad (2.13)$$

2.1.3 Jednotkový strojní čas

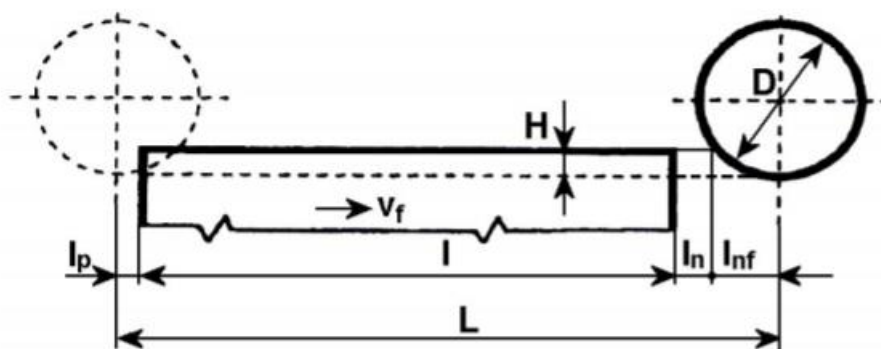
Pro výpočet jednotkového strojního času je užít obecný vzorec [12]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \quad [\text{min}] \quad (2.14)$$

kde

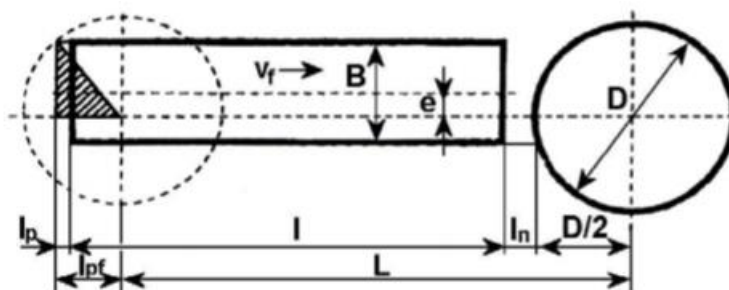
L	[mm]	Dráha nástroje
-----	------	----------------

v_f [mm·min⁻¹] Posuvová rychlost

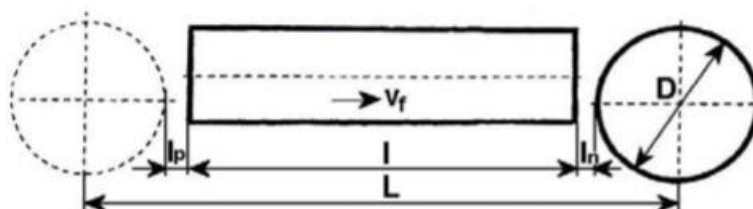


Obrázek 2.6. Dráha frézy pro válcové frézování [12].

Dráha nástroje pro válcové frézování je popsána na obrázku 2.6. Dráha nástroje pro čelní frézování hrubé a čelní frézování načisto je popsána obrázky 2.7. a 2.8.



Obrázek 2.7. Dráha frézy pro hrubé čelní frézování [12].



Obrázek 2.8. Dráha frézy pro čelní frézování načisto [12].

2.2 Vrtání

Technologie vrtání je využívána ke zhotovování děr do plného materiálu, popřípadě zvětšování děr v již předpracovaném materiálu. Hlavní pohyb je zpravidla konán nástrojem a jedná se o pohyb rotační. Vedlejší pohyb posuvový je konán taktéž nástrojem. Osa vrtáku je zpravidla při obrábění kolmá k ploše obrobku. Při vrtání na soustruhu platí, že rotační pohyb je konán obrobkem a posuvový pohyb vrtákem [12].

2.2.1 Řezné podmínky

Mezi základní charakteristiku vrtání patří snižující se řezná rychlost od obvodu nástroje k jeho středu, kde je její hodnota nulová. Řezná rychlost se určuje jako obvodová rychlost a vztahuje se k největšímu průměru nástroje [12].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.15)$$

$$v_f = f \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.16)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.17)$$

kde

D	[mm]	Průměr obráběné díry
n	[min ⁻¹]	Otáčky vrtáku
f	[mm]	Posuv nástroje na jednu otáčku
v _c	[mm·min ⁻¹]	Řezná rychlost
v _f	[mm·min ⁻¹]	Posuvová rychlost
v _e	[mm·min ⁻¹]	Rychlost řezného pohybu

Vzorec pro výpočet hodnoty posuv na zub [12]:

$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm}] \quad (2.18)$$

kde

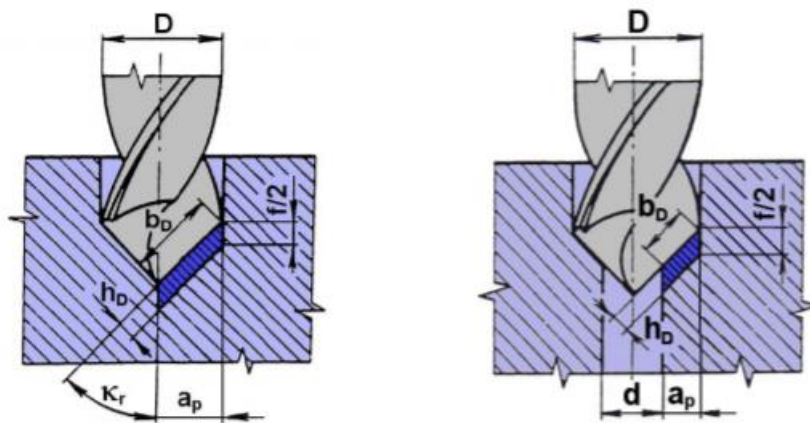
z	[-]	Počet zubů nástroje
---	-----	---------------------

Z obrázku 2.9. se vychází při výpočtu průřezu třísky [12]:

$$A_D = b_d \cdot h_d = a_p \cdot \frac{f}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (3.19)$$

kde

b _d	[mm]	Jmenovitá šířka třísky
h _d	[mm]	Jmenovitá tloušťka třísky
a _p	[mm]	Šířka záběru ostří
f	[mm]	Posuv na otáčku



Obrázek 2.9. Průřez třísky [12].

Za předpokladu předvrtané díry o průměru d je vztah pro průřez třísky [12]:

$$A_D = \frac{(D - d) \cdot f}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (2.20)$$

Jmenovité hodnoty šířky třísky při vrtání šroubovitým vrtákem do plného materiálu a předvrtané díry o průměru d (vzorec 2.22) jsou vyjádřeny vztahy [12]:

$$b_D = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad [\text{mm}] \quad (2.21)$$

$$b_D = \frac{D - d}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad [\text{mm}] \quad (2.22)$$

Vztah pro výpočet jmenovité hodnoty tloušťky třísky [12]:

$$h_D = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r \quad [\text{mm}] \quad (2.23)$$

2.2.2 Řezné síly

Standartní vrták je tvořen dvěma břity umístěnými symetricky vzhledem k jeho ose. Při vrtání je materiál oddělován oběma břity najednou. Výsledné síly jsou tvořeny složkami sil na každém břitu nástroje. Na obrázku 2.10. je graficky znázorněno působení složek řezných sil [12].

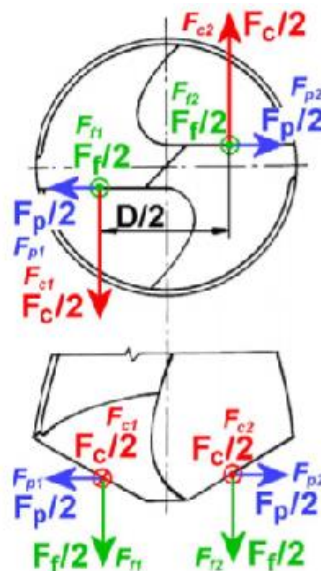
$$F_f = F_{f1} + F_{f2} \quad [\text{N}] \quad (2.24)$$

$$F_p = F_{p1} - F_{p2} \quad [\text{N}] \quad (2.25)$$

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \quad [\text{N}] \quad (2.26)$$

kde

F_f	[N]	Posuvová složka síly
F_p	[N]	Pasivní složka síly
F_c	[N]	Řezná složka síly



Obrázek 2.10. Složky řezných sil při vrtání [12].

Empirickými vztahy lze stanovit složky sil celého nástroje [12]:

$$F_f = C_{Ff} \cdot D^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \quad [\text{N}] \quad (2.27)$$

$$F_c = C_{Fc} \cdot D^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [\text{N}] \quad (2.28)$$

kde:

C_{Ff}, C_{Fc}	[-]	Konstanty vyjadřující vliv obráběného materiálu
x_{Ff}, x_{Fc}	[-]	Exponenty vyjadřující vliv průměru vrtáku
y_{Ff}, y_{Fc}	[-]	Exponenty vyjadřující vliv posuvu na otáčku
D	[mm]	Průměr vrtáku
f	[mm]	Posuv na otáčku

Kroutící moment lze vyjádřit vztahem [12]:

$$M_k = C_m \cdot D^{x_m} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [\text{N}\cdot\text{mm}] \quad (2.29)$$

Vzorec pro výpočet řezného výkonu [12]:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2 \cdot 60 \cdot 1000} = \frac{F_c \cdot v_c}{1,2 \cdot 10^5} \quad [\text{kW}] \quad (2.30)$$

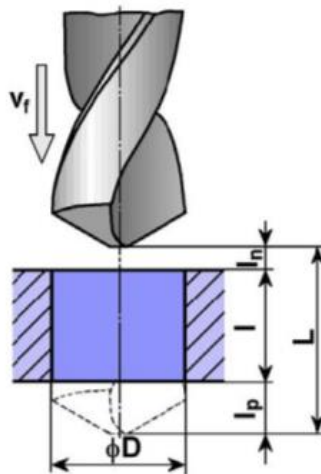
2.2.3 Jednotkový strojní čas

Při stanovování vztahu pro výpočet jednotkového strojního času vrtání se uvažuje vrtání průchozí díry dvoubřitým nástrojem a vychází se z obrázku 2.11. [12].

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (2.31)$$

kde

l_n	[mm]	Náběh vrtáku
l	[mm]	Délka vrtané díry
l_p	[mm]	Přeběh vrtáku
n	$[\text{min}^{-1}]$	Otáčky vrtáku
f	[mm]	Posuv na otáčku



Obrázek 2.11. Dráha vrtání průchozí díry [12].

2.3 Povrchová úprava – černění

Černění je povrchová úprava, kdy je na povrch materiálu nanесena vrstva oxidu. Oxidace kovů je jedna z nejstarších povrchových ochran materiálu. Vrstva oxidu zvyšuje ochranu proti korozi, zlepšuje estetický vzhled, kdy se odstín barvy změni od modré po černou. Od černěného povrchu kovu se méně odráží světlo. Proces se dělí dle procesní teploty. Černění se rozděluje podle teploty na horké a studené. Dalším parametrem při výběru technologie je složení materiálu. Specifické je černění nerezových ocelí, kdy je nutné překonat ochranu slitiny. Rovněž se zde rozděluje černění na studené a horké. Při černění ocelí lze nanášet mezivrstvy, díky nimž dochází ke změnám vlastností součásti. Mění se drsnost povrchu, odstín barvy a rezistence vzhledem k oxidaci. Nanášení kovové mezivrstvy se uplatňuje u mědi a mosazi, přičemž technologie má svá specifika. Černění je využíváno u nízkolegovaných ocelí a uhlíkových ocelí. Technologie je nevhodná pro vysoce legovanou ocel [14].

Horké černění

Horké černění se používá již dlouhou dobu. Z hlediska výsledných vlastností materiálu a cenové náročnosti je tento typ technologie stále velice populární. Principem technologie je ponoření výrobku do zásadité lázně za vzniku oxidů kovů. Proces probíhá za teploty černicí lázně mezi 145–150 °C. Doba černění závisí na druhu materiálu, černicího přípravku nebo složení lázně. Výsledkem je konzistentní vrstva výrobku, zbarvení, odolnost vůči korozi a otěru. Aby dosáhl výrobek potřebné odolnosti vůči korozi tak se dále impregnuje [14].

U nerezových ocelí se teplota procesu pohybuje v rozmezí 120–130 °C. Při procesu vznikají korozivní páry, kde vzniká riziko výbuchu a poranění obsluhy. Otázka bezpečnosti zde hraje zásadní roli. Mezi základní úskalí patří, že lázeň je tvořena až 50 % vody a teplota procesu je za bodem varu. Voda se tedy vypařuje a musí se doplňovat zpět, aby nedocházelo ke změně koncentrace lázně. Nutno je zajistit ventilaci korozivních par [14].

Studené černění

Studené černění dříve nedosahovalo potřebných kvalit jako u horkého černění. Povrchová vrstva nebyla tolik odolná vůči otěru či korozi. Technologie studeného černění se často používala jen z estetického hlediska, případně kde nebylo potřeba dosáhnout vysoké odolnosti výrobku. Dnes je již technologie na vysoké úrovni a lze provádět technologii černění i za studena, ale přípravky pro tenhle proces jsou vysoce toxické, v České republice se vůbec nevyrábějí. Černění se nejčastěji provádí pomocí roztoku síranu měďnatého s kyselinou seleničitou v alkoholu. Výsledné barva je černá s odstíny šedé nebo zelené [14].

Vady černění:

- Hnědé zbarvení – Důvodem je znečištěná lázeň železem, ocel obsahující legury nebo dlouhá doba procesu. Hnědé skvrny lze částečně odstranit naftou či petrolejem.
- Červené nepravidelné zbarvení – Ocel obsahuje mnoho chromu, vadu lze odstranit otrýskáním.
- Šedivé nepravidelné zbarvení – Vada se projevuje u nitridovaných ocelí, lze ji jemně otrýskat pomocí korundu [14].

3 Technologie výroby pomocí konvenčních strojů

3.1 Stroje

Technologie výroby pomocí konvenčních strojů se realizuje na třech strojích. Materiál je dělen pomocí pásové pily PILOUS ARG260 PLUS, polotovary jsou obráběny pomocí konzolové frézky TOS F2V-R a stolní převodové vrtačky OPTIDRILL DH 26 GT.

3.1.1 Pásová pila PILOUS ARG 260 PLUS

Pásová pila je využívána k dělení materiálu. Jedná se o typ gravitační pásové pily na kov. Zařízení nachází široké uplatnění od nepřetržitých provozů po zámečnické dílny. Pilový pás je používán o rozměrech 27 x 0,9 mm a dělí materiály typu nerezová, nástrojová ocel. Rychlost pásu 35 m/min případně 70 m/min je řízena pomocí třífázového dvojrychlostního motoru. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce 3.1. [15].



Obrázek 3.1. Pásová pila PILOUS ARG 260 PLUS [15].

Tabulka 3.1. Technické parametry pily PILOUS ARG 260 PLUS [15].

Hlavní motor pásové pily	400 V / 50 Hz / 0,9/1,4 kW	
Motor čerpadla pásové pily	400 V / 50 Hz / 0,05 kW	
Rychlost pilového pásu	35 / 70	[m/min]
Rozměry pásové pily (min)	1620 x 950 x 1420	[mm]
Rozměry pásové pily (max)	1860 x 1680 x 1980	[mm]
Hmotnost pásové pily	475	[kg]
Rozměry pilového pásu	2880 x 27 x 0,9	[mm]
Pracovní výška svěráku	910	[mm]
Nádrž chladicí kapaliny	15	[l]

3.1.2 Konzolová frézka TOS F2V-R

K obrábění je zvolena vertikální konzolová frézka TOS F2V-R, jejíž výrobcem je TOS Olomouc. Je to víceúčelový stroj, vhodný k frézování, vrtání a vyvrtávání u obrobků do 200 kg. Vřeteno je umístěno ve vřetenové hlavě výsuvné pinoly, s kterou lze polohovat ve vertikální rovině. Používané nástroje jsou z nástrojových ocelí a slinutých karbidů, díky nimž a možnosti regulace širokého rozsahu otáček a posuvů lze obrábět různorodé materiály. Stroj je zobrazen na obrázku 3.2. a technologické parametry jsou uvedeny v tabulce 3.2. [16].



Obrázek 3.2. Konzolová frézka TOS F2V-R [16].

Tabulka 3.2. Technické parametry stroje TOS F2V-R [16].

Celkový příkon	12	[kVA]
Hmotnost stroje	1550	[kg]
Rozměry stroje	2660 x 1760 x 2270	[mm]
Rozměry pracovní plochy	350 x 1300	[mm]
Upínací drážky	5	[ks]
Šířka a rozteč	14 x 50	[mm]
Maximální zatížení stroje	200	[kg]
Pracovní zdvih podélný (X)	820-840	[mm]
Pracovní zdvih příčný (Y)	355-376	[mm]
Pracovní zdvih svislý (Z)	400-420	[mm]
Posuv jednostupňový (X, Y)	28-630	[mm/min]
Posuv jednostupňový (Z)	8,5-196	[mm/min]
Rychloposuv jednostupňový (X, Y)	1500	[mm/min]
Rychloposuv jednostupňový (Z)	450	[mm/min]
Posuv dvoustupňový (X, Y); (1. stupeň; 2.stupeň)	10-200; 200-1000	[mm/min]
Posuv dvoustupňový (Z); (1. stupeň; 2.stupeň)	3-60; 60-300	[mm/min]
Rychloposuv dvoustupňový (X, Y)	400; 2000	[mm/min]
Rychloposuv dvoustupňový (Z)	120; 600	[m/min]

Vzdálenost osy vřetene od vedení stojanu	373	[mm]
Rozsah otáček	60-4000	[ot./min]
Výkon motoru	3	[kW]
Výsuv pinoly	125	[mm]
Oboustranné natočení vřetene	±90	[°]

3.1.3 Stolní převodová vrtačka OPTIdrill DH 26 GT

K vrtání děr a následnému zhotovení závitů je zvolena stolní převodová vrtačka OPTIdrill DH 26 GT, která se vyznačuje vysokou přesností díky kalenému hlavnímu vřetenu vrtačky. Vrtačka je vzhledem ke svým rozměrům těžká kvůli litinovému provedení. Stroj disponuje vysokými otáčkami a nástroje lze snadno měnit vestavěných vyrážecem. Klidný chod stroje je prezentován broušeným unašečem. Parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 3.3. [17].



Obrázek 3.3. Stolní vrtačka OPTIdrill DH 26 GT [17].

Tabulka 3.3. Technické parametry OPTIdrill DH 26 GT [17].

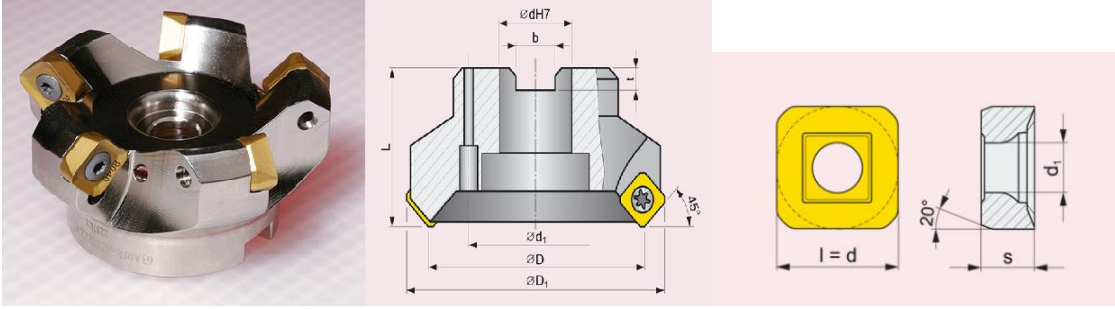
Max vrtací hloubka	127	[mm]
Rozměry pracovního stolu	380x380	[mm]
Velikost T drážky	14	[mm]
Otáčky	75–2950	[ot/min]
Počet rychlostních stupňů	8	[-]
Max vzdálenost vřetene a stolu	610	[mm]
Úhel otáčení vrtacího stolu	360	[°]
Rozměry základny	350x322	[mm]
Příkon	1500/1100	[W]
Rozměry	380x1300x600	[mm]
Hmotnost	166	[kg]

3.2 Nástroje

Nástroje jsou voleny podle třídy obrobitelnosti materiálu. Obrobitelnost materiálu je třídy 14b. Jsou voleny běžné nástroje a řezné podmínky.

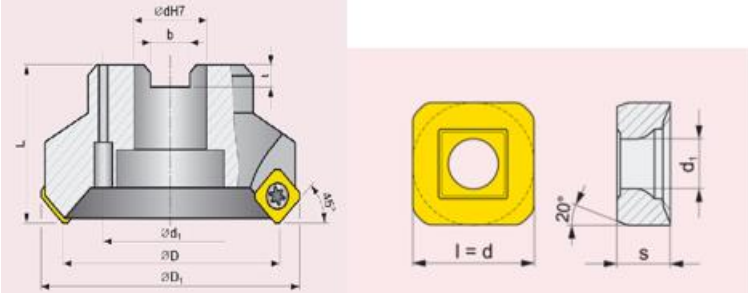
Čelní frézování větších ploch je provedeno pomocí čelní frézy o průměru 80 mm, konkrétně fréza s označením 80A06R-S45SN12Z-C a s vyměnitelnou břitovou destičkou SNKT 1205AZSR-M. Nástroje jsou od firmy Dormer Pramet. Technické údaje a doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 3.4.

Tabulka 3.4. Technické údaje frézy 80A06R-S45SN12Z-C a VBD SNKT 1205AZSR-M [18].

Čelní fréza		80A06R-S45SN12Z-C		T01		
						
Geometrické parametry						
dH7	d ₁	L	D	D ₁	b	t
27 mm	38 mm	50 mm	80 mm	95 mm	12,4 mm	7 mm
VBD		SNKT 1205AZSR-M		T01		
Geometrické parametry						
d	s		d ₁		l	
12,7 mm	5,56 mm		5,2 mm		12,7 mm	
Doporučené řezné podmínky						
a _{pmax}		v _c		f _z		
6,5 mm		200-250 mm·min ⁻¹		0,1-0,5 mm		

Pro frézování menších čelních ploch je zvolena čelní fréza od firmy Dormer Pramet o průměru 40 mm. Fréza je označena 40A03R-S45SN12Z-C s vyměnitelnou břitovou destičkou SNKT 1205AZSR-M, technické údaje jsou uvedeny v tabulce 3.5.

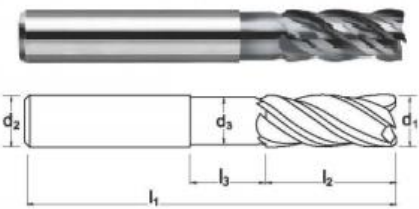
Tabulka 3.5. Technické údaje frézy 40A03R-S45SN12Z-C a VBD SNKT 1205AZSR-M [18].

Čelní fréza		40A03R-S45SN12Z-C		T02		
						
Geometrické parametry						
dH7	d ₁	L	D	D ₁	b	t
16 mm	14 mm	40 mm	40 mm	55 mm	8,4 mm	5,6 mm

VBD		SNKT 1205AZSR-M		T02	
Geometrické parametry					
d	s	d ₁	L		
12,7 mm	5,56 mm	5,2 mm	12,7 mm		
Doporučené řezné podmínky					
a _{pmax}	v _c		f _z		
6,5 mm	200-250 mm·min ⁻¹		0,1-0,5 mm		

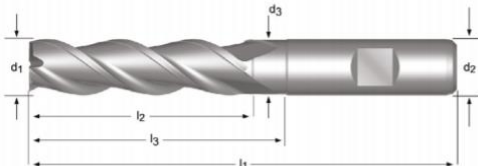
Na frézování drážek jsou využity monolitní frézy od firmy OCTOPUSTOOLS. Frézy jsou o průměru 12 a 18 mm. Technické údaje o nástrojích a doporučené řezné podmínky jsou uvedené v tabulce 3.6.

Tabulka 3.6. Monolitní frézy pro výrobu drážek [19].

Monolitní fréza		Mill.12.ICE.INOX.HA		T03	
Geometrické parametry					
d ₁	d ₂	d ₃	l ₁	l ₂	l ₃
12 mm	12 mm	11,2 mm	83 mm	26 mm	12 mm
Doporučené řezné podmínky					
a _{pmax}	v _c		f _z		
12 mm	145-180 mm·min ⁻¹		0,06-0,07 mm		
Monolitní fréza		Mill.18.ICE.INOX.HA		T04	
Geometrické parametry					
d ₁	d ₂	d ₃	l ₁	l ₂	l ₃
18 mm	18 mm	17,5 mm	92 mm	32 mm	12 mm
Doporučené řezné podmínky					
a _{pmax}	v _c		f _z		
18 mm	145-180 mm·min ⁻¹		0,09-0,1 mm		
					


Frézování výkroje pro kryt, zkosení a obvodu součásti je dosaženo pomocí monolitní frézy od výrobce Dormer Pramet. Velikost průměru nástroje je 30 mm. Parametry frézy jsou uvedeny v tabulce 3.7.

Tabulka 3.7. Monolitní fréza [17].

Monolitní fréza		C247 DIN 844K		T05	
Geometrické parametry					
d ₁	d ₂	d ₃	l ₁	l ₂	l ₃
30 mm	25 mm	24,5 mm	121 mm	45 mm	64,5 mm
					

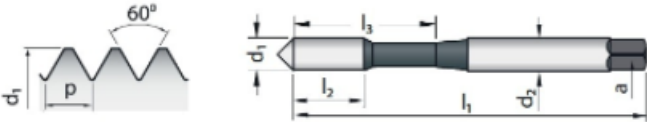
Pro vrtání děr je vybrán vrták od firmy Dormer Pramet o průměru 5 mm. Geometrické parametry nástroje a řezné podmínky při procesu jsou uvedeny v tabulce 3.8.

Tabulka 3.8. Vrták Dormer Pramet DIN 338 [17].

Vrták		Dormer Pramet DIN 338		T06	
Geometrické parametry					
D	L ₁	L	d		
5 mm	52 mm	94 mm	6 mm		
Řezné podmínky					
n			f		
1019 min ⁻¹			72 mm·min ⁻¹		
					

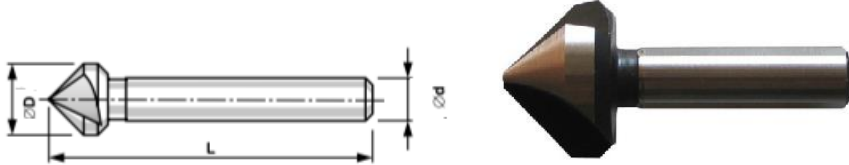
Závity se zhotovují pomocí řezného závitníku od firmy OCTOPUSTOOLS s označením M6-6H..T192A, normy DIN 371. Parametry nástroje jsou uvedeny v tabulce 3.9.

Tabulka 3.9. Řezný závitník DIN 371 [18].

Závitník		M6-6H..T192A DIN 371		T07	
Geometrické parametry					
d ₁	d ₂	a	l ₁	l ₂	
M6	6 mm	4,9 mm	80 mm	20 mm	
					

Zahloubení děr před zhotovením závitu je provedeno pomocí kuželového jednobřitého záhlubníku.

Tabulka 3.10. Kuželový záhlubník [20].

Záhlubník		Bez označení		T08	
Geometrické parametry					
d	D		L		
6 mm	10 mm		46 mm		
					



Zámečnická práce typu ruční sražení hran a odjehlení je provedeno pomocí škrabáků od firmy Noga a pneumatické stopkové mikro bruska HAZET 9032M. Údaje o nástrojích jsou uvedeny v tabulce 3.11.

Obrázek 3.11. Škrabák NOGA3 a mikro bruska HAZET 9032M [20, 21].

Škrabák		NOGA		R01
				
Mikro bruska		HAZET 9032M		R02
Technické údaje				
Kleština	Otáčky	Výkon	Hmotnost	
3 mm	0–60 000 min ⁻¹	190 W	0,23 kg	
				

Celkové rozměry součásti jsou kontrolovány posuvnými měřítky. Závitů jsou kontrolovány závitovým kalibrem. Příklady měřidel jsou zobrazeny v tabulce 3.12.

Tabulka 3.12. Kontrolní měřidla [22].

Posuvné měřítko		DIN 862		M1
				
Závitový kalibr M6		ČSN 25 4020		M2
				

Tabulka 3.13. Nástrojový list, konvenční obrábění.

Název nástroje	Průměr [mm]	Označení	Číslo nástroje	Strojní čas [min]
Fréza VBD	63	80A05R-S45SN12Z-C SNKT 1205AZSR-M	T01	16,42
Fréza VBD	40	40A03R-S45SN12Z-C SNKT 1205AZSR-M	T02	4,14
Fréza	12	Mill.12.ICE.INOX.HA	T03	1,17
Fréza	18	Mill.18.ICE.INOX.HA	T04	1,44
Fréza	30	DIN 844K	T05	9,15
Vrták	5	DIN 338	T06	1,68
Závitník	M6	DIN 371	T07	0,46
Záhlubník	10	Bez označení	T08	0,40

3.3 Obrábění na TOS F2V-R

Obrábění na konzolové frézce TOS F2V-R je uskutečněno v šesti upnutích. Řezné podmínky jsou voleny na základě doporučení z katalogů nástrojů.

V prvním upnutí je obrobek upnut do svěráku za rozměr 160 mm, je frézována čelní plocha nahrubo a následně na čisto nástrojem T01. V dalším upnutí je obrobek upnut za rozměr 17,5 mm obrobenu plochou směrem k pevné čelisti svěráku. Mezi neobrobenu plochu a pohyblivou čelist je vložen kovový váleček kvůli dodržení kolmosti. Obráběna je čelní plocha nástrojem T02. Následně je obrobek otočen a obdobně upnut, frézuje se čelní plocha nástrojem T02 nahrubo a následně na hotový rozměr součásti 150 h11. Ve čtvrtém upnutí je obrobek upnut za pomoci podložek za rozměr 150 mm, obrobek je při upínání poklepán kladívkem, aby správně dosedl. Je frézována čelní plocha nástrojem T01 na hotový rozměr součásti 15 h11. Boky součásti jsou frézovány na hotovou délku součásti 309 mm nástrojem T05. Drážky jsou frézovány pomocí monolitních karbidových fréz (T03 a T04), předtím je nutno obrobek orýsovat. Dále je obrobek upnut za rozměr 15 h11, vřeteno s nástrojem je vykloněno o 45° díky polohovatelnosti hlavy stroje. Frézováno je zkosení 10x45° nástrojem T05. Vřeteno je vytočeno na druhou stranu a je frézováno druhé zkosení stejným nástrojem. Před frézováním prvku výkroj pro kryt pásu je otočen svěrák o 90°. Vřeteno s nástrojem se vykloní ze základní polohy o 35°. Prvek je frézován nástrojem T05 v délce 168 mm. Stejným nástrojem se frézuje zkosení 2x45° opět za pomoci vyklonění vřetene. V posledním upnutí je obrobek upnut na stůl pomocí upínek a podložek. Obrobek je vyrovnán pomocí úchylkometru. Frézována je hrana výkroje pro kryt nástrojem T05.

3.4 Obrábění na DH 26-GT

Vrtání na stolní vrtačce je provedeno ve dvou upnutích. Obrobek je upnut pomocí upínek, dále jsou orýsovány díry, označí se důlčíky a jsou vrtány díry nástrojem T06. Díry jsou před řezáním zavitu zahloubeny nástrojem T08. Závit se řeže nástrojem T07 za pomoci pojistné závitořezné hlavy, aby nedošlo k zalomení závitníku a dosáhlo se požadované délky závitu. Ve druhém upnutí je obrobek upnut pomocí úhelníkového držáku, aby obrobek pevně držel a nevychýlil se z požadované polohy. Díry jsou orýsovány, označeny důlčíky a vrtány nástrojem T06. Následně je díra zahloubena a stejně jako v předchozím upnutí jsou za pomoci závitořezné hlavy řezány závity.

3.5 Zámečnická práce

Zámečnická práce spočívá v odjehlení a sražení hran. Hrany jsou odjehleny pomocí mikro brusky HAZET 9032 M a škrabáků od značky NOGA. Obrobek se odjehluje po obrobení v každém upnutí, nejlépe ještě ve svěráku, aby nedošlo k poranění obsluhy stroje. Rozměry součásti jsou kontrolovány pomocí posuvných měřitek a závitového kalibru. Kontrolována je i vizuální stránka součásti.

3.6 Technologický postup

Pro tuhle variantu výroby součásti je zhotoven technologický postup. Součást je zhotovena pomocí pásové pily, konzolové frézky a stolní vrtačky. Technologický postup je zobrazen v tabulce 4.14. Skládá se z označení, druhu a specifikace operace, příslušeného nástroje a strojní času.

Tabulka 3.14. Technologický postup, konvenční stroje.

Technologický postup 1		Název součásti: Deska upínače pásové pily		Číslo výkresu: N-03-312	
Vyhotovil: Straka David			Dne: 20.07.2021		Polotovarov: 315x160x20
Číslo operace	Stroj	Druh operace	Specifikace operace	Nástroj	Strojní čas [min]
10/10	-	Kontrola	Kontrolovat materiál	M1	
20/20	Pilous ARG 260 PLUS	Obrábění	Řezat přířezy 315 mm		2,81
30/30	TOS F2V-R	Obrábění	Upnout do svěráku za 160 mm	T01	3,76
			Frézovat nahrubo z 20 na 18 mm Frézovat načisto z 18 na 17,5 mm Odjehlít	T01	4,45
40/40	TOS F2V-R	Obrábění	Upnout za 17,5 mm	T02	1,38
			Frézovat nahrubo z 160 na 155,5 mm Frézovat na čisto z 155,5 na 155 mm	T02	0,69
50/50	TOS F2V-R	Obrábění	Otočit a upnout	T02	1,38
			Frézovat na hrubo z 155 na 150,5 mm Frézovat na čisto z 150,5 na 150 h11 Odjehlít	T02	0,69
60/60	TOS F2V-R	Obrábění	Upnout za 150 h11	T01	3,76
			Frézovat nahrubo z 17,5 na 15,5 mm	T01	4,45
			Frézovat na čisto z 15,5 na 15 h11	T05	0,64
			Frézovat délku součásti na 309 mm Frézovat drážku 28x18 do hloubky 7 mm (3x)	T04	1,44

			Frézovat drážku 22x12 skrz (3x) Odjehlit	T03	1,17		
70/70	TOS F2V-R	Obrábění	Upnout za 15 h11	T05	0,27		
			Otočit vřeteno o 45°				
			Frézovat 10x45°				
			Otočit vřeteno zpět o 90°				
			Frézovat 10x45°				
Otočit svěrák o 90°	T05	7,38					
Otočit vřeteno do polohy 35°							
Frézovat výkroj v délce 168 mm							
Otočit vřeteno do polohy 45°	T05	0,26					
Frézovat 2x45°							
Odjehlit							
80/80	TOS F2V-R	Obrábění	Upnout pomocí upínek Frézovat hranu výkroje v délce 168 mm	T05	0,33		
90/90	-	Zámečnická práce	Odjehlit Srazit hrany				
100/100	-	Kontrola	Kontrolovat celkové rozměry Kontrolovat rozměr drážek	M1			
110/110	DH 26-GT	Obrábění	Upnout pomocí upínek	T06	0,72		
			Vrtat díru ø 5 mm (2x)				
			Zahloubit díru (2x)			T08	0,20
Řezat závit M6 (2x)	T07	0,22					
120/120	DH 26-GT	Obrábění	Upnout pomocí úhelníkového držáku za 15 h11	T06	0,96		
			Vrtat díru ø 5 mm (2x)				
			Zahloubit díru (2x)			T08	0,20
			Řezat závit M6 (2x)			T07	0,24
130/130	-	Kontrola	Kontrolovat závity M6	M2			
140/140	-	Povrchová úprava	Černit				
150/150	-	Kontrola	Kontrolovat materiál Konečná kontrola rozměrů	M1			

4 Technologie výroby zaměřená na CNC zařízení

Součást v kapitole 3 je zhotovena pomocí konvenčních strojů. V této kapitole se přechází z obrábění na konvenčních strojích na nekonvenční obrábění pomocí CNC stroje.

4.1 HAAS VF-2SS

Obrábění je realizováno pomocí stroje HAAS VF-2SS, jejímž výrobcem je Haas Automation, Inc. Jedná se o americkou společnost, která má sídlo ve státě Kalifornii, Oxnardu. Společnost se řadí mezi špičku výrobců obráběcích strojů v USA [23].

Vertikální obráběcí centrum HAAS – VF-2SS je vysoce výkonný stroj, který nachází upotřebení jak u sériové výroby, tak i u velkoobjemové výroby díky pohotové výměně nástrojů. Zařízení nabízí vysoké rychloposuvy ve všech osách a otáčení vřetena, které dosahuje až 12 000 otáček za minutu. Mezi další přednosti stroje patří také vysoce rychlý boční zásobník určený nástrojům. Obráběcí centrum je zobrazeno na obrázku 4.1. a technické parametry jsou uvedeny v tabulce 4.1. [23].

Tabulka 4.1. Technické parametry VF-2SS [23].

Dráha pojezdu osy X	762 mm
Dráha pojezdu osy Y	406 mm
Dráha pojezdu osy Z	508 mm
Počet / rozměr / rozteč T-drážek	3 / 16 mm / 125 mm
Vzdálenost čela vřetene od plochy stolu	102-610 mm
Maximální výkon	22,4 kW
Maximální otáčky vřetene	12 000 ot./min (volitelně 15 000 ot./min)
Maximální kroutící moment vřetene	122 Nm
Hnací systém	Inline Direct-Drive
Rozměry stolu	914 x 356 mm
Maximální zatížení stolu	680 kg
Rychloposuv X, Y, Z	35,6 m/min
Kapacita zásobníku	30+1 ks
Maximální průměr nástroje	64 mm
Maximální délka nástroje	279 mm
Maximální hmotnost nástroje	5,4 kg
Objem chladicí kapaliny	208 l



Obrázek 4.1. Obráběcí centrum VF-2SS [23].

4.2 Nástroje

Nástroje jsou voleny obdobně podle třídy obrobitelnosti jako v kapitole 3. Označeny jsou podle pořadí, jak se nacházely v zásobníku nástrojů. Řezné podmínky jsou voleny na základě doporučených řezných podmínek z katalogů nástrojů a zkušeností operátora stroje.

Pro čelní frézování je zvolena čelní nástrčná fréza 63A05R-S45SN12Z-C od firmy Dormer Pramet s vyměnitelnou břitovou destičkou SNKT 1205AZSR-M. Parametry a řezné podmínky nástroje jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Tabulka 4.2. Čelní fréza 63A05R-S45SN12Z-C s VBD SNKT 1205AZSR-M [17].

Čelní fréza	63A05R-S45SN12Z-C	T01				
Geometrické parametry						
dH7	d ₁	L	D	D ₁	b	t
22 mm	18 mm	40 mm	63 mm	78 mm	10,4 mm	6,3 mm

VBD		SNKT 1205AZSR-M		T01	
Geometrické parametry					
d	s	d ₁		a _{pmax}	
12,7 mm	5,56 mm	5,2 mm		6,5 mm	
Řezné podmínky					
	a _e	a _p	n	v _f	
Dokončování	50,5 mm	0,5 mm	2500 min ⁻¹	1300 mm·min ⁻¹	
Hrubování	50,5 mm	1,5 mm	1500 min ⁻¹	1300 mm·min ⁻¹	


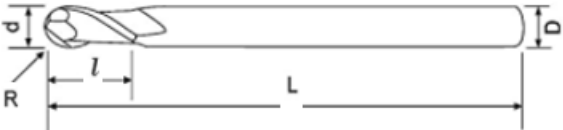
Monolitní fréza o průměru 16 mm je použita k frézování obvodu součásti, fréza o průměru 12 mm je využita u obrábění větší drážky. Monolitní fréza o průměru 8 mm je použita u frézování menší drážky a výkroje pro kryt. Důležité údaje o nástrojích a řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 4.3.

Tabulka 4.3. Monolitní frézy [24].

Monolitní fréza		EMCA 0300M 1600		T05	
Geometrické parametry					
d ₁	d ₂	d ₃	l ₁	l ₂	l ₃
16 mm	16 mm	15,8 mm	92 mm	32 mm	12 mm
Řezné podmínky					
a _e	a _p	n		v _f	
16 mm	2,4 mm	3300 min ⁻¹		1200 mm·min ⁻¹	
Monolitní fréza		EMCA 0300M 1200		T09	
Geometrické parametry					
d ₁	d ₂	d ₃	l ₁	l ₂	l ₃
12 mm	12 mm	11,5 mm	83 mm	26 mm	12 mm
Řezné podmínky					
a _e	a _p	n		v _f	
3,5 mm	1 mm	4800 min ⁻¹		1000 mm·min ⁻¹	
Monolitní fréza		EMCA 0300M 0800		T10	
Geometrické parametry					
d ₁	d ₂	d ₃	l ₁	l ₂	l ₃
8 mm	8 mm	7,6 mm	63 mm	19 mm	8 mm
Řezné podmínky					
	a _e	a _p	n	v _f	
Výkroj	0,8 mm	1 mm	5500 min ⁻¹	1000 mm·min ⁻¹	
Drážka	0,5 mm	0,6 mm	4800 min ⁻¹	1000 mm·min ⁻¹	


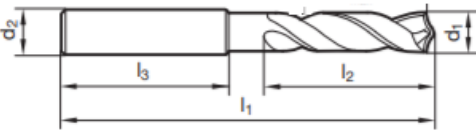
Kulová fréza P-SB0802T o průměru 6 mm je použita v dokončovací operaci u výkroje krytu. Geometrické parametry a řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 4.4.

Tabulka 4.4. Kulová fréza P-SB0802T [25].

Kulová fréza		P-SB0802T		T19	
Geometrické parametry					
d	R	l	L	D	
6 mm	3 mm	12 mm	50 mm	6 mm	
Řezné podmínky					
n			V _f		
12000 min ⁻¹			3000 mm·min ⁻¹		
					
					

Vrták GUHRING o průměru 11 mm je použit při vrtání děr pro následné frézování drážek. Menší vrták je využit při vrtání děr pro závit. Jejich technické údaje a řezné podmínky jsou v tabulce 4.5.

Tabulka 4.5. Vrtáky GUHRING DIN 6537 K [26].

Vrták		GUHRING DIN 6537 K		T17	
Geometrické parametry					
d ₁	d ₂	l ₁	l ₂	l ₃	
11 mm	12 mm	102 mm	55 mm	45 mm	
Řezné podmínky					
n			f		
2800 min ⁻¹			400 mm·min ⁻¹		
Vrták		GUHRING DIN 6537 K		T16	
Geometrické parametry					
d ₁	d ₂	l ₁	l ₂	l ₃	
5,6 mm	6 mm	66 mm	30 mm	36 mm	
Řezné podmínky					
n			f		
5150 min ⁻¹			400 mm·min ⁻¹		
					
					

Srážeč hran o průměru 12 mm je použit k normalizovanému sražení hran součásti. Menší srážeč hran o průměru 8 mm je využit při sražení hran drážek.

Tabulka 4.6. Srážeče hran [26].

Srážeč GUHRING				T15	
Geometrické parametry					
d_1	d_2	l_1	l_2	z	
12 mm	12 mm	83 mm	10,4 mm	4	
Srážeč GUHRING				T14	
Geometrické parametry					
d_1	d_2	l_1	l_2	z	
8 mm	12 mm	63 mm	7 mm	4	

Ke zhotovení závitů je použit tvářecí závitník SPANLOS NEO CNC SN 69BCF0026. Nástroje pro kontrolu rozměrů jsou obdobné jako v kapitole 3.

Tabulka 4.7. Závitník tvářecí SPANLOS NEO CNC SN 69BCF0026 [27].

Závitník	SPANLOS NEO CNC SN 69BCF0026				T18	
Geometrické parametry						
d_1	l_1	l_2	l_3	d_2	a	
M6	80 mm	10 mm	30 mm	6 mm	4,9 mm	
Řezné podmínky						
n			f			
320 min ⁻¹			320 mm·min ⁻¹			

Tabulka 4.8. Nástrojový list VF-2SS.

Název nástroje	Průměr [mm]	Označení	Upnutí	Číslo nástroje	Strojní čas [min]
Fréza VBD	63	63AO5R-S45SN12Z-C SNKT 1205AZSR-M	Weldon	T01	6,63
Fréza	16	EMCA 0300M 1600	Weldon	T05	3,33
Fréza	12	EMCA 0300M 1200	Weldon	T09	0,72
Fréza	8	EMCA 0300M 0800	Weldon	T10	5,48
Fréza	6	P-SB0802T	Weldon	T19	3,66
Vrták	11	GUHRING DIN 6537 K	ER32	T17	0,45
Vrták	5,6	GUHRING DIN 6537 K	ER32	T16	0,63
Srážec	12	GUHRING	ER32	T15	0,98
Srážec	8	GUHRING	ER32	T14	0,25
Závitník	6	SPANLOS NEO CNC SN 69BCF0026	ER32	T18	0,73

4.3 Upnutí obrobku

Polotovár musí být pevně uchycen, aby při obrábění nedošlo k jeho vychýlení. Pro upnutí obrobku je použit strojní svěrák JQV-160 s mechanickým posilovačem. Svěrák je vyroben z tvárné litiny. Maximální rozevření svěráku je 305 mm, šířka čelistí 160 mm a výška čelistí 60 mm. Všechny rozměry jsou zhotoveny s tolerancí do 0,02 mm. Na pracovní stůl lze upnout více svěráků současně. V tomto případě jsou použity svěráky dva. Na obrázku 4.2. je zobrazen tento typ svěráku. Během obrábění je nutno s polotovarem manipulovat, neboť součást je zhotovena na tři upnutí [28].



Obrázek 4.2. Svěrák JQV-160 [28].

4.4 Obrábění na VF-2SS

Po propojení programu se strojem se spustí program. Polotovár je upnut do svěráku, je upnut první nástroj, a to čelní fréza o průměru 63 mm, označená T01 v nástrojovém listu (tabulka 4.8.). Frézována je čelní plocha obrobku na čisto. Výměna nástrojů je prováděna rovněž pomocí vytvořeného programu. Polotovár je upnut za zbytkovou plochu a je tedy možné frézovat nástrojem T05 obvod obrobku. Nástrojem T10 je frézován tvarově nejsložitější prvek – výkroj pro kryt, který je v následující operaci obráběn dokončovacím nástrojem T19. Pro frézování drážek je předvrtána díra vrtákem o průměru 11 mm (T17). Následně jsou

frézovány drážky. Větší drážka je frézována monolitní frézou o průměru 12 mm (T09). Menší drážka je frézována nástrojem T10. Srážecem označeným T15 jsou sraženy kompletně hrany obrobku s výjimkou hran u menší drážky, tam je sražení provedeno nástrojem T14. Způsob prvního upnutí je zobrazen na obrázku 5.3.



Obrázek 5.3. První upnutí obrobku.

Poté, co je obrobek upnut podruhé je hrubována čelní plocha nástrojem T01. Stejným nástrojem je provedeno frézování čelní plochy na čisto s jinými reznými podmínkami. Vrtákem o průměru 5,6 mm (T16) jsou vrtány díry pro závit, u kterých jsou nejprve sraženy hrany srážecem o průměru 12 mm (T15). V posledním kroku tohoto upnutí jsou tvářeny závity nástrojem T18. Obrobek uvolněn ze svěráku. V poslední fázi obrábění je obrobek upnut na výšku, kdy je potřeba zkontrolovat sevření, aby se obrobek při operaci nevychýlil ze své polohy. Dále jsou vrtány díry pro závity nástrojem T16, sraženy hrany nástrojem T15 a následně tvářeny závity nástrojem T18. V závěru je potřeba se zbavit otřepů a kontrolují se celkové rozměry součásti, tvarových prvků, závitů a vizuálně povrch. Nástroje pro kontrolu rozměrů jsou uvedeny v kapitole 4.



Obrázek 5.4. Druhé upnutí obrobku.

4.5 Technologický postup zaměřený na CNC

Pro druhou variantu výroby součásti je zhotoven technologický postup. Obrábění včetně výměny nástrojů je řízeno programem N-03-312_F, naprogramovaném v softwaru EDGECAM. NC kódy jsou nahrány v přílohách 2-4.

Tabulka 4.9. Technologický postup CNC.

Technologický postup 2				
Název součásti: Deska upínače pásové pily		Číslo výkresu: N-03-312		Program: N-03-312_F
Vyhotovil: Straka David		Dne: 20.07.2021		Polotovar: 315x157x20
Číslo operace	Stroj	Druh operace	Specifikace operace	Strojní čas [min]
10/10	-	Kontrola	Kontrolovat materiál	
20/20	Pilous ARG 260 PLUS	Obrábění	Řezat materiál na délku 315 mm	2,81
30/30	VF-2SS	Obrábění	Frézovat čelní plochu	1,40
			Frézovat obvod	3,33
			Frézovat výkroj pro kryt	7,48
			Vrtat díru pro frézování drážky	0,45
			Frézovat drážky	2,79
		Srazit hrany	0,97	
m40/40	VF-2SS	Obrábění	Frézovat čelní plochu	5,23
			Vrtat díry	0,27
			Srazit hrany děr	0,13
		Tvářet závity	0,37	
50/50	VF-2SS	Obrábění	Vrtat díry	0,37
			Srazit hrany děr	0,13
			Tvářet závity	0,37
60/60	-	Zámečnická práce	Zbavit otřepů	
70/70	-	Kontrola	Kontrolovat celkové rozměry	
80/80	-	Povrchová úprava	Černit	
90/90	-	Kontrola	Konečná kontrola	

5 Srovnání variant výroby součásti

Tato kapitola se zabývá porovnáním jednotlivých výrobních postupů především z hlediska časové náročnosti. Strojní časy konvenčního obrábění byly naměřeny při procesu nebo dopočteny z výpočtových vztahů v kapitole 2. Strojní čas při obrábění na CNC stroji byl vyhodnocen přístrojem. Vedlejší čas je závislý na více faktorech. Čas je ovlivněn počtem upnutí obrobku, výměnou nástrojů, kontrolou, manipulací s obrobkem a dalších nezbytných operací. Vedlejší čas u konvenčního obrábění je stanoven odborným odhadem operátora stroje a dle normativních tabulek v hodnotě 0,9 násobku strojního času. Vedlejší čas u CNC zařízení byl stanoven na 8 minut. Časy jsou uvedeny v tabulce 5.1. včetně jednotkového času, který je součtem strojního a vedlejšího času.

Tabulka 5.1. Jednotkové časy při výrobě součásti.

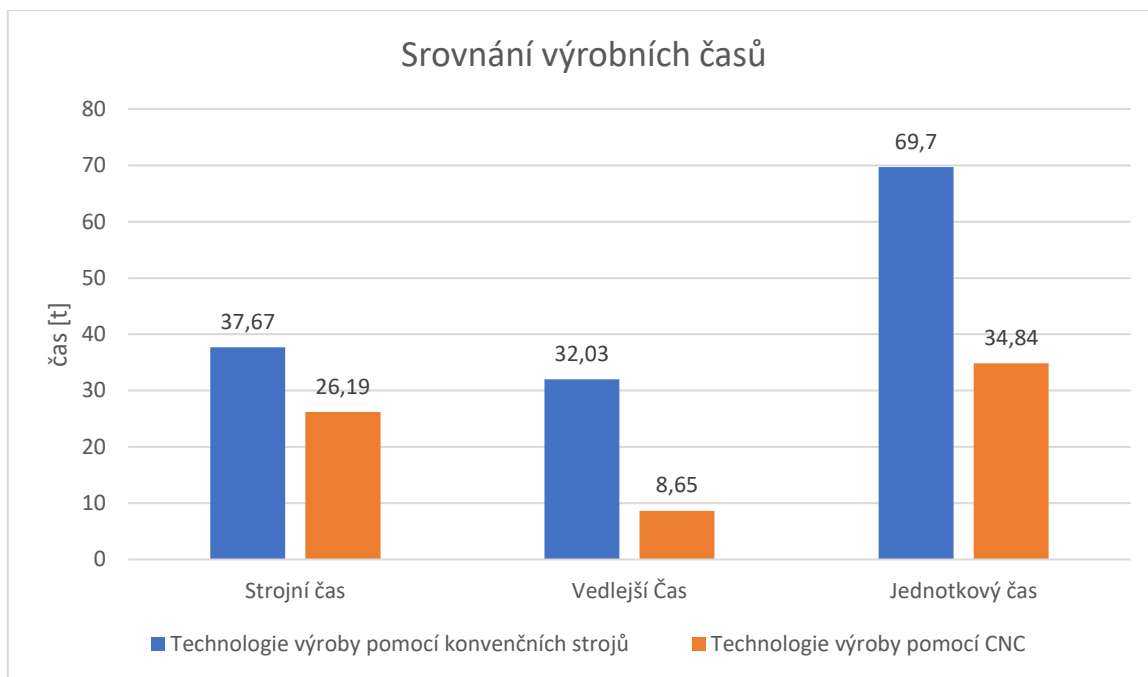
Stroj	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]	Jednotkový čas [min]
Pilous ARG 260 Plus	2,81	0,65	3,46
TOS VF2-R	32,32	29,09	61,41
OPTIdrill DH 26 GT	2,54	2,29	4,83
HAAS VF-2SS	23,38	8,00	31,38

V návaznosti na tabulku 5.1. je vytvořena tabulka 5.2. s jednotlivými časy pro oba výrobní postupy. První výrobní postup byl založen na obrábění pomocí konvenčních strojů. Materiál je dělen pásovou pilou Pilouas ARG 260 Plus a obráběn na konzolové frézce TOS VF2-R a stolní převodové vrtačce OPTIdrill DH 26 GT. Jednotlivé strojní časy strojů jsou sečteny a uvedeny v tabulce 5.2. To samé lze říci o vedlejších a jednotkových časech. Druhý výrobní postup byl založen na obrábění pomocí CNC stroje HAAS VF-2SS. Materiál je dělen stejnou pásovou pilou. Celkové časy jsou určeny obdobně jako v předchozím výrobním postupu.

Tabulka 5.2. Jednotkové časy jednotlivých výrobních postupů.

Výrobní postup	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]	Jednotkový čas [min]
Technologie výroby pomocí konvenčních strojů	37,67	32,03	69,7
Technologie výroby pomocí CNC	26,19	8,65	34,84

Největší rozdíl mezi jednotlivými výrobními postupy je tvořen vedlejším časem. Při konvenční výrobě součásti je hodnota vedlejšího času o 23,38 minut větší. Tento faktor je zejména ovlivněn počtem upnutí na konvenčních strojích, ručním sražením hran, dále pak nutností ruční výměny nástrojů a dalších operací. Na CNC stroji jsou nástroje měněny strojově. Hrany ve druhém výrobním postupu jsou rovněž srazeny strojově. Materiál součásti je pro obě varianty stejný, proto jsou voleny v obou případech běžné nástroje dle obrobitelnosti materiálu. Na obrázku 5.1. jsou porovnány jednotlivé časy pro obě výrobní varianty.



Obrázek 5.1. Srovnání výrobních časů jednotlivých variant.

6 Technicko-ekonomické zhodnocení

Tato část diplomové práce se zabývá ekonomickým a technickým zhodnocením dvou výrobních postupů výroby součástí. Oba ukazatelé jsou zásadní při volbě výhodnější varianty. V ekonomickém zhodnocení se promítnou především výrobní náklady spojené s provozem stroje, obsluhou stroje, povrchovou úpravou a potřebnými nástroji. Technické hodnocení se zabývá především porovnáním časové náročnosti obou variant a doporučeními k zefektivnění výroby.

6.1 Ekonomické zhodnocení

V ekonomickém zhodnocení jsou varianty porovnány z hlediska výrobních nákladů a je určeno výhodnější výrobní řešení z peněžního hlediska.

6.1.1 Náklady spojené s provozem stroje

Výrobní postupy se týkají stejné součásti a jsou si do jisté míry podobné, proto se jednotlivé operace nebudou mezi sebou porovnávat a bude brán v potaz celkový strojní čas práce na daném stroji. Pro výpočet nákladů pro provoz stroje je užit vztah [29]:

$$N_h = S + \frac{C - L + N_i + N_d}{Z \cdot E_e} \quad [\text{Kč}] \quad (6.1)$$

kde:

S	[Kč·h ⁻¹]	Fixní hodinová sazba
Z	[h]	Doba životnosti
E _e	[h]	Efektivní fond zařízení za rok
C	[Kč]	Pořizovací cena stroje
L	[Kč]	Likvidační hodnota stroje
N _i	[Kč]	Náklady na instalaci stroje
N _d	[Kč]	Náklady na demontáž stroje

Vzhledem k náročnosti vztahu a samotnému určení všech parametrů u jednotlivých strojů jsou určeny doporučené hodinové sazby na provoz stroje. V tabulce 6.1. jsou uvedeny hodinové sazby strojů společně s jejich časovým vytižením na výrobu jednoho kusu.

Tabulka 6.1. Hodinové sazby strojů.

Stroj	Hodinová sazba na provoz stroje N _h [Kč]	Strojní čas [min]
Pilous ARG 260 Plus	425	2,81
TOS VF2-R	590	32,32
OPTIdrill DH 26 GT	540	2,54
HAAS VF-2SS	1000	23,38

Vztah pro výpočet výrobních nákladů pro jeden kus [29]:

$$N = \frac{N_h \cdot T_x}{60} \quad [\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}] \quad (6.2)$$

kde:

N _h	[Kč]	Náklady na hodinový provoz stroje
T _x	[min]	Strojní čas

V tabulce 6.2. jsou vypočítané výrobní náklady jednoho kusu výrobku pro jednotlivé stroje. Ve výpočtu se vychází ze vztahu 6.2.

Tabulka 6.2. Výpočet nákladu stroje na výrobu jednoho kusu.

Stroj	Hodinová sazba na provoz stroje N_h [Kč]	Strojní čas T_x [min]	Náklady na jeden kus [Kč]
Pilous ARG 260 Plus	425	2,81	19,90
TOS VF2-R	590	32,32	317,84
OPTIdrill DH 26 GT	540	2,54	22,86
HAAS VF-2SS	1000	23,38	389,67

Stroje jsou zařízení vyžadující obsluhu operátora, proto nestačí určit pouze výrobní náklady stroje, ale je nutno určit náklady na operátora zařízení. Hodinové mzdy pracovníka nejsou u všech strojů stejné, neboť určité stroje vyžadují jinou kvalifikaci a z toho plynoucí finanční ohodnocení. V tabulce 6.3. jsou uvedeny stanovené hrubé mzdy pracovníků a vypočítané náklady na dané pozici operátora pro výrobu jednoho kusu výrobku.

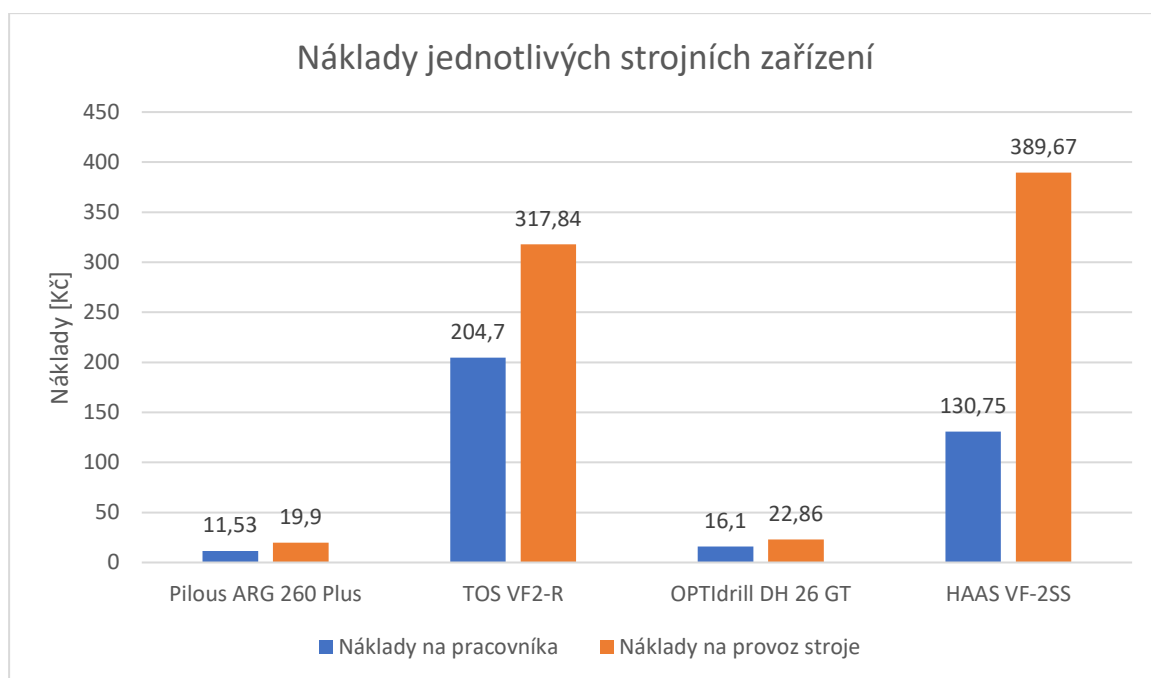
Tabulka 6.3. Náklady na operátora stroje.

Stroj	Hodinová mzda pracovníka [Kč]	Jednotkový čas [min]	Náklady na pracovníka [Kč]
Pilous ARG 260 Plus	200	3,46	11,53
TOS VF2-R	200	61,41	204,70
OPTIdrill DH 26 GT	200	4,83	16,10
HAAS VF-2SS	250	31,38	130,75

V tabulce 6.4. jsou vypočítány celkové strojní náklady na výrobu jednoho kusu výrobku. Ve výpočtu jsou zahrnuty náklady na pracovníka a provoz stroje.

Tabulka 6.4. Celkové náklady spojené s provozem strojů.

Stroj	Náklady na pracovníka [Kč]	Náklady na provoz stroje [Kč]	Celkem [Kč]
Pilous ARG 260 Plus	11,53	19,90	31,43
TOS VF2-R	204,70	317,84	522,54
OPTIdrill DH 26 GT	16,10	22,86	38,96
HAAS VF-2SS	130,75	389,67	520,42

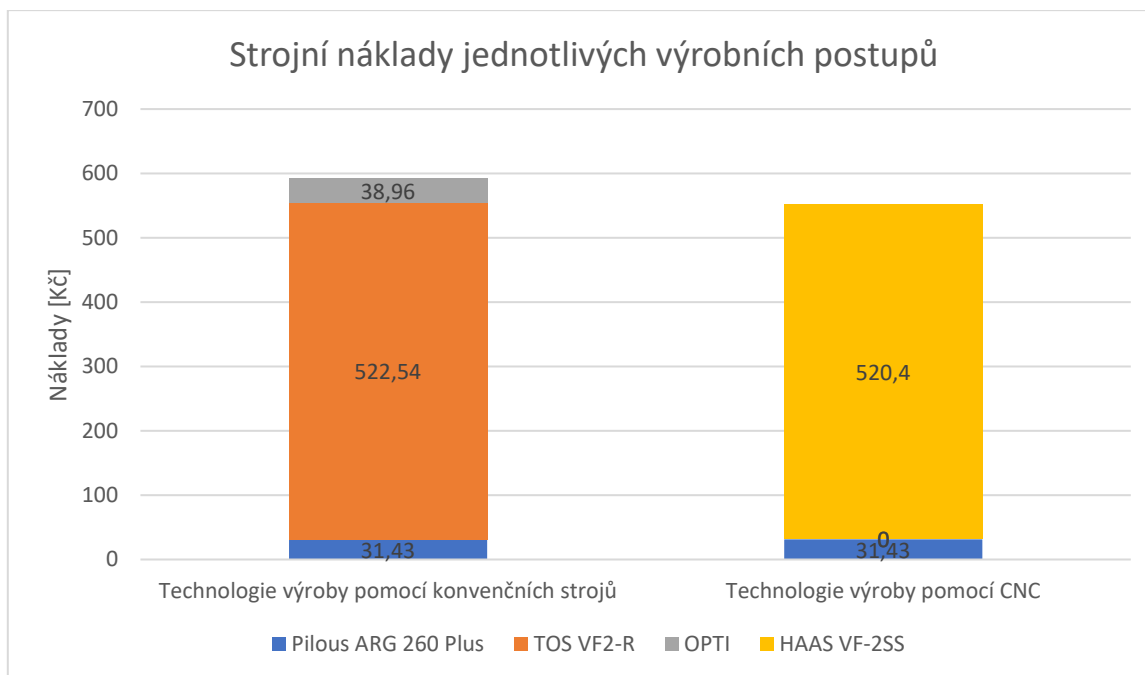


Obrázek 6.1. Náklady jednotlivých strojních zařízení.

Strojní náklady jednotlivých výrobních variant jsou uvedeny v tabulce 6.5. a znázorněny v grafu na obrázku 6.2. Každá z metod výroby obsahuje příslušné strojní náklady spojené s výrobou jednoho kusu. Celková úspora druhé výrobní varianty s použitím CNC zařízení je 41,08 Kč na jeden kus výrobku.

Tabulka 6.5. Výrobní strojní náklady jednotlivých variant.

Stroj	Technologie výroby pomocí konvenčních strojů [Kč]	Technologie výroby pomocí CNC [Kč]
Pilous ARG 260 Plus	31,43	31,43
TOS VF2-R	522,54	-
OPTIdrill DH 26 GT	38,96	-
HAAS VF-2SS	-	520,42
Celkem	592,93	551,85



Obrázek 6.2. Strojní náklady jednotlivých metod.

6.1.2 Náklady na nástroje

Pro porovnání obou variant vzhledem k finanční náročnosti na nástroje je sestavena tabulka 6.7. Výsledná cena nástrojů je rovna součtu cen jednotlivých nástrojů. Druhý výrobní postup z pohledu výběru nástrojů je o 3616 Kč levnější.

Tabulka 6.7. Náklady na nástroje.

Nástroje pro konvenční stroje	
Nástroj	Cena [Kč]
T01	10088
T02	6766
T03	1265
T04	2531
T05	3519
T06	220
T07	429
T08	150
Celkem	24 968

Nástroje pro výrobu na CNC	
Nástroj	Cena [Kč]
T01	9256
T05	3237
T09	1868
T10	946
T19	975
T17	850
T16	380
T15	1200
T14	1950
T18	690
Celkem	21 352

6.1.3 Náklady na povrchovou úpravu

Mezi výrobní náklady se počítají rovněž náklady na povrchovou úpravu. Součást byla černěna. Celková cena za povrchovou úpravu je u obou variant 100 Kč. Celková cena je závislá na hmotnosti dílce a ceně černění za kilogram materiálu.

Tabulka 6.8. Náklady na černění.

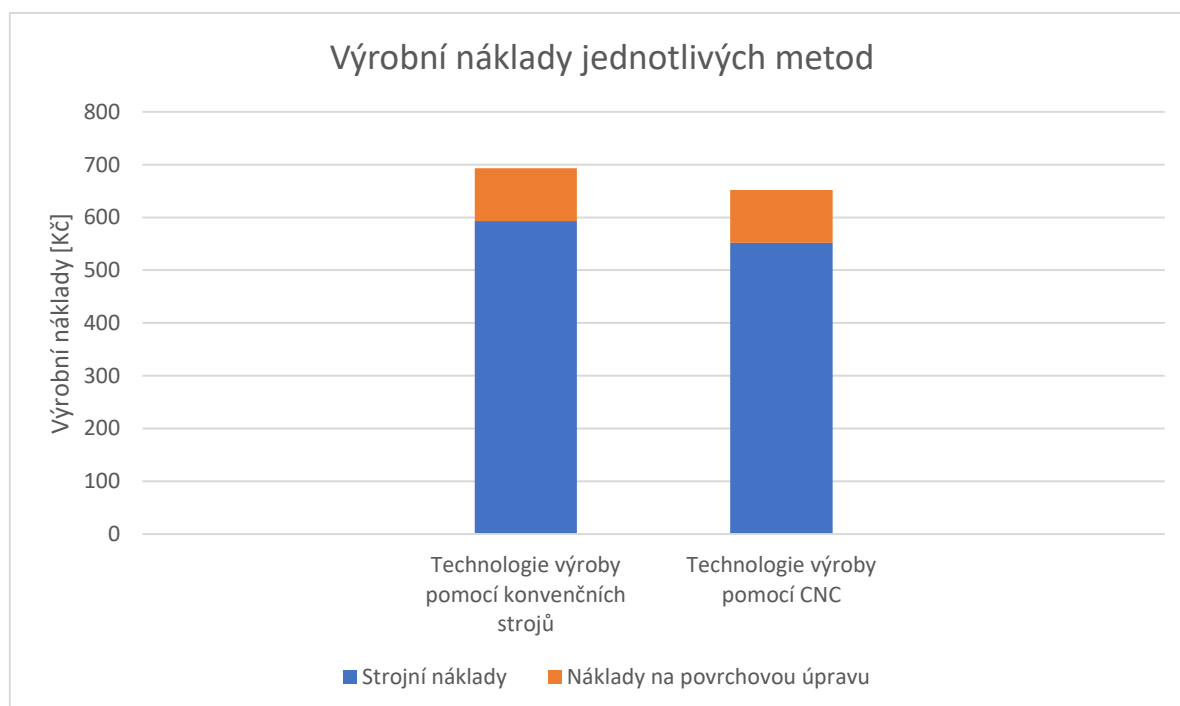
Výrobní postup	Cena na kg [Kč·kg ⁻¹]	Hmotnost výrobku [kg]	Cena celkem [Kč]
Technologie výroby pomocí konvenčních strojů	20	5	100
Technologie výroby pomocí CNC	20	5	100

6.1.4 Celkové výrobní náklady

Celkové výrobní náklady na výrobu jednoho kusu se skládají z celkových strojních nákladů a z nákladů na povrchovou úpravu výrobku. Ekonomické zhodnocení obou variant je znázorněno v grafu na obrázku 6.3. a hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.9. Celkové výrobní náklady první varianty výroby jsou 692,93 Kč. Výrobní postup zaměřený na CNC zařízení je ohodnocen v podobě 651,85 Kč. Druhá výrobní varianta je o 41,08 Kč levnější při výrobě jednoho kusu.

Tabulka 6.9. Celkové výrobní náklady.

Druh nákladu	Technologie výroby pomocí konvenčních strojů	Technologie výroby pomocí CNC
Strojní náklady [Kč]	592,93	551,85
Náklady na černění [Kč]	100	100
Celkové výrobní náklady [Kč]	692,93	651,85



Obrázek 6.3. Graf srovnání výrobních nákladů.

6.2 Technické zhodnocení

Částečné porovnání a technické zhodnocení obou postupů výroby je uvedeno již v kapitole 5. Výrobní postup zaměřený na CNC zařízení je časově úspornější z hlediska strojního, vedlejšího i jednotkového času. Materiál je pro oba výrobní postupy zvolen stejný se stejnou obrobiteľností. Z hlediska obrobiteľnosti jsou voleny běžné nástroje s doporučenými řeznými podmínkami. Povrchovou úpravou se docílilo jednotného povrchu černé barvy a rovněž se zvýšila odolnost výrobku proti korozi a odolnost proti opotřebení.

Pokud by bylo vyráběno více kusů výrobku lze docílit zefektivnění výroby pomocí konvenčních strojů. Některé z operací lze dělat pro více obrobků současně. Například při obrábění zkosení $10 \times 45^\circ$ je možno upnout více obrobků za sebou, patřičně vyrovnat a frézovat je postupně. Podobného zefektivnění lze dosáhnout i při vrtání děr na stolní vrtačce. Těmito úkony by se snížil vedlejší čas.

Výrobní varianta zaměřená na CNC zařízení je výhodnější jak z ekonomického, tak technického hlediska. Z pohledu strojního času je dosaženo časové úspory 11,48 minut. Čas potřebný k obsluze stroje a provedení dalších nezbytných operací je rovněž nižší. Tyto faktory se promítli v ekonomickém hodnocení. Výrobní postup pomocí CNC stroje je finančně úspornější o 41,08 Kč.

7 Závěr

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh technologií pro výrobu součásti deska upínače pásové pily. Cílem práce bylo navrhnout a zhodnotit výrobní technologie na zhotovení součásti pomocí konvenčních strojů a CNC zařízení.

Práce se zabývá výrobou dílu pásové pily na kov. V úvodu práce jsou popsány vybrané typy pásových pil na kov. Další část se věnuje popisu součásti, včetně zvoleného materiálu a třídy obrobitelnosti materiálu součásti. V závěru této kapitoly je určen vhodný polotovar.

V další teoretické části je pozornost zaměřena na technologie potřebné ke zhotovení součásti. Jsou podrobně popsány technologie frézování, vrtání a povrchové úpravy černěním.

Kapitola třetí se věnuje návrhu technologie výroby součásti pomocí konvenčních strojích. Jsou zvoleny tři stroje. Polotovar je dělen na pásové pile Pilous ARG 260 Plus, následně je obráběn na konzolové frézce TOS VF2-R a stolní převodové vrtačce OPTIdrill DH 26 GT. Vzhledem k obrobitelnosti materiálu jsou voleny běžné rezné nástroje. Rezné podmínky jsou voleny na základě katalogových doporučení.

V návaznosti na kapitolu 3 je v páté kapitole navržen výrobní postup zaměřený na CNC zařízení. Jako v předchozí kapitole je polotovar dělen pomocí pásové pily Pilous ARG 260 Plus, následně obráběn na CNC stroji HAAS VF-2SS. Rezné podmínky jsou určeny operátorem stroje a rezné časy naměřeny zařízením. Obrábění je řízeno programem, který je navržen v softwaru EDGECAM. V poslední části výroby je součást povrchově upravena černěním.

V závěru diplomové práce je provedeno srovnání a technicko–ekonomické zhodnocení obou variant výroby. Jsou porovnány jednotlivé výrobní časy a náklady potřebné na zhotovení výrobku. Z hlediska efektivity je výhodnější výrobní postup zaměřený na CNC zařízení. Z pohledu strojního času je druhá výrobní varianta výhodnější o 11,48 minut. Sečtením strojních a vedlejších časů jsou vyjádřeny jednotkové časy, kdy druhá varianta je o 34,86 minut úspornější. Výrobou součásti na CNC stroji je ušetřeno 41,08 Kč.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Pásové pily. ELUC [online]. [cit. 2021-8-9]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1954>
- [2] Pásové pily na kov [online]. Liberec: Artweld [cit. 2021-8-9]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/dokument/hIoZsKPJc0OzcWV7>
- [3] Profesionální pásové pily na kov a dřevo [online]. Brno: PILOUS, 2016 [cit. 2021-8-9]. Dostupné z: <https://www.pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/manualni/arg-105-mobil>
- [4] PILOUS pásová pila na kov ARG 300 CF-NC AUTOMAT. *Pásové pily na kov* [online]. KARAS, 2021 [cit. 2021-8-12]. Dostupné z: https://www.karas.cz/catalog/pasove-pily-na-kov/pilous/automaticke-pasove-pily/pilous-pasova-pila-na-kov-arg-300-cf-nc-automat-arg_300cfncs_auto
- [5] Chemické složení [online]. Pardubice: T-PROM, 2015 [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/wiki/ocel/11523>
- [6] Nelegovaná konstrukční jemnozrná ocel [online]. [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLt43w9y1W_Xp75N8MGgz73w
- [7] Obrobitelnost materiálů [online]. [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/EMO_kapitola_06.pdf
- [8] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část* [online]. Brno, 2003 [cit. 2021-8-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf
- [9] HOZA, Jiří. Obrobitelnost materiálů. [Http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/etr_technologicke_procesy/ETR_cviceni_03/Tabulky_obrobitelnosti.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/etr_technologicke_procesy/ETR_cviceni_03/Tabulky_obrobitelnosti.pdf) [online]. Brno [cit. 2021-8-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/etr_technologicke_procesy/ETR_cviceni_03/Tabulky_obrobitelnosti.pdf
- [10] ZEMČÍK, Oskar. Technologické procesy [online]. Brno [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnProcesy.pdf>. Učební text. Vysoké Učení technické v Brně.
- [11] DRIML, Bohuslav. Polotovary [online]. [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/attachments/414/1.Polotovary-prehled_a_znacen_.pdf
- [12] Technologie II - 2.díl [online]. Ostrava: VŠB [cit. 2021-8-9]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
- [13] Základní způsoby frézování. ELUC [online]. ELUC [cit. 2021-8-9]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1226>
- [14] Černění oceli. BRITRADE [online]. Zlín: BRITRADE [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <http://www.britrade.cz/novinky-blog/60-cerneni-clanek-1>

- [15] PILOUS pásová pila na kov ARG 260 PLUS. Pásové pily, pilové pásy [online]. Mýto: KARAS, 2021 [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: https://www.karas.cz/catalog/pasove-pily-na-kov/pilous/gravitacni-pasove-pily/pilous-pasova-pila-na-kov-arg-260-plus-arg_260_plus
- [16] Konzolová frézka F2V-R [online]. Olomouc: TOS Olomouc [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://www.tos-olomouc.cz/cz/vyrobn-program/univerzalni-produkci-frezky/konzolova-frezka-f2v-r/>
- [17] Stolní převodová vrtačka OPTIdrill DH 26 GT. <https://www.naradiprofesional.cz/204786-bow-3034220-stolni-prevodova-vrtacka-optidrill-dh-26-gt> [online]. Hodonín: PROFESIONAL [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://www.naradiprofesional.cz/204786-bow-3034220-stolni-prevodova-vrtacka-optidrill-dh-26-gt>
- [18] Dormer Pramet [online]. Šumperk: Dormer Pramet, 2021 [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://www.dormerpramet.com/cs-cz/pages/default.aspx>
- [19] OCTOPUSTOOLS [online]. Říčany: OCTOPUSTOOLS, 2017 [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://www.octopustools.com/>
- [20] Katalog [online]. Bučovice: BUČOVICE TOOLS, 2015 [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://www.kovonastroje.cz/out/media/bu%C4%8Dovice2014-2015.pdf>
- [21] Mikro bruska HAZET 9032M. Vybavení pro servisy [online]. Praha: UNIVER [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://www.univer.cz/pneumaticka-stopkova-mikro-bruska-hazet-9032m-id5029>
- [22] Nástroje [online]. Útěchov: MT nástroje [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://www.mt-nastroje.cz/Posuvne-meritko-digitalni-500x100-0-01mm-d15756.htm>
- [23] VF-2SS. HAASCNC [online]. HAAS [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://aemqas.haascnc.com/cs/machines/vertical-mills/vf-series/models/small/vf-2ss.html>
- [24] Cutting tools [online]. Tenhult: Tentool AB [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://www.yourvismawebste.com/tentool-ab/lang-SV/shop/product/ice-mill-emca0300m1600>
- [25] Cutting tools [online]. Mexico: MISUMI [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://mx.misumi-ec.com/en/vona2/detail/223006512304/?HissuCode=P-SB0802T>
- [26] GUHRING [online]. GUHRING [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://guehring.com/cs/>
- [27] Noris CNC HealixPRo. EVO IG [online]. [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: https://evo-ig.com/wp-content/uploads/2018/09/Catalogo-EVOxNORIS-REIME_CNC.pdf
- [28] Přesný strojní svěrák s mech. posilovačem JQV-160. Strojní svěráky [online]. Hvozdná: VABEX [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://www.shop.strojniveraky.cz/produkty/presny-strojni-sverak-s-mech-posilovacem-jqv-160-detail>

[29] OSIČKA, Karel. Technologické a ekonomické aspekty provozu CNC obráběcích strojů [přednáška]. In: Brno [cit. 2021-08-08]

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka	Jednotka	Popis
a	[m]	Šířka polotovaru
b	[m]	Výška polotovaru
CNC	[-]	Computer numerical control
CCD	[-]	Charge-coupled device
D	[mm]	Průměr nástroje
f_z	[mm]	Posuv na zub
k_{ma}	[-]	Koeficient využití materiálu
L	[mm]	Dráha nástroje ve směru posuvu
l	[mm]	Délka obráběné plochy
l_n	[mm]	Délka náběhu
l_p	[mm]	Délka přeběhu
l_u	[m]	Šířka přířezu
l_s	[m]	Délka polotovaru
l_k	[m]	Délka nevyužitého konce
N_m	[kg.ks ⁻¹]	Norma spotřeby materiálu
n	[min ⁻¹]	Otáčky nástroje
n_a	[ks]	Počet přířezů
Q_s	[kg]	Hmotnost hotové součásti
Q_p	[kg]	Hmotnost polotovaru
q_0	[kg.ks ⁻¹]	Ztráty vzniklé obráběním
q_u	[kg.ks ⁻¹]	Ztráty vzniklé prořezem
q_k	[kg.ks ⁻¹]	Ztráta nevyužitého konce
v_c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
v_f	[mm.min ⁻¹]	Posuvová rychlost
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička
z	[-]	Počet zubů nástroje
Z_m	[kg.ks ⁻¹]	Celkové ztráty obráběním

Seznam příloh

Příloha 1	Výkres součásti
Příloha 2	NC program - 1. upnutí
Příloha 3	NC program - 2. upnutí
Příloha 4	NC program - 3. upnutí