

Návrh technologie výroby ocelové příruby

Nikola Kovářová

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Nikola Kovářová**
Osobní číslo: **T21855**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Návrh technologie výroby ocelové příruby**

Zásady pro vypracování

- Vypracování literární rešerše na dané téma se zaměřením na technologie vhodné pro výrobu ocelových přírub.
- Návrh výroby zadaného dílu příruby.
- Vyhodnocení provedených návrhů se zaměřením na ekonomiku výrobního procesu.

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

Seznam doporučené literatury:

GROOVER, Mikell P. *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. SI version. International adaptation. Singapore: John Wiley & Sons Singapore Pte., 2019. ISBN 978-1-119-70642-7.

GUPTA, Kapil. *Advanced manufacturing technologies: modern machining, advanced joining, sustainable manufacturing*. Materials forming, machining and tribology. Cham, Switzerland: Springer, 2017. Dostupné z: <https://doi.org/9783319560991>.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

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

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 4. března 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORKY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků budu uvedena jako spoluautorka.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studentky:

.....
podpis studentky

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je návržení vhodného konceptu výroby vybrané příruby a následné vyhodnocení návrhů se zaměřením na ekonomické srovnání výrobních variant.

Teoretická část pojednává o tom, co všechno je nutné zvážit při návrhu výrobního konceptu a jaké jsou varianty konvenční a nekonvenční výrobní technologie, které by byly vhodné pro výrobu těchto specifických ocelových přírub. Závěrem teoretické části je přiblížení ekonomiky výroby, řízení nákladů a tvorba cen.

V úvodu praktické části je popis vyráběné příruby a její použití, návrh materiálu včetně výpočtu. Následuje rozbor, jakým způsobem jsou konkrétní varianty hodnoceny a poté je proveden návrh jednotlivých variant včetně výpočtu výrobních nákladů. V poslední části práce jsou jednotlivá navržená řešení vzájemně vyhodnocena a diskutována.

Klíčová slova: výrobní proces, konvenční výroba, aditivní technologie, ekonomické hodnocení.

ABSTRACT

The subject of this bachelor's thesis is the design of a suitable concept for the production of the selected flange and the subsequent evaluation of the proposals with a focus on the economic comparison of production variants.

The theoretical part discusses what all must be considered when designing a production concept and what are the variants of conventional and non-conventional production technology that would be suitable for the production of these specific steel flanges. The conclusion of the theoretical part is an approach to the economy of production, cost management and price formation.

In the introduction to the practical part, there is a description of the manufactured flange and its use, material design including calculation. This is followed by an analysis of how specific variants are evaluated and then the proposal of individual variants including the calculation of production costs. The last part contains an evaluation of individual proposals.

Keywords: production process, conventional production, additive technology, economic evaluation.

Poděkování patří mému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté rady a cenné připomínky při vypracování práce.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 VÝROBNÍ PROCES	11
1.1 TECHNOLOGICKÉ PROJEKTOVÁNÍ	11
1.1.1 Technická příprava výroby (TPV)	11
1.1.2 Metodika navrhování výrobních postupů.....	12
1.1.3 Podklady pro vypracování výrobního postupu	13
2 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ	15
2.1 KONVENČNÍ VS. CNC OBRÁBĚNÍ.....	15
2.2 TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ.....	16
2.2.1 Soustružnické stroje	17
2.2.2 Soustružnické nástroje	18
2.3 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ	18
2.3.1 Frézovací stroje	19
2.3.2 Frézovací nástroje	20
2.4 TRANSFEROVÁ TECHNOLOGIE	21
2.4.1 Rotační transferové stroje	22
3 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE	24
3.1 PRINCIP KOVOVÉHO 3D TISKU.....	24
3.2 METODY 3D KOVO TISKU	25
4 EKONOMIKA VÝROBY	29
4.1 ŘÍZENÍ NÁKLADŮ	29
4.2 CENOTVORBA.....	29
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
5 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	32
6 POPIS KOMPONENTU	33
6.1 VOLBA MATERIÁLU	35
6.2 NÁVRH POLOTOVARU	36
7 HODNOCENÍ VÝROBNÍCH KONCEPTŮ	39
7.1 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	39
7.1.1 Rozpočtová kalkulace	39
7.1.2 Kalkulace dílu	40
7.2 TECHNICKÉ HODNOCENÍ.....	41
8 VÝROBA KOMPONENTU SOUSTRUŽENÍM	42
8.1 VÝROBNÍ KONCEPT	42

8.1.2	Zakladač tyčí KONTUR 70	43
8.2	KALKULACE NÁKLADŮ A CENA VÝROBY	44
9	VÝROBA KOMPONENTU FRÉZOVÁNÍM	46
9.1	VÝROBNÍ KONCEPT	46
9.1.1	Chiron DZ15 W Magnum High Speed	46
9.1.2	Robotická buňka.....	47
9.1.3	Pila pásová CM602	48
9.2	KALKULACE NÁKLADŮ A CENA VÝROBY	49
10	VÝROBA KOMPONENTU TRANSFEROVOU TECHNOLOGIÍ	52
10.1	VÝROBNÍ KONCEPT	52
10.1.1	Hydromat HB32/16.....	52
10.2	KALKULACE NÁKLADŮ A CENA VÝROBY	53
11	VÝROBA KOMPONENTU ADITIVNÍ TECHNOLOGIÍ.....	55
11.1	MATERIÁL M300	55
11.2	VÝROBNÍ KONCEPT	56
11.2.1	Shop System.....	56
11.3	KALKULACE NÁKLADŮ A CENA VÝROBY	57
12	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBNÍCH KONCEPTŮ.....	60
	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	64
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	68
	SEZNAM OBRÁZKŮ	70
	SEZNAM TABULEK.....	71

ÚVOD

Automobilový průmysl jedním z klíčových odvětví ekonomiky světa. Pro Českou republiku tvoří okolo 30 % českého hospodářství. Do automobilového průmyslu spadá výroba osobních automobilů, nákladních a speciálních aut, motorů a přívesů. Dodávání do tohoto sektoru nese spoustu výhod, ale i nevýhod. K hlavním plusům patří velkoobjemové projekty, které jedou až několik desítek let. Nevýhodou těchto objemových výrob je velký konkurenční boj a tlak na ceny. Pro dosažení konkurenčních cen je nutné mít procesy dokonale nastavené. Pro automobilový sektor dodavatelé technologií vymýšlejí špičkové produktivní stroje, kde v dnešní době hraje důležitou roli maximální automatizace. Ta vede ke snižování nákladů a tím i větší konkurenceschopnosti cen. Je žádoucí neustále sledovat vývoj nových technologií a ty následně analyzovat v podobě srovnávání výrobních nákladů.

Daná firma vyrábí miliony kusů hliníkových klimatizačních bloků a přírub do osobních aut. Velmi podobný typ výrobku jsou ocelové příruby do nákladních automobilů. Zde už není tak velký konkurenční boj jako u výroby přírub z hliníku, ale stále zákazníci očekávají velmi nízkou cenu. Jelikož má firma zkušenosti s hliníkovými přírubami, vidí velký potenciál v získání výroby přírub z oceli. Nejprve je ale nutné prověřit trh a najít konkurenceschopný výrobní koncept, tak aby se dosáhlo co nejnižších nákladů.

Tuto problematiku jsem se rozhodla v této bakalářské práci srovnat, ekonomicky zhodnotit a určit nejlevnější výrobní koncept těchto přírub.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝROBNÍ PROCES

Strojírenský výrobní proces je souhrn pracovních, technologických a přírodních procesů. Jejich cílem je upravovat tvar, složení, jakost a spojení pracovních předmětů za účelem získání strojírenského výrobku. Tento proces výroby se může dělit podle:

- charakteru složek výrobního procesu (technologický a pracovní proces),
- vztahu k výrobku (hlavní, pomocný a vedlejší výrobní proces),
- vztahu k výrobnímu programu (hlavní doplňková a přidružená výroba),
- vztahu k časovému průběhu výrobního procesu (etapy předvýrobní, výrobní a povýrobní) [1].

1.1 Technologické projektování

Jednou ze základních činností výrobního podniku je technologické projektování. Celou problematiku této činnosti je třeba brát ve všech fázích systémově a komplexně. Hlavním úkolem je hledání optimální konstrukce výrobku, optimální technologické metody, optimálního výrobního zařízení a vybavení. Dále následuje jejich automatizace, jak struktury, tak i úrovně celého výrobního systému, a to při různých výrobních podmínkách, z nichž nejdůležitější je výrobní množství. Celá oblast technické přípravy výroby (TPV) je výsledkem spolupráce konstruktéra a technologa [2].

Všechny základní technologie disponují širokou škálou technologických postupů, ze kterých technolog po analýze výrobního programu volí tu, která je za daných výrobních podmínek nejvíce optimální. Po vybrání vhodného výrobního zařízení a vybavení, zpracuje konkrétní výrobní postup. Při tom musí být brán ohled na návaznost jednotlivých technologických metod ve všech fázích výrobního procesu, tj. od výroby polotovaru až po finální montáž tak, aby bylo dosaženo nejvhodnějšího ekonomického průběhu celého výrobního procesu [2].

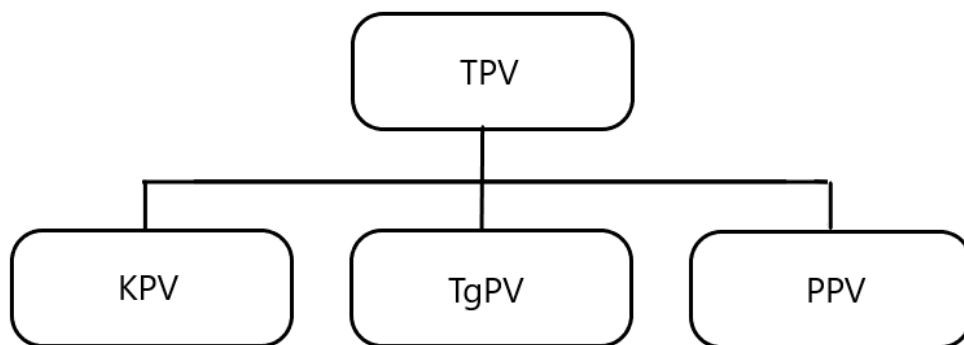
1.1.1 Technická příprava výroby (TPV)

TPV je předvýrobní souhrn činností a technickoorganizačních opatření a její hlavní články tvoří konstrukční, technologická a projektová příprava výroby (Obr.1) [3].

Konstrukční příprava výroby (KPV) se zaměřuje na konstruování nových výrobků anebo modernizaci těch stávajících. Úkolem je dosáhnout funkční, vyrobitelný a ekonomicky výhodný výrobek. Náklady na výrobu jsou ovlivněny především konstrukcí daného výrobku, která podstatně ovlivní výsledky práce technologie a projekce [3].

Technologická příprava výroby (TgPV) je souhrn technickoorganizačních činností a opatření, jež úkolem je vytvoření výrobní dokumentace a zpracování podkladů pro materiální vybavení výrobního procesu [3].

Projektová příprava výroby (PPV) řeší především otázky časové a prostorové dle požadovaných cílů technologického projektu. Rozsáhlá činnost projektové přípravy vyžaduje spolupráci s ostatními útvary [3].



Obrázek 1. Hlavní úseky TPV [3].

1.1.2 Metodika navrhování výrobních postupů

Výrobní postup (v případě montáže pak montážní postup) je předpis účelného pořadí a počtu jednotlivých operací, které mají být vykonány na výrobku v časové posloupnosti. Skládá se z technologické části, která obsahuje pouze nutný sled technologických operací pro zamýšlené změny na pracovním předmětu a části, která se zabývá potřebnou činností pracovníka, nazývanou pracovní postup. Přeměna vstupního polotovaru ve finální výrobek probíhá ve výrobním procesu [4].

V rámci výrobního postupu se musí zabezpečit požadovaná jakost výrobku v co nejkratším časovém horizontu s minimálními výrobními náklady. To vše je základem pro dosažení neoptimálnější technické a ekonomické stránky výrobního procesu [4].

Při navrhování výrobních postupů je třeba brát v úvah:

- Požadavky na design (musí splňovat rozměry, tolerance, povrchovou úpravu a další specifikace stanovené konstrukcí výrobku).

- Požadavky na kvalitu. Procesy musí být voleny tak, aby byly splněny požadavky na kvalitu z hlediska tolerancí, integrity povrchu, opakovatelnosti a další opatření kvality.
- Objem a rychlost výroby. Výběr z procesů a systémů je silně ovlivněn objemem a rychlostí výroby.
- Dostupné procesy. Má-li být produkt a jeho komponenty vyrobeny interně, musí plánovač procesu vybrat procesy a zařízení, které jsou již k dispozici.
- Využití materiálu. Je žádoucí, aby procesní sekvence efektivně využívala materiály a minimalizovala odpad.
- Omezení přednosti. Jedná se o technologické požadavky, které určují nebo omezují pořadí, ve kterém mohou být provedeny kroky zpracování.
- Minimalizace nastavení. Počet samostatných nastavení stroje by měl být minimalizován. Kdykoli je to možné, měly by se prováděné operace kombinovat na stejné pracovní stanici. To šetří čas a snižuje manipulaci s materiálem.
- Zbytečné kroky. Sekvence procesu by měla být naplánována s minimálním počtem kroků zpracování. Je třeba se vyhnout zbytečným operacím.
- Flexibilita. Tam, kde je to možné, by měl být proces dostatečně flexibilní, aby se přizpůsobil změnám technického návrhu.
- Bezpečnost. Při výběru procesu je třeba vzít v úvahu bezpečnost pracovníků.
- Minimální náklady. Posloupnost procesu by měla být výrobní metodou, která splňuje všechny výše uvedené požadavky a také dosahuje nejnižší možné ceny produktu [1].

1.1.3 Podklady pro vypracování výrobního postupu

Při navrhování výrobního postupu je nutné porovnávat různé alternativy pro zaručení správné ekonomiky výrobního procesu. Odchylky ve výrobních postupech a jednotlivé nepřesnosti mohou mít vliv na kvalitu výrobků a snížení hospodárnosti výroby. Pro navrhování výrobních postupů je potřeba celá řada podkladů, které musí mít technolog k dispozici. Mezi tyto podklady patří:

- výrobní výkresy, které obsahují informace o rozměrech výrobku a požadavky na materiál (tepelné zpracování, povrchová úprava, kvalita apod.),
- informace o počtu kusů (sériovost, časová návaznost výroby apod.),

- informace o výrobním zařízení (typy zařízení a jejich možnosti, výkon, otáčky, posuvy, automatizace apod.), dopravním a manipulačním zařízení, skladovací ploše apod.,
- informace o výrobním nářadí (nástroje, přípravky, měřidla, speciální zařízení apod.),
- možnosti kooperace,
- normy (ISO, ČSN, zákaznické), normativy (cyklové časy, řezné podmínky), tvary a rozměry polotovarů, materiálu [5].

2 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

Obrábění je technologický proces, při kterém dosahuje výrobek požadovaného tvaru, rozměru a jakosti povrchu postupným odebíráním materiálu [6].

2.1 Konvenční vs. CNC obrábění

V minulosti se tradičně používaly konvenční obráběcí techniky, ale v posledních letech získalo významnou oblibu obrábění pomocí počítačového numerického řízení (CNC) [7].

Konvenčním obráběním se rozumí použití ručních nástrojů a strojů obsluhovaných zkušenými strojníky. Zahrnuje procesy, jako je soustružení, frézování, vrtání a broušení, kde operátoři využívají své odborné znalosti k řízení rychlosti, směru a hloubky řezů. I když se v rámci konvenčního obrábění vyžaduje lidský zásah a rozsáhlé dovednosti, tak i přes to je jeho benefitem přesnost a flexibilita. Konvenční obrábění má v určitých aplikacích stále svůj význam. Kvalifikovaní strojníci mají tu výhodu, že se přizpůsobí neočekávaným situacím a provedou rychlé úpravy ihned na místě. Tradiční metody obrábění mohou být navíc nákladově efektivní pro maloobjemové nebo zakázkové projekty, kde výroba CNC programů nemusí být efektivní. Konvenční obrábění, i přes svou flexibilitu, může být ve srovnání s CNC obráběním časově náročné. Potřeba kvalifikovaných operátorů také zvyšuje celkové náklady na výrobu. Navíc lidský prvek při konvenčním obrábění zvyšuje riziko chyb, zejména u složitých operací. Mimo jiné konvenční obrábění nachází své uplatnění v odvětvích, která se zabývají zakázkovými díly, opravami nebo úpravami vyžadujícími zručnou řemeslnou práci [7].

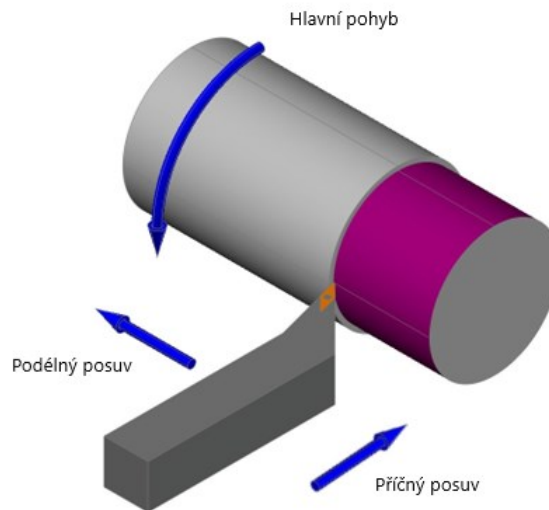
CNC obrábění na druhou stranu zahrnuje použití počítačových programů pro řízení pohybů a operací strojů. S CNC se obráběcí procesy zautomatizují, tím odpadá potřeba zapojení lidského faktoru. Počítačem řízené stroje mohou provádět složité úkoly s vysokou přesností a opakovatelností, díky čemuž je CNC obrábění ideální pro velkoobjemovou výrobu. Jednou z klíčových výhod CNC obrábění je jeho schopnost produkovat konzistentní a přesné výsledky. CNC stroje dokážou bezchybně provádět opakující se úkoly, což snižuje nepřesnosti ve výrobních procesech. CNC obrábění navíc nabízí zvýšenou produktivitu, protože eliminuje potřebu ručního zásahu a umožňuje operátorům soustředit se na jiné kritické úkoly. Přestože CNC obrábění nabízí řadu výhod, má také určitá omezení. Počáteční náklady na pořízení a nastavení CNC strojů mohou být vysoké, což může představovat výzvu pro malé výrobní podniky. Navíc CNC stroje vyžadují pravidelnou údržbu a modernizace, aby byl zajištěn optimální výkon, což zvyšuje celkové provozní náklady. CNC

obrábění je široce používáno v průmyslových odvětvích, jako je letecký, automobilový a elektronický průmysl, kde je prvořadá vysoká přesnost a efektivita [7].

CNC i konvenční obrábění mají své silné i slabé stránky a jejich aplikovatelnost závisí na konkrétních požadavcích projektu. Zatímco CNC obrábění nabízí vyšší přesnost, efektivitu a automatizaci, konvenční obrábění lze přizpůsobit. Volba mezi těmito dvěma technikami v konečném důsledku závisí na faktorech, jako je objem výroby, složitost, náklady a požadavky průmyslu. Jak se technologie vyvíjí, budoucnost obrábění spočívá ve využití silných stránek obou metod k dosažení optimálních výsledků [7].

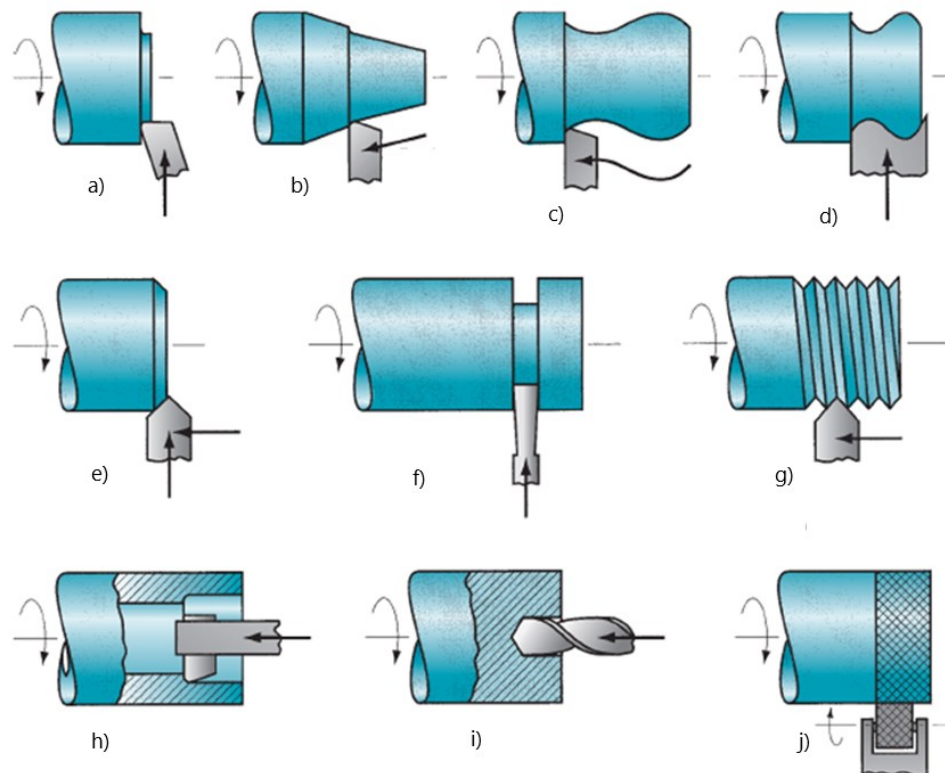
2.2 Technologie soustružení

Soustružení je proces obrábění, při kterém jednobodový nástroj odebrává materiál z povrchu rotujícího obrobku. Nástroj je přiváděn lineárně ve směru rovnoběžném s osou rotace pro vytvoření válcové geometrie (Obr. 2). Soustružení se tradičně provádí na obráběcím stroji zvaném soustruh, který dodává energii pro otočení součásti danou rychlostí a pro posuv nástroje zadanou rychlostí a hloubkou řezu [1].



Obrázek 2. Pohyby při soustružení [21].

Obráběcí operace, které se provádějí na soustruhu, jsou znázorněny na následujícím obrázku (Obr. 3) a patří mezi ně: čelní soustružení, kuželové soustružení, obrysově soustružení, tvarové soustružení, srážení hran, odřezávání, řezání závitů, vyvrtávání, vrtání a rýhování [1].



Obrázek 3. (a) čelní soustružení, (b) kuželové soustružení, (c) obrysové soustružení, (d) tvarové soustružení, (e) srážení hran, (f) odřezávání, (g) řezání závitů, (h) vyvrtávání, (i) vrtání a (j) rýhování [1].

2.2.1 Soustružnické stroje

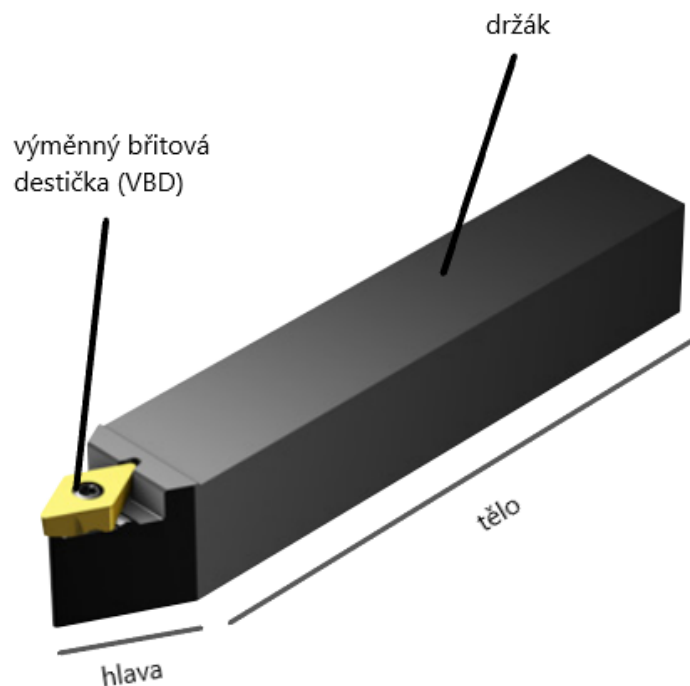
Soustruhy jsou obecně považovány za nejstarší obráběcí stroje dosud používané v průmyslu. Asi třetinu obráběcích strojů provozovaných ve strojírenských závodech tvoří soustruhy. Používají se v zakázkové i hromadné výrobě [6].

Soustruhy můžeme dělit dle konstrukce na hrotové, čelní, vertikální, revolverové a speciální (víceřetenový soustruh). Na hrotových univerzálních soustružích lze provádět veškeré technologické operace. Mají široký rozsah otáček a posuvů. Používají se při kusové nebo malosériové výrobě, a také na výrobu nástrojů a různých přípravků. Čelní soustruhy se používají k obrábění velkých průměrů a krátkých délek, pro kusovou výrobu a pro opravy. Vertikální soustruhy mají osu upínaného obrobku svislou. Ta umožňuje lepší manipulaci s obrobkem. Tyto stroje se používají při těžkém obrábění u kusů velkých průměrů a relativně malých délek. Revolverové soustruhy se používají k obrábění složitých komponentů a to díky velkému počtu nástrojových míst v revolverové hlavě [6,8].

Dle stupně automatizace se dělí na soustruhy ovladatelné ručně, poloautomaty, automaty a programově řízené. Číslicově řízené (NC) a počítačově řízené (CNC) soustruhy se používají především v průmyslové výrobě a jsou vhodné především pro sériovou výrobu [6,8].

2.2.2 Soustružnické nástroje

Hlavní nástroj pro proces soustružení je soustružnický nůž. Vyrábí se v různých tvarech a rozměrech, které jsou normalizovány. Nůž má upínací část (tělo nástroje) a činnou část (hlava nástroje) (Obr. 4). Na hlavě je umístěn břit, u kterého je podstatné, aby měl dobré řezné vlastnosti, byl tvrdší než obráběný materiál a co nejodolnější proti opotřebení. Toho lze dosáhnout správnou volbou materiálu. Nejpoužívanějšími materiály jsou rychlořezné oceli (RO), slinuté karbidy (SK), keramika, syntetický polykrystalický diamant (PKD), cermet a kubický nitrid boru (CBN) [9].

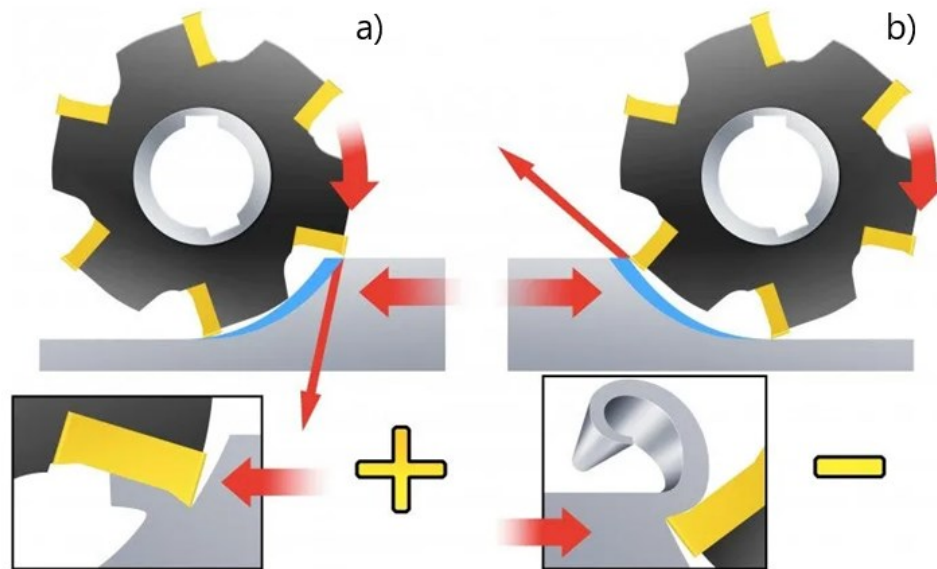


Obrázek 4. Konstrukce soustružnického nože [27].

2.3 Technologie frézování

Frézování je obráběcí operace, při které se obrobek vede kolem rotujícího válcového nástroje s více břity. Osa otáčení řezného nástroje je kolmo ke směru posuvu. Tato orientace mezi osou nástroje a směrem posuvu je jednou z vlastností, která odlišuje frézování od vrtání [1].

Frézování se dělí na sousledné a nesousledné (Obr. 5). U sousledného frézování se nástroj posouvá stejným směrem jako je jeho rotace. U nesousledného je směr posuvu nástroje opačný od směru jeho rotace. V praxi se používá nejčastěji sousledné frézování z důvodu příznivého působení řezné síly, což má za následek vyšší trvanlivost nástroje [10].



Obrázek 5. Frézování: a) sousledné, b) nesousledné [10].

2.3.1 Frézovací stroje

Frézky se používají pro obrábění rovinných ploch, konturovaných ploch, komplexních a nepravidelných tvarů, drážkování, závitování, aj. [6].

Frézky lze rozdělit podle osy vřetene na horizontální nebo vertikální. Horizontální frézka je vhodná pro provádění obvodového frézování (např. frézování desek, drážkování, boční frézování). Vertikální frézka je vhodná pro čelní frézování, konturování povrchu a zahlubování na relativně plochých pracovních částech. Kromě orientace vřetena lze frézky rozdělit podle konstrukce a použití na konzolové, stolové, rovinné, CNC a speciální [1].

Pro sériovou výrobu se z pohledu efektivity a ekonomiky výroby nejvíce používají CNC frézovací obráběcí centra (Obr. 6). Obráběcí centrum je vysoce automatizovaný obráběcí stroj schopný provádění více obráběcích operací pod počítačovým numerickým řízením v jednom nastavení s minimální lidskou pozorností. Výhodou CNC řízených strojů je vysoká přesnost zpracování materiálu a opakovatelnost procesu [1].



Obrázek 6. Vertikální obráběcí centrum ZPS MVC1060i od firmy Tajmac-ZPS [23].

2.3.2 Frézovací nástroje

Řezný nástroj se nazývá fréza a řezné hrany se nazývají zuby. Je to několikabřítý rotační nástroj, na kterém jsou břity upořádané nejčastěji na válcovém nebo kuželovém tělese. Geometrická forma vytvořená frézováním je rovinná plocha. Jiné pracovní geometrie lze vytvořit buď pomocí dráhy frézy nebo tvaru frézy. Díky rozmanitosti možných tvarů a vysoké rychlosti výroby je frézování jednou z nejuniverzálnějších a nejvšestrannějších obráběcích operací. Frézování je přerušovaná řezná operace, při které zuby frézy vstupují a opouští práci během každé otáčky. Toto přerušované řezání vystavuje zuby cyklu nárazové síly a tepelného šoku při každé rotaci. Materiál nástroje a jeho geometrie musí být navrženy tak, aby těmto podmínkám odolával [1].

Frézy (Obr. 7) dělíme podle následujících aspektů:

- Podle ploch, na kterých leží břity (frézy válcové, čelní, kuželové, kotoučové, úhlové a tvarové).
- Podle způsobu upnutí na stroji (frézy nástrčné a frézy se kuželovou nebo válcovou stopkou).
- Podle počtu břitů (frézy jemnozubé, polohrubozubé a hrubozubé).

- Podle směru otáčení (frézy pravořezné a levořezné).
- Podle druhu materiálu břitů (frézy z rychlořezné oceli a ze slinutých karbidů) [12].



Obrázek 7. Příklady frézovacích nástrojů [26].

2.4 Transferová technologie

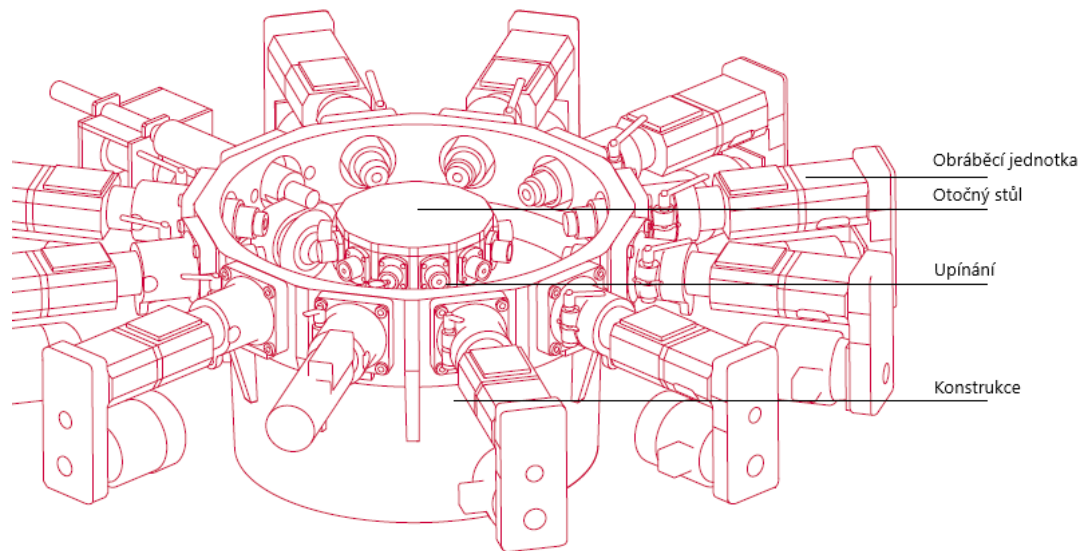
Transferová technologie (Obr. 8) je jednou z nejproduktivnějších obráběcích technologií na trhu. Podmínkou produktivity jsou velké série [13].



Obrázek 8. Transferová technologie.

2.4.1 Rotační transferové stroje

Rotační transferové stroje (Obr. 9) přezdívané Hydromaty jsou vysoce produktivní výrobní zařízení. Obrobek je upnut na otočném indexovacím stole a je obráběn vodorovně i svisle po celém obvodu až 27 zpracovatelskými jednotkami (např. pro vrtání, frézování, řezání závitů, srážení hran a aj.), z nichž každá je vybavena nástroji. Jednotky pracují plně automaticky a zpracovávají několik komponent současně. Výsledkem jsou opravdu rychlé cyklové časy a maximální produktivita při konstantně vysoké kvalitě. Nejdelsí operace prováděná na výrobku je cyklový čas dílu. Obrábění je až 20krát rychlejší než na obráběcím centru a lze obrábět širokou škálu kovových materiálů (ocel, mosaz, hliník, měď aj.). Rotační transferové stroje jsou drahé, ale investice se vyplatí, pokud se jedná o masovou výrobu, která vyžaduje vysokou kontrolou komponentů a spolehlivost procesu. Stroje se používají pro výrobu komponentů do automobilového průmyslu, pro elektrotechnický a elektronický průmysl a také pro průmysl zámek a montáží. Pro automobilový průmysl se vyrábějí například škrtecí ventily a magnetické ventily v systémech vstřikování nafty. Typickými aplikacemi jsou také hlavy válců pro vysokotlaká čerpadla nebo tělesa čerpadel [13].



Obrázek 9. Konstrukce rotačního transferového stroje.

3 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

Aditivní technologie (AM) neboli 3D tisk se v posledních letech dostává do popředí a má velký potenciál nahradit tradiční konvenční technologie. Technologie přinášejí flexibilnější a rychlejší výrobu se spoustou výhod oproti konvenční. Oproti konvenční technologii, kdy je materiál odebírán, aditivní technologie materiál postupně přidává. Hlavní výhody jsou například výroba složitých tvarů (Obr. 10), redukce váhy, snížení spotřeby materiálu, redukce CO₂, digitální model lze snadno upravit dle požadavků zákazníka, eliminace výroby nástrojů apod. Aditivní technologie mají široké použití v medicíně, leteckém a automobilovém průmyslu, a další [11, 14].



Obrázek 10. 3D vytištěná injektorová hlava pro odpalovací zařízení [24].

3.1 Princip kovového 3D tisku

Existuje celá řada 3D tiskových metod, jejichž princip vychází ze stejného základu. Materiál je ve vrstvách o konstantní tloušťce postupně přidáván a přetaven za použití tepelného zdroje. Metody se liší zejména ve způsobu podávání přídatného materiálu a jeho spojení se zhotovovaným komponentem [15].

Součástí 3D tisku jsou technické plyny. Plyny ovlivňují do značné míry metalurgicky a termicky proces spékání a tavení kovů. Typy plynu se odvíjí u jednotlivých metod, a především od použitého základního a přídatného materiálu. Pro vysokolegované kovy je výběr z plynů širší a lze využít i plynů vícesložkových. U nelegovaných a nízkolegovaných ocelí je nejčastěji používán argon doplněný o příměs CO₂ nebo O₂. Hotové výtisky je nutné často dále tepelně zpracovat, zde se taky využívá ochranné atmosféry. Nástřikové metody potřebují nosný plyn, ten pod tlakem unáší prášek přídatného materiálu do svarové lázně [15].

3.2 Metody 3D kovo tisku

Nejpoužívanější metody jsou:

- PBF (Powder Bed Fusion),
- DED (Direct Energy Deposition),
- BJ (Binder Jetting) [16].

Technologie PBF (Obr. 11) spočívá v nanášení kovového prášku a následuje spojení jednotlivých zrn pomocí tepelného zdroje. Pod metodu PBF spadají metody SLM (Selective Laser Melting), DMLS (Direct Metal Laser Sintering), SLS (Selective Laser Sintering), EBM (Electron Beam Melting) a další. Hlavní rozdíl mezi těmito metodami je ve zdroji tepla, typu použitého plynu nebo se liší v některém kroku procesu. Výhodou této metody je možnost použití širokého spektra kovových materiálů jako nerezová ocel, titan, hliník a jiné [17].

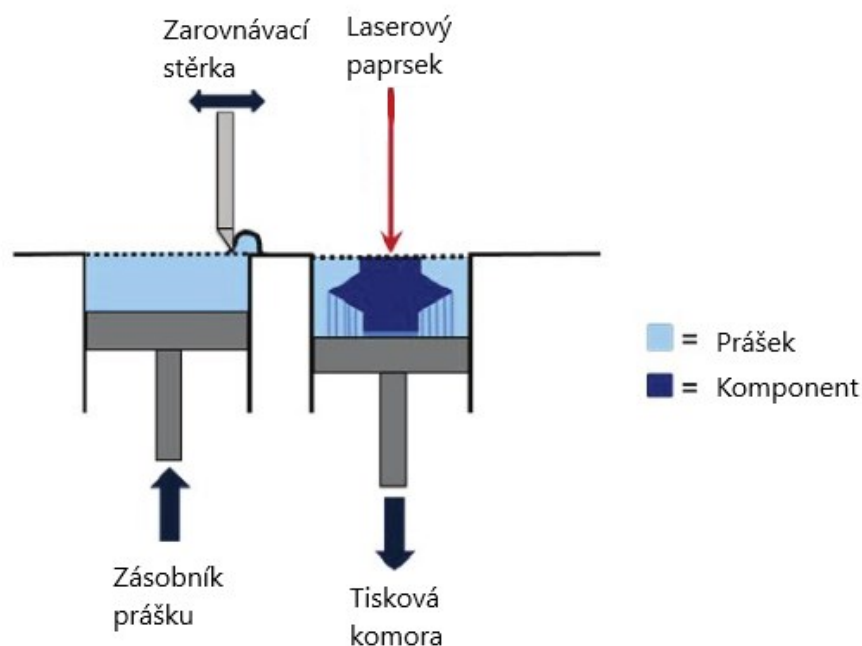
Selektivní laserové tavení (SLM) je velmi používané v AM průmyslu díky vysoké výrobní rychlosti, pokrývající široký sortiment materiálů a možnost recyklace prášku. Tato metoda se běžně využívá zejména ve zdravotnictví a je známá výrobou vysoce přesných složitých dílů. Používají se především chromové a titanové slitiny a nerezové oceli. Vrstva kovových prášků se nanese na stavební platformu a roztaví se laserovým paprskem. Poté se platforma posune směrem dolů o tloušťku vrstvy a staví se nová vrstva prášku. Technika se opakuje, dokud není výška dílu dokončena. Proces SLM má vynikající mechanické vlastnosti v důsledku úplného roztavení prášku. Hlavní nevýhodou je povrchové napětí taveniny [28].

Proces EBM využívá energie elektronového paprsku k roztavení kovových prášků. Každá vrstva je zajištěna následujícími kroky: rozprostření kovových prášků, předehřátí a následné slinování prášku pomocí elektronového paprsku. Proces probíhá ve vakuu pod tlakem a při

vysoké teplotě. Materiály vyrobené pomocí EBM mají mikrostrukturální vlastnosti, které jsou lepší než u tvářených a litych materiálů. Mezi výhody této metody patří menší zbytkové napětí a smrštění. Nevýhodou je vyšší únavové praskání vyrobených vzorků [28].

Přímé laserové slinování kovů DMLS je pokročilý proces aditivní výroby na bázi laseru. Stejně jako u SLM tenká vrstva kovového prášku je nanášena na stavební platformu a poté laserový paprsek spéká každou vrstvu prášku. Proces DMLS dokáže vyrobit jakýkoli složitý tvar. Výhodou této metody je menší plýtvání práškovými materiály a použití široké škály materiálů (titan, inconel, slitiny hliníku) [28].

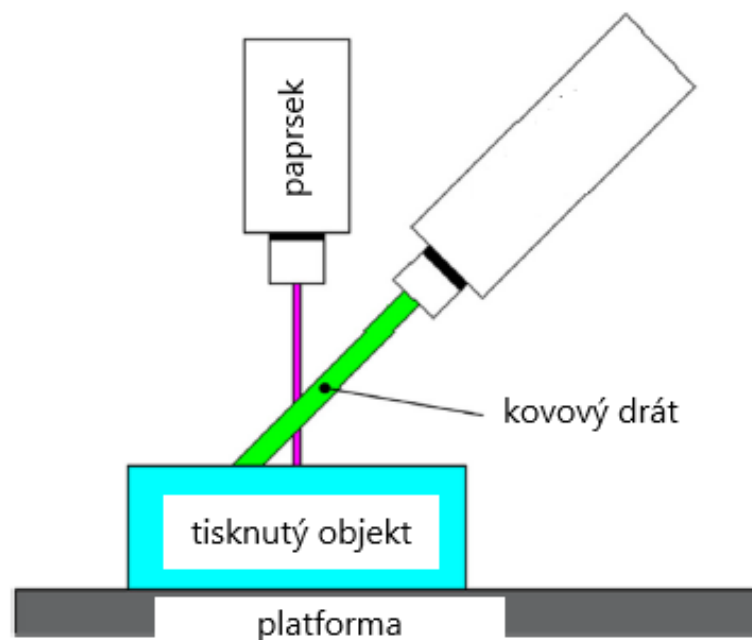
Technika selektivního laserového sintrování (SLS) je metoda, pomocí které se vyrábějí vrstvy navržené geometrie slinováním prášků laserovým paprskem. Technologické kroky jsou následující: nanášení vrstvy kovového prášku na celou plochu stavěcí platformy, zahřátí materiálu pod teplotu tání, spékání prášku laserovým paprskem, posunutí platformy směrem dolů o tloušťku vrstvy. Kroky se opakují, dokud nevznikne navržený vzorek je hotovo [28].



Obrázek 11. Princip metody PBF [25].

U technologie přímé energetické depozice DED (Obr. 12) je nanášen již roztavený materiál. Používá se kovový prášek nebo drát. Specifická oblast na vyráběném komponentu zahřeje na teplotu tání pomocí paprsku (laser, elektronový paprsek, elektrický oblouk) a poté se přidá vstupní materiál (kovový drát nebo prášek). Přidává se vrstva po vrstvě, dokud není proces

dokončen. Tato technologie se využívá při opravách již vyrobených celků přímo na ně samotné, a to bez jejich montáže [17, 28].

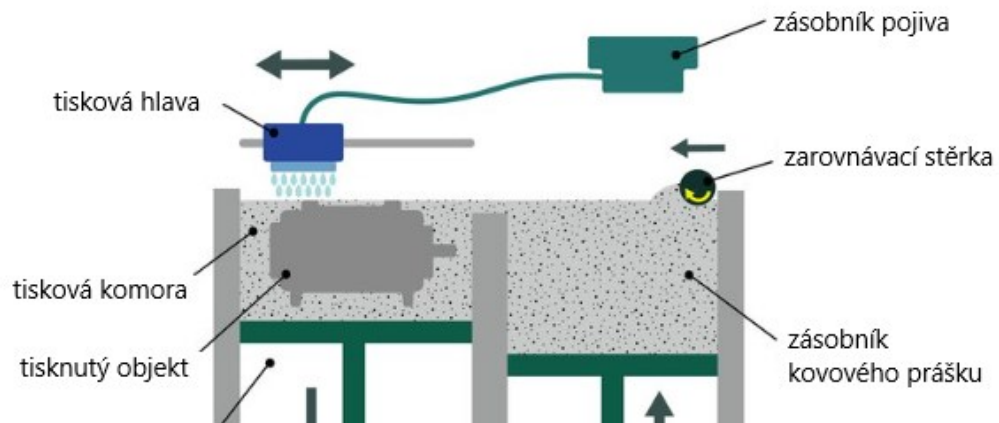


Obrázek 12. Princip metody DED [29].

Technologie Binder Jetting (BJ) spočívá v tryskání pojiva do vrstvy prášku cílového materiálu, tím spojuje dohromady jednotlivé vrstvy. Výhodou je rychlý proces výroby s využitím široké škály kovových prášků. Pevnost vyrobených dílů závisí na druhu použitého pojiva [17].

U této technologie je možné zpracovávat slitiny jako Cu-, Al-, slitiny na bázi Ni, Fe a Co, bronz, mosaz a šedá litina, stejně jako keramika jako např. skla, písku a grafitu. Tento proces však může využívat jakýkoli materiál, který je k dispozici v práškové formě a umožňuje barevný tisk. V procesu se používají dva materiály: jedním je materiál na bázi keramiky/kovu, z něhož má být část vyrobena, a druhým je pojivo materiál, který lepí keramické/kovové prášky uvnitř a mezi vrstvami. Pojivo je ve výchozím stavu kapalné, zatímco keramický/kovový prášek je ve formě pevné látky. Prášek se nejprve nanese na platformu a poté se na něj nanese vrstva pojiva. Nejprve se protiběžně rotujícím válcem nanese prášková vrstva a poté, inkoustová tisková hlava stříká tekuté činidlo na lože, aby se vytvořil 2D vzor pro každou vrstvu. Po zhotovení každé vrstvy se stavební platforma přesunuta dolů, aby poskytla místo pro další vrstvu (Obr. 13). Proces BJ zahrnuje některé následné zpracování, jako je infiltrace, slinování, depowering, vytvrzování, a dokončování. Následné zpracování obvykle trvá déle než ve skutečnosti tisk, zejména v slinovací části.

Mezi výhody této technologie patří rychlost procesu, výběr ze široké škály materiálů a výrobky lze vyrábět bez nosných konstrukcí. Nevýhodou je potřeba následného zpracování. Rychlost této techniky (12–24 mm/h) je rychlejší než u metod EBM/SLM a lze jej urychlit zvýšením počtu otvorů tiskové hlavy, které ukládají pojivo a materiál [28].



Obrázek 13. Schéma metody BJ [30].

4 EKONOMIKA VÝROBY

Klíčovými faktory úspěchu, na které se organizace musí soustředit, aby zajistily spokojenost zákazníků a udržela výrobu ekonomickou, jsou náklady, kvalita, spolehlivost, dodávka a výběr inovativních nových produktů [18].

4.1 Řízení nákladů

Firmy se snaží zvýšit spokojenost zákazníků přijetím filozofie neustálého zlepšování za účelem snižování nákladů a zároveň zlepšení kvality, spolehlivosti a dodání. Udržení nízkých nákladů a hospodárnosti výroby poskytuje organizaci silnou konkurenční výhodu [18].

Struktura nákladů se týká různých typů nákladů, které podnik vynakládá, a obvykle se skládá z fixních a variabilních nákladů. Náklady lze také rozdělit na přímé a nepřímé náklady. Fixní náklady jsou náklady, které zůstávají nezměněny bez ohledu na množství produkce, kterou společnost vyrábí, zatímco variabilní náklady se mění s objemem výroby. Přímé náklady jsou náklady, které lze přiřadit konkrétnímu produktu nebo službě a nemusí být přiřazeny ke konkrétnímu nákladovému objektu. Nepřímé náklady jsou náklady, které nelze snadno spojit s konkrétním produktem nebo činností, protože jsou zapojeny do více činností [18,19].

Je důležité mít pevné pochopení rozdílu mezi fixními a variabilními, přímými a nepřímými náklady, protože to určuje, jak společnost oceňuje zboží a služby, které nabízí. Využitím kalkulací lze dosáhnout efektivnějšího řízení nákladů a také jejich snížení [18,19].

4.2 Cenotvorba

Tvorba ceny je klíčovým faktorem v marketingové strategii firmy. Stanovená cena produktu ovlivňuje nejen výši tržeb, ale také ziskovost a konkurenceschopnost firmy. Při určování ceny produktu je důležité zohlednit faktory jako jsou náklady na výrobu, tržní konkurence, očekávání zákazníků, výhody, ale také je důležité zahrnout faktory jako jsou marže, přírážky a bonusy. Existuje několik způsobů, jak určit cenu produktu:

- Nákladový způsob tvorby ceny, kdy cena je vypočítána na základě nákladů na výrobu, včetně nákladů na materiál, práci, energie, kooperace a dalších a k tomu se připočte zisk. Tento způsob se používá u produktů, které jsou vyráběny ve velkých objemech.

- Konkurenční způsob stanovení ceny určuje cenu produktu podle tržní konkurence, ta může být pod cenou nebo nad cenou konkurence.
- Zákaznický způsob stanovení ceny závisí pak na ochotě zákazníků platit za daný produkt. Tento způsob může být aplikovaný u produktů s vysokou kvalitou anebo specifickou hodnotou pro zákazníka [20].

Kvůli vysoké konkurenci a snadné dostupnosti dnešní doby se často stává, že firmy nabízejí produkt za nižší cenu, než jsou náklady na výrobu za cílem získat nové zákazníky. Tím se poškozují tržní ceny výrobků, a to se stává pro některé firmy likvidační [20].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Daná firma vyrobí ročně kolem 12 mil. kusů hliníkových klimatizačních bloků a přírub do osobních automobilů. V rámci výroby těchto dílů má firma vysoké know-how. Potenciál z hlediska rozvoje a rozšíření výroby naskýtá oblast ocelových přírub, které jsou velmi podobný typ výrobku. Na základě informací zákazníků, které příruby nakupují a z provedeného průzkumu trhu bylo zjištěno, že konkurence v oblasti ocelových přírub není tak vysoká, což lze (i s ohledem na dosavadní zkušenosti s výrobou hliníkových přírub) vnímat jako značný potenciál pro rozvoj firmy. Z průzkumu trhu jsou na území Evropy dva hlavní konkurenti, kteří vyrábí tyto ocelové příruby, z toho jeden v Polsku a druhý ve Španělsku. Očekává se nárůst výroby komerčních vozidel. S přechodem na elektrický pohon se množství poptávaných přírub zvyšuje. Vedle chladícího okruhu kabiny je nutný chladící okruh baterie. V první řadě je nicméně důležité prověřit, jaké jsou optimální výrobní koncepty a jaké jsou náklady na výrobu.

Hlavním cílem bakalářské práce je tedy návrh výrobního konceptu ocelové příruby, s ohledem na počet kusů, třemi konvenčními metodami a dále posoudit vhodnost využití i některé z aditivních technologií výroby pro tuto aplikaci. Provedené návrhy budou následně ekonomicky analyzovány a vyhodnoceny, což by mělo přispět k nalezení optimálního konceptu výroby s ohledem na co nejnižší výrobní náklady.

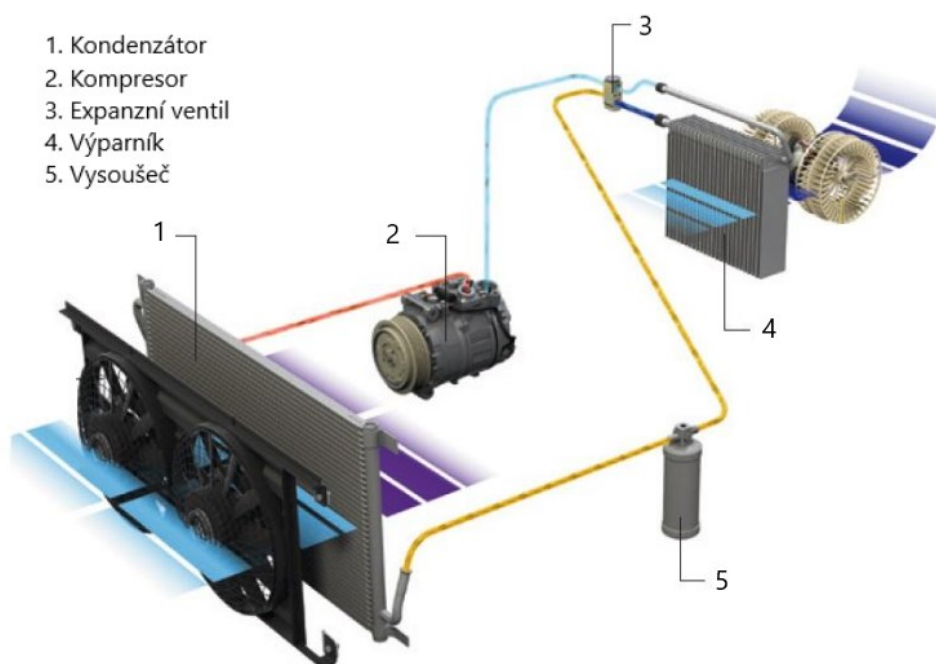
V rámci vypracování práce budou provedeny následující kroky:

1. Navržení polotovaru pro výrobu konvenčními metodami.
2. Navržení třech výrobních konceptů v rámci konvenční výroby.
3. Navržení výroby komponentu aditivní technologií.
4. Určení nákladů na jednotlivé koncepty.
5. Ekonomické zhodnocení jednotlivých návrhů.
6. Porovnání konvenčního a nekonvenčního způsobu výroby.

6 POPIS KOMPONETU

Příruby jsou komponenty používané ke spojení potrubí mezi sebou, k ventilům, k čerpadlům, armaturám, a na další zařízení, jako jsou filtry a tlakové nádoby. Bývají svařované případně se závitem. Příruby vydrží vysoký tlak a teplotu, takže mají různé tlakové a teplotní charakteristiky pro různé materiály [31].

Řešená příruba je konkrétně připojovací blok klimatizačního okruhu nákladního auta. Klimatizační systém (Obr. 14) pracuje na cyklu komprese páry, kde probíhají čtyři různé činnosti, jako je komprese, kondenzace, expanze (škrcení) a odpařování chladiva. Pět hlavních součástí chladicího systému odpovědných za uvedené čtyři funkce jsou kompresor, kondenzátor, expanzní ventil, vysoušeč a výparník. Jednotlivé komponenty chladicího okruhu jsou propojeny trubkami zakončené přírubami (Obr. 15) nebo rychlospojky a tvoří tak uzavřený systém. Chladivo a chladicí olej cirkulují v systému s uzavřenou smyčkou, poháněné kompresorem [33].

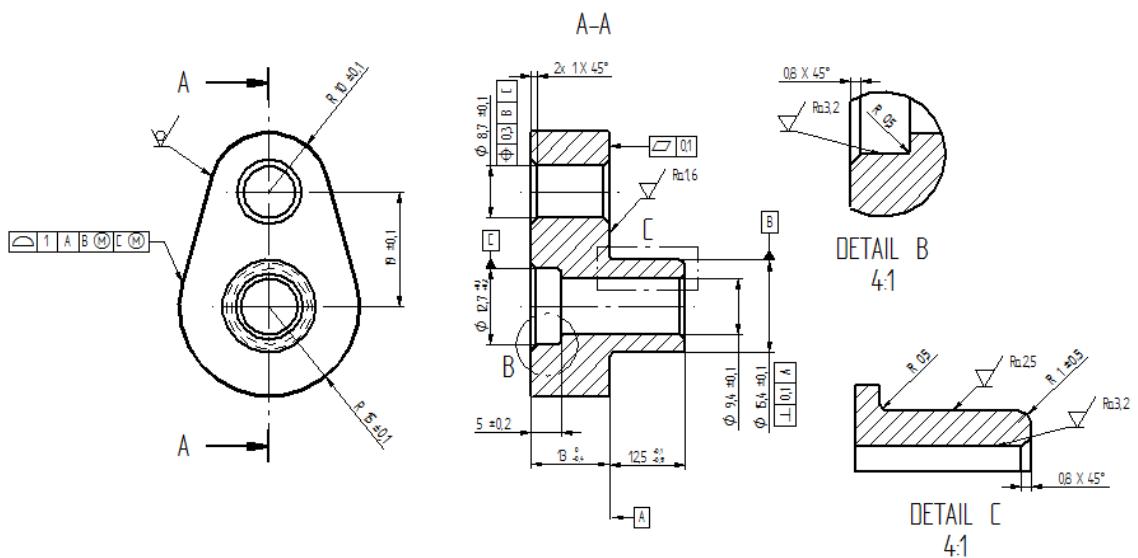


Obrázek 14. Schéma chladicího okruhu [32].



Obrázek 15. Spojovací hadice klimatizace.

Konkrétní příruba (Obr. 16) má celkovou délku 25,5 mm a dva soustředné otvory s roztečí 19 mm. Menší otvor má průměr 8,7 mm a délku 13 mm a větší otvor, který je na nátrubku o průměru 9,4 mm a délce 20,5 mm, se rozšiřuje na průměr 12,7 mm s délkou 5 mm. Obvodové hrany mají zaoblení R0,2 mm. Celkový požadavek na drsnost je Ra 6,3. Hmotnost kusu je 98 g.



Obrázek 16. Výkres řešené příruby.

6.1 Volba materiálu

Příruby do nákladních vozidel jsou vyráběny z oceli. Nejčastěji jsou požadované materiály s označením 1.0715 (11SMn30) a 1.0038 (S235).

Nelegovaná automatová ocel 1.0715 je vhodná k obrábění na CNC strojích. Je určena pro sériovou výrobu rozměrově přesných dílů obráběním. Při obrábění lze používat vysokých řezných rychlostí. Využívá se především v automobilovém průmyslu a pro dosažení rozměrové přesnosti se profily vyrábějí nejčastěji tažením za studena. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 1,2) [34].

Tabulka 1. Chemické složení ocel 1.0715 [34].

Prvek	C max.	Mn	Si	P max.	S
Obsah (%)	0,14	0,90-1,30	0,05	0,11	0,27-0,33

Tabulka 2. Mechanické vlastnosti oceli 1.0715+C [34].

Tloušťka t [mm] **	Mez kluzu Rp0,2 min. [Mpa] *	Pevnost v tahu Rm [Mpa] *	Tažnost A min. [%]
$5 \leq t \leq 10$	440	510-810	6
$10 < t \leq 16$	410	490-760	7
$16 < t \leq 40$	375	460-710	8
$40 < t \leq 63$	305	400-650	9
$63 < t \leq 100$	245	360-630	9
* Pro ploché a speciální profily se může mez kluzu (Rp0,2) odchylovat o 10 % a pevnost o ± 10 %			
**Pro tloušťku <5 mm, se mechanické hodnoty dohodnou při objednávání			

Nelegovaná konstrukční ocel 1.0038 je v obvyklé jakosti válcovaná za tepla. Jde o nejběžněji používanou konstrukční ocel se zaručenou svařitelností. Má dobrou plasticitu, houževnatost a dobré ohybové vlastnosti za studena. Má široké využití v kovovýrobě a mnoha oborech

strojírenství. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 3,4) [35].

Tabulka 3. Chemické složení ocel 1.0038 [35].

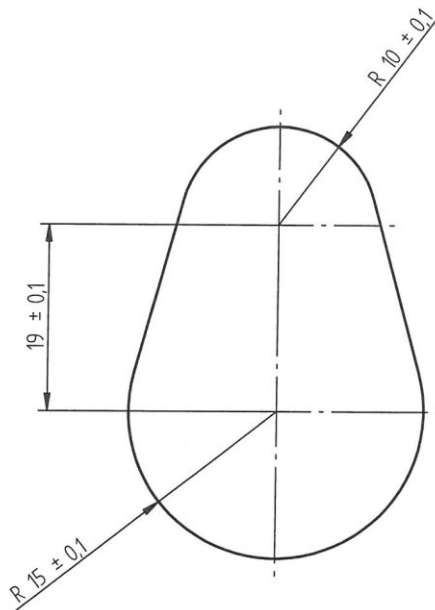
Prvek	C max.	Mn max.	N max.	P max.	S max.
Obsah (%)	0,17-0,20	1,40	0,009	0,045	0,045

Tabulka 4. Mechanické vlastnosti oceli 1.0038 [35].

Tloušťka t [mm]	Mez kluzu Re [Mpa]	Pevnost v tahu Rm	Tažnost A min. [%]
$t \leq 16$	235	360-510	26
$16 < t \leq 40$	225		
$40 < t \leq 63$			25
$63 < t \leq 100$	215	350-500	24
$100 < t \leq 150$	195		22
$150 < t \leq 200$	185		340-490
$200 < t \leq 250$	175		

6.2 Návrh polotovaru

Navrhovaným materiálem je ocelový profil dle návrhu (Obr. 17), který bude dodáván v 3 m délkách. Základní parametry profilu jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 5). Uvedený profil byl zvolen z toho důvodu, aby se vnější tvar již nemusel obrábět. Z hlediska srovnání byl zvolen profil z oceli 1.0715.



Obrázek 17. Výkres profilu.

Tabulka 5. Základní parametry profilu.

Plocha průřezu	1002,05 mm ²
Hmotnost	7,87 Kg/m
Délka	3.000 0/+100 mm
Cena	79 Kč/kg

Pro všechny tři varianty konvenční výroby bude spotřeba materiálu stejná. Základní parametry pro výpočet spotřeby materiálu jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 6).

Tabulka 6. Základní parametry pro výpočet spotřeby materiálu.

Plocha průřezu	1002,05 mm ²
Délka kusu	25,5 mm
Úpich	3 mm
Prořez	1 mm
Hustota ocel	7,89 kg/m ³

Určení délky přířezu, spotřeby materiálu a ceny materiálu 1 ks výrobku jsou uvedeny níže, formou jednotlivých výpočtů (Rov. 1-6).

Délka přířezu:

$$Délka\ přířezu = Délka\ kusu [mm] + úpich [mm] + prořez [mm] \quad (1)$$

$$Délka\ přířezu = 25,5 + 3 + 1 = 29,5\ mm \quad (2)$$

Spotřeba materiálu na 1 ks:

$$Spotřeba = Plocha\ průřezu [mm^2] * délka\ přířezu [mm] \quad (3)$$

$$* hustota \left[\frac{kg}{m^3} \right] / 1.000$$

$$Spotřeba = 1002,05 * 29,5 * \frac{7,89}{1000} \cong 233,3\ g = 0,2333\ kg \quad (4)$$

Cena materiálu 1 ks:

$$Cena = cena\ materiálu [Kč/kg] * spotřeba [kg] \quad (5)$$

$$Cena = 79 * 0,2333 \cong 18,5\ Kč/ks \quad (6)$$

7 HODNOCENÍ VÝROBNÍCH KONCEPTŮ

7.1 Ekonomické hodnocení

Ekonomické hodnocení je provedeno na základě stanovených hodinových sazeb jednotlivých výrobních konceptů.

7.1.1 Rozpočtová kalkulace

K zjištění, zda daná technologie/výrobní koncept je neekonomičtější slouží rozpočtová kalkulace. V rozpočtové kalkulaci se definují jednotlivé náklady a na základě toho se stanoví hodinová sazba. Pro stanovení hodinové sazby je nutné spočítat jednicové náklady (přímé náklady), režijní náklady a náklady na mzdy. Základním předpokladem pro konkurenceschopnou cenu velkoobjemových dílů do automobilového průmyslu je výroba v nepřetržitém provozu.

Pro výpočet přímé režie je potřeba znát pořizovací náklady a náklady na provoz technologie. Z pořizovacího nákladu se stanoví roční odpis (Rov. 7). Náklady na nové technologie je dle zákona možné odepisovat po dobu 6 let. K odpisu je nutné přičíst roční náklady na provoz technologie jako náklad na energii, údržbu, opravy, chemii a úroky z úvěru (Rov. 8). Jedná se o předpokládaný odhad nákladů na základě zkušeností. Celkový roční náklad (Rov. 9) se podělí počtem hodin. Pro nepřetržitý provoz bylo vycházeno z 320 dní x 21 hodin, tj. 6720 hodin za rok. Toto je čistý čas využití očištěný o přestávky a dovolené. Tento čas je dále očištěn o prostoje stroje a seřizovací časy, tudíž reálné využití pracoviště bude uvažováno 80 % z čistého času 6720 hodin za rok, tj. 5376 hodin za rok (Rov. 10).

$$\text{Odpis } (Od) = \frac{\text{Náklad technologie [Kč]}}{6 [\text{rok}]} \quad (7)$$

$$\text{Náklady na provoz technologie } (N_{pt}) \quad (8)$$

$$= \sum (\text{chemie} + \text{úvěry z úroků} + \text{energie} + \text{údržba}) [\text{Kč}]$$

$$\text{Roční náklad } (N_r) = \sum (Od + N_{pt}) [\text{Kč}] \quad (9)$$

$$\text{Přímá režie } (PR) = \frac{N_r [\text{Kč}]}{5.376 [\text{hod}]} \quad (10)$$

Nepřímou režii má každá firma jinou. Tady může nastat hlavní rozdíl, proč výsledná cena výrobku není konkurenceschopná. Do kalkulace této režie se zahrnují náklady, které nelze přímo přiřadit. Jsou to náklady na správu (administrativní zaměstnanci, účetní, manažeři, a další), všeobecné provozní náklady (údržba prostorů, pronájem, náklady na vodu, a další), náklady na vývoj a výzkum, náklady na prodej a marketing, a v poslední řadě náklady na pojištění, poplatky bankám, aj. Roční náklad se podělí počtem normohodin (Rov. 11). Pro výpočty byla stanovena nepřímá režie 300 Kč/hod.

$$\text{Nepřímá režie (NR)} = \frac{\text{Roční náklad [Kč]}}{\text{Normohodiny [hod]}} \quad (11)$$

Třetí složkou hodinové sazby je osobní náklad pracovníka (Tab. 7). Pro operaci obrábění bylo počítáno s hrubou měsíční mzdou 35.000 Kč, ke které bylo přičteno 34 % na odvod sociálního a zdravotního pojištění a 20 % na dovolené a příplatky (Rov. 12). Měsíční mzda byla podělena počtem 163 hodin za měsíc. Pro přidružené operace bude počítáno s hrubou měsíční mzdou 25.000 Kč.

$$\text{Osobní náklad (ON)} = \frac{\text{Hrubá měsíční mzda} + 54\% \text{ [Kč]}}{\text{Počet hodin za měsíc [hod]}} \quad (12)$$

Tabulka 7. Osobní náklad.

Operace	Osobní náklad [Kč/hod]
Obrábění	331
Přidružená	237

Po sečtení všech tří složek nákladu se získá nákladová hodinová sazba na pracoviště.

Výpočet hodinové sazby:

$$\text{Hodinová sazba (S}_h\text{)} = \sum (PR + NR + ON) \text{ [Kč/hod]} \quad (13)$$

7.1.2 Kalkulace dílu

Pro výpočet nákladové ceny výroby na kus se první vypočítá hodinová norma výroby (Rov. 14). A poté se touto normou podělí hodinová sazba a získá se nákladová cena výroby jednoho kusu (Rov. 15).

$$\text{Hodinová norma výroby } (NV_h) = \frac{3600 \text{ [s]}}{\text{cyklový čas výroby jednoho kusu [s]}} \quad (14)$$

$$\text{Náklad výroby jednoho kusu } (N_V) = \frac{\text{hodinová sazba [Kč]}}{\text{norma [ks/hod]}} \quad (15)$$

7.2 Technické hodnocení

Základním předpokladem pro takto zvolené výrobní koncepty je roční množství 200.000 ks. Konvenční technologie jsou navrhnuty na základě zkušeností s obráběním podobných dílů z hliníku. Na trhu se začali v posledních letech objevovat i 3D Kovo tisk pro sériovou výrobu. Z toho důvodu byla tato technologie zařazena do srovnání s tradiční konvenční výrobou.

8 VÝROBA KOMPONENTU SOUSTRUŽENÍM

První způsob výroby, který je porovnáván, je výroba komponentu soustružením. Pro soustružení byl zvolen CNC soustruh INDEX C200 výrobce Index Traub. Tento výrobce bych zvolen na základě doporučení, referencí a zkušeností s výrobou dílů pro automobilový průmysl. Výroba celého komponentu bude probíhat na tomto stroji včetně automatického zakládání tyčí.

Návrh postupu výroby řešené příruby je uveden v následující tabulce (Tab. 8).

Tabulka 8. Technologický postup (technologie soustružení).

Číslo operace	Operace
1.	Hrubování nátrubku d15,4 mm (hlavní vřeteno)
2.	Šlichtování průměru a čela (hlavní vřeteno)
3.	Vrtání d9,4 mm a d8,4 mm (hlavní vřeteno)
4.	Srážení hran otvorů (hlavní vřeteno)
5.	Odjehlení hran obvodu (hlavní vřeteno)
6.	Upichnutí (hlavní vřeteno)
7.	Soustružení čela (proti vřeteno)
8.	Vrtání d12,7 mm (proti vřeteno)
9.	Srážení hran otvorů (proti vřeteno)
10.	Odjehlení hran obvodu (proti vřeteno)

8.1 Výrobní koncept

8.1.1 Index C200

CNC soustruh INDEX C200 (Obr. 18) je vhodný na výrobu standardních i složitých soustružených dílů. Technické parametry stroje jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 9).



Obrázek 18. INDEX C200.

Tabulka 9. Technické parametry INDEX C200.

Výrobce	INDEX
Typ	C200
System	iXpanel (Siemens 840D sl)
Max. průměr	65 mm
Max. rychlost	6.000 ot/min
Max. hmotnost obrobku	3,5 kg
Pracovní plocha	550 mm

8.1.2 Zakladač tyčí KONTUR 70

Typ podavače KONTUR 70 (Obr. 19) od výrobce FMB zakládá do stroje tyče různých asymetrických profilů. Technické parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 10).



Obrázek 19. Podavač tyčí KONTUR 70.

Tabulka 10. Technické parametry podavač KONTUR 70.

Výrobce	FMB
Typ	KONTUR 70
Délka tyče	3.200 mm
Průměr tyče	20-70 mm
Kapacita zásobníku	265 mm
Rychlost posuvu	0-500 mm/s
Rychlost návratu	0-1.000 mm/s

8.2 Kalkulace nákladů a cena výroby

V tabulce 11 jsou znázorněny pořizovací náklady technologie a v tabulce 12 jsou uvedeny roční náklady na provoz této technologie.

Tabulka 11. Pořizovací náklady (technologie soustružení).

Stroj	Pořizovací náklad [Kč]
INDEX C200	15.300.000
KONTUR 70	2.600.000

Tabulka 12. Roční náklady na provoz (technologie soustružení).

Položky nákladu	Roční náklad [Kč]
Chemie	100.000
Energie	360.000
Úroky z úvěru	1.070.000
Opravy, údržba	100.000

Kalkulace přímé reže:

$$Od = \frac{15.300.000 + 2.600.000}{6} \cong 2.990.000 \text{ Kč} \quad (16)$$

$$N_{pt} = 100.000 + 360.000 + 1.070.000 + 100.000 = 1.630.000 \text{ Kč} \quad (17)$$

$$N_r = 2.990.000 + 1.630.000 = 4.620.000 \text{ Kč} \quad (18)$$

$$PR = \frac{4.620.000}{5.376} \cong 860 \text{ Kč} \quad (19)$$

Výpočet hodinové sazby:

Díky vysoké automatizaci stroje, pracovník zvládne obsluhovat dva takové soustruhy. V tomto případě bylo uvažováno s dvoustrojovou obsluhou. Osobní náklad byl podělen dvěma.

$$S_h = 860 + 300 + \left(\frac{331}{2}\right) \cong 1.326 \text{ Kč/h} \quad (20)$$

Kalkulace výroby jednoho kusu:

Výrobce udává odhadovaný cyklový čas výroby jednoho kusu 55 s plus odchylka 10 %.

$$NV_h = \frac{3.600}{55 * 1,10} \cong 59 \text{ ks/hod} \quad (21)$$

$$N_v = \frac{1.326}{59} \cong 22,5 \text{ Kč/ks} \quad (22)$$

Odhad ceny spotřebních nástrojů je dle výrobce 1 Kč/ks. Přehled nákladů výroby je uveden v následující (Tab. 13). Výsledná nákladová cena komponentu vyráběná soustružením je 42,0 Kč/ks.

Tabulka 13. Přehled nákladů na kus (technologie soustružení).

Položka nákladu	Cena [Kč]
Obrábění	22,5
Přidružené operace	-
Spotřební nástroje	1,0
Materiál	18,5

9 VÝROBA KOMPONENTU FRÉZOVÁNÍM

Pro způsob výroby frézováním bylo zvoleno CNC obráběcí centrum DZ 15 W Magnum High Speed od výrobce Chiron. K centru byla přidána robotická buňka, kterou vyvinula firma Zálesí a.s. k frézovacím centrům značky Chiron. Přidruženou operací je řezání profilu na požadovanou délku polotovaru včetně přídavek. Nejprve se tedy nařežou na pile přířezy, které pak robot založí do frézovacího centra, kde bude díl kompletně obroben na 1 upnutí. Stroj je vybaven otočným stolem a CNC otočnou 4. osou. Na jednu stranu desky budou upnuty 4ks. Na jednom vřetenu se obrábí 2ks.

Návrh postupu výroby řešené příruby je uveden v následující tabulce (Tab. 14).

Tabulka 14. Technologický postup (technologie frézování).

Číslo operace	Operace
1.	Hrubování nátrubku d15,4 mm (0°)
2.	Šlichtování průměru a čela (0°)
3.	Vrtání d9,4 mm a d8,4 mm (0°)
4.	Srážení hran otvorů (0°)
5.	Odjehlení hran obvodu (0°)
6.	Frézování čela (180°)
7.	Vrtání d12,7 mm (180°)
8.	Srážení hran otvorů (180°)
9.	Odjehlení hran obvodu (180°)

9.1 Výrobní koncept

9.1.1 Chiron DZ15 W Magnum High Speed

Robustní dvouvřetenové CNC obráběcí centrum (Obr. 20) je vhodné pro velkosériovou výrobu. Stroj je vybaven košovým výměníkem nástrojů a výměníkem obrobků pro nakládání a vyjímání za provozu stroje. Technické parametry centra jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 15).



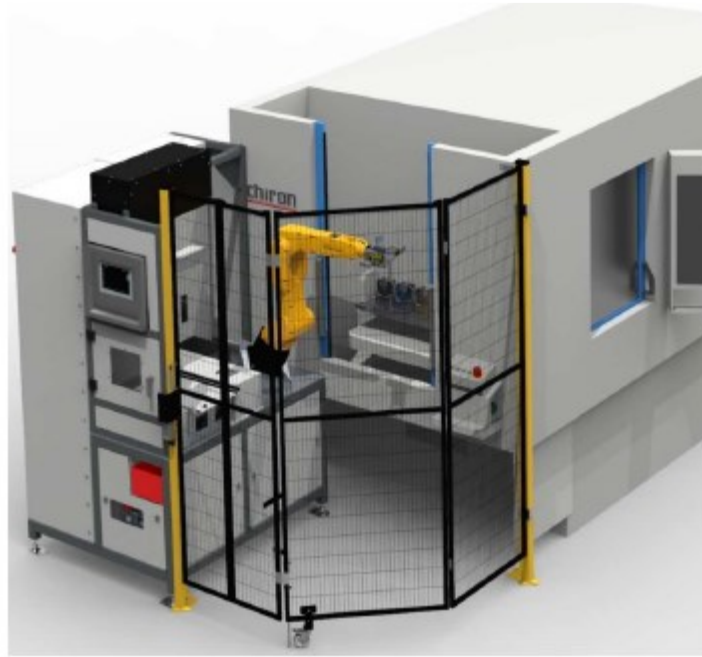
Obrázek 20. Chiron DZ15.

Tabulka 15. Technické parametry Chiron DZ 15.

Výrobce	CHIRON Group
Typ	DZ 15 W Magnum High Speed
System	SIEMENS
Pojezdy	X 630 mm - Y 400 mm - Z 360 mm
Rychloposuv	75 m/min
Počet vřeten	2
Krouticí moment	max. 180 Nm
Počet nástrojových míst	2 x 24

9.1.2 Robotická buňka

K obráběcímu centru značky Chiron vyvinula společnost Zálesí Robotics svou robotickou buňku (Obr. 21) pro zakládání dílů do stroje včetně ofuku dílů a kamerové kontroly základních rozměrů obrobku.



Obrázek 21. Robotická buňka.

9.1.3 Pila pásová CM602

Hydraulická automatická pila CM602 (Obr. 22) je vybavena speciálními čelistmi svěráku podávacího vozíku pro řezání speciálních tvarových profilů. Výrobce garantuje toleranci řezání $\pm 0,15\text{mm}$. Dělicí hlava je určena k dělení ocelového materiálu. Technické parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 16).



Obrázek 22. Pila pásová CM602.

Tabulka 16. Technické parametry pila pásová CM602.

Výrobce	BLM GROUP
Typ	CM602
Průměr tyče	12-65 mm
Max. délka řezu	5-500 mm
Rychlost řezání	15-300 rpm
Délka tyče	2.000-8.500 mm

9.2 Kalkulace nákladů a cena výroby

První se vypočítá operace obrábění. V tabulce 17 jsou znázorněny pořizovací náklady technologie a v tabulce 18 jsou roční náklady na provoz technologie.

Tabulka 17. Pořizovací náklady (technologie frézování).

Stroj	Pořizovací náklad [Kč]
DZ15	14.000.000
Přípravky	1.300.000
Robot	3.000.000

Tabulka 18. Roční náklady na provoz (technologie frézování).

Položky nákladu	Roční náklad [Kč]
Chemie	150.000
Energie	330.000
Úroky z úvěru	1.100.000
Opravy, údržba	100.000

Kalkulace přímé reže:

$$Od = \frac{14.000.000 + 1.300.000 + 3.000.000}{6} \cong 3.050.000 \text{ Kč} \quad (23)$$

$$N_{pt} = 150.000 + 330.000 + 1.100.000 + 100.000 = 1.680.000 \text{ Kč} \quad (24)$$

$$N_r = 3.050.000 + 1.680.000 = 4.730.000 \text{ Kč} \quad (25)$$

$$PR = \frac{4.730.000}{5.376} \cong 880 \text{ Kč} \quad (26)$$

Výpočet hodinové sazby:

Díky robotické buňce, která obsluhuje stroj nepřetržitě není třeba, aby obsluha stála u stroje, proto byla počítána třístrojová obsluha. Osobní náklad byl podělen třemi.

$$S_h = 880 + 300 + \left(\frac{331}{3}\right) \cong 1.291 \text{ Kč/h} \quad (27)$$

Kalkulace výroby jednoho kusu:

Výrobce udává odhadovaný cyklový čas výroby jednoho kusu 52 s plus odchylka 10 %.

$$NV_h = \frac{3.600}{52 * 1,10} \cong 62 \text{ ks/hod} \quad (28)$$

$$N_v = \frac{1.291}{62} \cong 20,9 \text{ Kč/ks} \quad (29)$$

Náklady na přidruženou operaci řezání jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 19, 20).

Tabulka 19. Přehled pořizovacích nákladů (řezání).

Stroj	Požizovací náklad [Kč]
Adige CM602	3.300.000

Tabulka 20. Roční náklady na provoz (řezání).

Položky nákladu	Roční náklad [Kč]
Chemie	0
Energie	270.000
Úroky z úvěru	190.000
Opravy, údržba	50.000

Kalkulace přímé reže:

$$Od = \frac{3.300.000}{6} = 550.000 \text{ Kč} \quad (30)$$

$$N_{pt} = 0 + 270.000 + 50.000 + 198.000 = 518.000 \text{ Kč} \quad (31)$$

$$N_r = 550.000 + 518.000 = 1.068.000 \text{ Kč} \quad (32)$$

$$PR = \frac{1.068.000}{5.376} \cong 199 \text{ Kč} \quad (33)$$

Výpočet hodinové sazby:

Díky vysoké automatizaci pily, pracovník zvládne obsluhovat dvě takové zařízení. V tomto případě bylo uvažováno s dvoustrojovou obsluhou. Osobní náklad byl podělen dvěmi.

$$S_h = 199 + 300 + \left(\frac{237}{2}\right) \cong 618 \text{ Kč/h} \quad (34)$$

Kalkulace výroby jednoho kusu:

Výrobce udává odhadovaný cyklový čas výroby jednoho kusu 4 s plus odchylka 10 %.

$$NV_h = \frac{3.600}{4 * 1,10} \cong 818 \text{ ks/hod} \quad (35)$$

$$N_v = \frac{618}{818} \cong 0,8 \text{ Kč/ks} \quad (36)$$

Odhad ceny spotřebních nástrojů je dle výrobce 5 Kč/ks. Přehled nákladů výroby je uveden v následující tabulce (Tab. 21). Výsledná nákladová cena komponentu vyráběná frézováním je 46,2 Kč/ks.

Tabulka 21. Přehled nákladů na kus (technologie frézování).

Položka nákladu	Cena [Kč]
Obrábění	20,9
Přidružené operace	0,8
Spotřební nástroje	6,0
Materiál	18,5

10 VÝROBA KOMPONENTU TRANSFEROVOU TECHNOLOGIÍ

Jako třetí způsob výroby byl zvolen rotační transferový stroj Hydromat HB 32/16 od výrobce HME AG Maschinenbau. Jedná se o vysoce produktivní šesnástanicový Hydromat s automatickým zakládáním tyčí. Otočný stůl postupně posouvá obrobek na jednotlivé stanice, kde se provádí jednotlivé operace. Nejdelší prováděná operace, je zároveň cyklový čas výroby celého kusu.

Návrh postupu výroby řešené příruby je uveden v následující tabulce (Tab. 22).

Tabulka 22. Technologický postup (transferová technologie).

Číslo operace	Operace
1.	Řezání přířezu
2.	Pře-frézování plochy
3.	Vrtání d12,7 mm
4.	Srážení hrany otvoru d12,7 mm
5.	Srážení hrany pro otvor d8,7 mm
6.	Odjehlení hran obvodu
7.	Otočná stanice
8.	Hrubování d15,4 mm
9.	Vrtání d9,4 mm
10.	Vrtání d8,7 mm
11.	Srážení hran otvorů
12.	Pře-frézování plochy
13.	Odjehlení hran obvodu

10.1 Výrobní koncept

10.1.1 Hydromat HB32/16

Rotační transferový stroj (Obr. 23) má 16 horizontálních a 8 vertikálních nástrojových jednotek pevně namontovaných kolem přesného litinového prstence. Toto uspořádání poskytuje obrovskou všestrannost a flexibilitu v řešení obrábění na klíč. Tento koncept stroje je vhodný pro masovou výrobu. Základní technické parametry jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 23)



Obrázek 23. Hydromat HB 32/16.

Tabulka 23. Technické parametry Hydromat HB 32/16.

Výrobce	HME AG MASCHINEBAU
Typ	Hydromat HB 32/16 CNC
System	FANUC 30i-B
Pojezdy – frézovací jednotky	X +/- 30 mm, Y +/- 35 mm, Z 100 mm
Pojezdy – soustružící jednotky	X +/- 10 mm, Z 100 mm
Max. rozměr obrobku	D52 mm / 50x60x60 mm
Zakládání tyčí	3.000-6.000 mm

10.2 Kalkulace nákladů a cena výroby

V tabulce 24 jsou uvedeny pořizovací náklady technologie a v tabulce 25 jsou roční náklady na provoz technologie.

Tabulka 24. Pořizovací náklady (transferová technologie).

Stroj	Pořizovací náklad [Kč]
Hydromat	39.500.000
Přípravky	500.000

Tabulka 25. Roční náklady na provoz (transferová technologie).

Položky nákladu	Roční náklad [Kč]
Chemie	500.000
Energie	520.000
Úroky z úvěru	2.400.000
Opravy, údržba	150.000

Kalkulace přímé reže:

$$Od = \frac{39.500.000 + 500.000}{6} \cong 6.667.000 \text{ Kč} \quad (36)$$

$$N_{pt} = 500.000 + 520.000 + 2.400.000 + 150.000 = 3.570.000 \text{ Kč} \quad (37)$$

$$N_r = 6.667.000 + 3.570.000 = 10.237.000 \text{ Kč} \quad (38)$$

$$PR = \frac{10.237.000}{5.376} \cong 1904 \text{ Kč} \quad (39)$$

Výpočet hodinové sazby:

$$S_h = 1904 + 300 + 331 = 2.535 \text{ Kč/h} \quad (40)$$

Kalkulace výroby jednoho kusu:

Výrobce udává odhadovaný cyklový čas výroby jednoho kusu 12,4 s + 10 %.

$$NV_h = \frac{3.600}{12,4 * 1,1} \cong 263 \text{ ks/hod} \quad (41)$$

$$N_v = \frac{2.535}{263} \cong 9,7 \text{ Kč/ks} \quad (42)$$

Odhad ceny spotřebních nástrojů je dle výrobce 4 Kč/ks. Přehled nákladů výroby je uveden v následující tabulce (Tab. 26). Výsledná nákladová cena komponentu vyráběná na transferové technologii je 32,2 Kč/ks.

Tabulka 26. Přehled nákladů na kus (transferová technologie).

Položka nákladu	Cena [Kč]
Obrábění	9,7
Přidružené operace	-
Spotřební nástroje	4
Materiál	18,5

11 VÝROBA KOMPONENTU ADITIVNÍ TECHNOLOGIÍ

Pro výrobu komponentu aditivní technologií byla zvolena metoda výroby založená na tryskání pojiva (Binder Jetting). Tato technologie je určena pro hromadnou výrobu menších, tvarově složitějších dílů. Výrobní přesnosti této technologie lze optimalizovat softwarovou simulací a definování korekcí skrz zpětnou simulaci. Výroba v tolerancích cca +/-0,15 až +/-0,3 mm. Při slinování dochází k řízenému smrštění dílu a deformacím. Simulační software dokáže odhalit nežádoucí deformaci a přizpůsobit tak vstupní geometrii dílu. Z výkresové dokumentace dílu je patrné, že pokud bude nutné dodržet předepsané tolerance tvaru a polohy, bude nutné díl vyrobit s přídatky a následně doobrobit.

Technologie je vícezkroková: 1. fáze stavba geometrie dílů, 2. fáze čištění od okolního prášku, 3. fáze slinování v sintrovací peci.

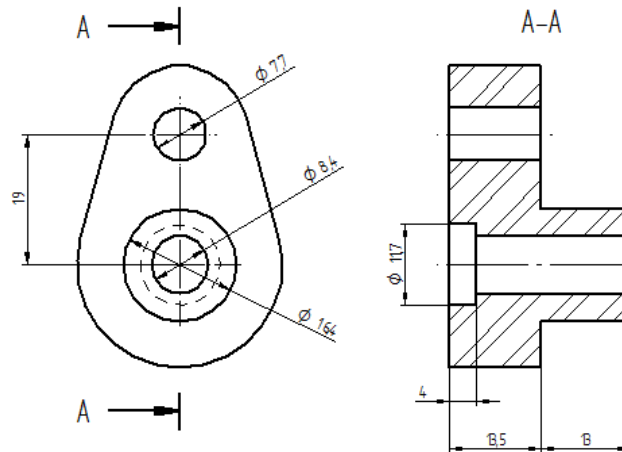
11.1 Materiál M300

Pro tryskání bude použit materiál s označením M300, což je nástrojová ocel (1.6354) charakteristická vysokou pevností v tahu a tvrdostí. Jeho primární legující prvky jsou Ni, Co, Mo a nízký obsah C (Tab. 27). Tyto slitiny napomáhají vynikajícím mechanickým vlastnostem, které vznikají při tepelném zpracování. Zatímco nástrojové oceli s vysokým obsahem uhlíku jsou náročné na zpracování pomocí aditivní výroby, specifická legovací směs umožňuje snadnější tavení práškového lože [36].

Tabulka 27. Chemické složení ocel M300 [36].

Prvek	Obsah [%]
Fe	zůstatek
Co	7,0-9,0
Ni	17,0-19,0
Mo	4,5-5,2
Ti	0,3-1,2
Cr max.	0,5
Al max	0,15
P max.	0,03
C max.	0,03
S max.	0,01

Z důvodu tolerancí na výkrese je nutné počítat s přídavkem materiálu (Obr. 24). Základní parametry pro výpočet spotřeby materiálu jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 28).



Obrázek 24. Výkres tisknutého polotovaru s přídavkem materiálu.

Tabulka 28. Základní parametry pro výpočet spotřeby materiálu.

Hmotnost kusu s přídavkem	109 g
Cena materiálu	1.250 Kč/kg

Výpočet ceny materiálu na 1 ks:

$$Cena = cena\ materiálu\ [Kč/kg] * hmotnost\ kusu\ s\ přídavkem\ [kg] \quad (43)$$

$$Cena = 1.250 * 0,109 \cong 136,3\ Kč/ks \quad (44)$$

11.2 Výrobní koncept

11.2.1 Shop System

Zařízení Shop System (Obr. 25) se skládá z tiskárny, zařízení na odstranění prášku a sintrovací pece. Zařízení s rychlostí až 700 cm³/hod, je schopné produkovat až 70 kg kovových dílů denně. Základní technické parametry tiskárny jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 29)



Obrázek 25. Shop Systém.

Tabulka 29. Technické parametry Shop Systém.

Výrobce	Desktop Metal
Typ	Shop System
Technologie tisku	Binder Jetting (tryskání pojiva)
Výška vrstvy	50-100 μm
DPI	1 600 DPI
Stavební prostor	8L: 350 x 222 x 100 mm
Max. rychlost tisku	700 cm^3/hod
Směr tisku	Jednosměrný
Modul tryskání	70 000 trysek

11.3 Kalkulace nákladů a cena výroby

V tabulce 30 jsou znázorněny pořizovací náklady technologie a v tabulce 31 jsou roční náklady na provoz technologie.

Tabulka 30. Pořizovací náklady (aditivní technologie).

Stroj	Pořizovací náklad [Kč]
Shop system	10.200.000

Tabulka 31. Roční náklady na provoz (aditivní technologie).

Položky nákladu	Roční náklad [Kč]
Chemie	0
Energie	35.000
Úroky z úvěru	612.000
Opravy, údržba	50.000

Kalkulace přímé reže:

$$Od = \frac{10.200.000}{6} \cong 1.700.000 \text{ Kč} \quad (46)$$

$$N_{pt} = 0 + 35.000 + 612.000 + 50.000 = 697.000 \text{ Kč} \quad (47)$$

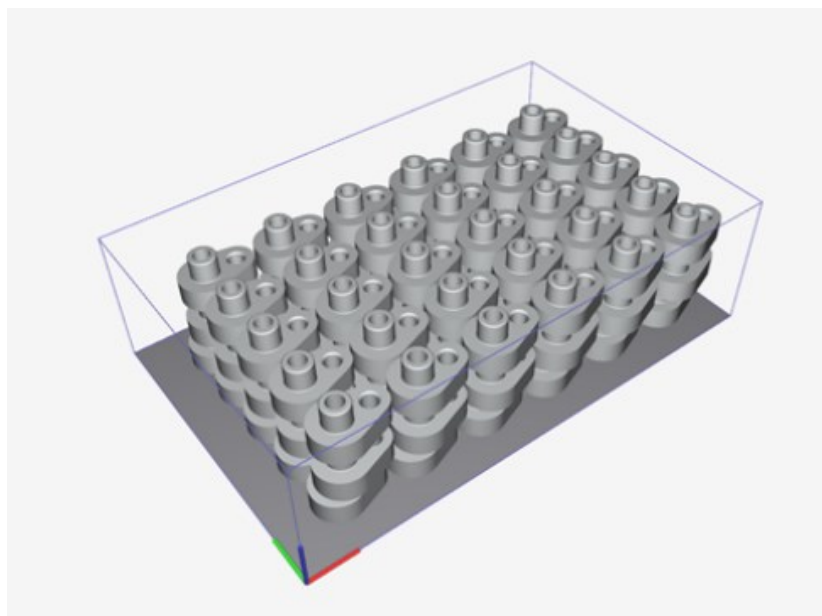
$$N_r = 1.700.000 + 697.000 = 2.397.000 \text{ Kč} \quad (48)$$

$$PR = \frac{2.397.000}{5.376} \cong 446 \text{ Kč} \quad (49)$$

Výpočet hodinové sazby:

Do tiskové komory se vejde 90 ks to znamená (Obr. 26), že celý proces tisku bude trvat ca 20 hodin. Není potřeba, aby byl stroj obsluhován, odpadá tedy osobní náklad.

$$S_h = 446 + 300 + 0 = 746 \text{ Kč/h} \quad (50)$$



Obrázek 26. Návrh tiskové komory.

Kalkulace výroby jednoho kusu:

Výrobce udává odhadovaný cyklový čas výroby jednoho kusu 800 s.

$$NV_h = \frac{3.600}{800} \cong 4,5 \text{ ks/hod} \quad (51)$$

$$N_V = \frac{746}{4,5} \cong 165,8 \text{ Kč/ks} \quad (52)$$

Pro výpočet přidružené operace doobrobení dílu se použije již zkalkulovaný druhý koncept výroby – frézovací centrum značky Chiron DZ 15. Z popisovaného postupu výroby tohoto druhého konceptu odpadne operace hrubování.

Kalkulace přidružené operace výroby jednoho kusu:

Výrobce udává odhadovaný cyklový čas výroby jednoho kusu 42 s plus odchylka 10 %.

$$NV_h = \frac{3.600}{42 * 1,10} \cong 77 \text{ ks/hod} \quad (53)$$

$$N_V = \frac{1.291}{77} \cong 16,8 \text{ Kč/ks} \quad (54)$$

Přehled nákladů výroby je uveden v následující tabulce (Tab. 32). Výsledná nákladová cena komponentu vyráběná 3D tiskem (tryskáním pojiva) je 318,9 Kč/ks.

Tabulka 32. Přehled nákladů na kus (aditivní technologie).

Položka nákladu	Cena [Kč]
Tisk dílu	165,8
Přidružené operace	16,8
Spotřební nástroje	-
Materiál	136,3

12 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBNÍCH KONCEPTŮ

Z ekonomického zhodnocení jednotlivých variant konceptů v rámci konvenční výroby je zřejmé (Tab. 33), že nejlépe vychází výroba přírub na transferové technologii.

Tabulka 33. Přehled cen konvenčních konceptů výroby.

Výrobní varianta	Cena za 1 ks [Kč]
Technologie soustružení	42,0
Technologie frézování	46,2
Transferová technologie	32,2

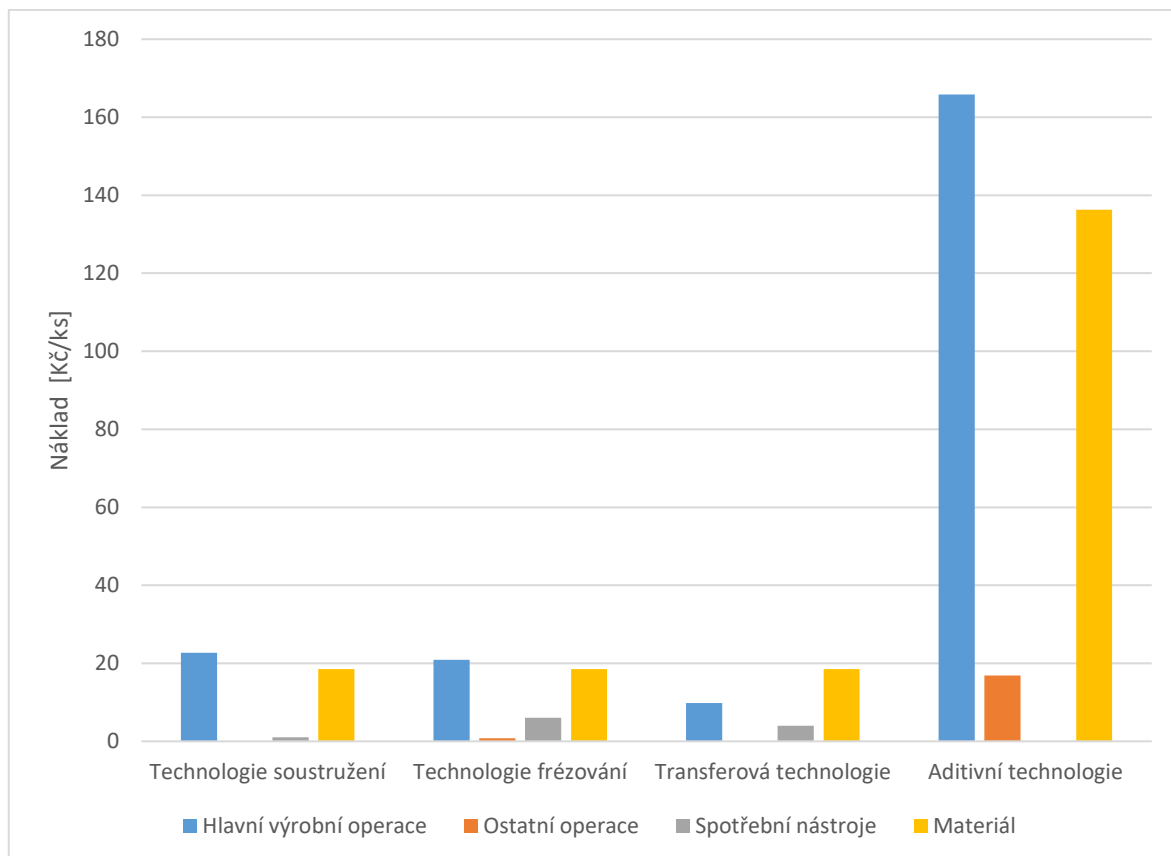
Ze srovnání konvenční a aditivní výroby příruby (Tab. 34) je jasné, že 3D tisk se neblíží nákladové ceně výroby konvenčními metodám. Pro sériovou výrobu tohoto charakteru zvolená aditivní technologie není vhodná. V porovnání s konvenčními metodami je nevyšší náklad u aditivní technologie především samotný 3D tisk a poté náklad na kovový prášek. Přehled nákladů jednotlivých technologií je zobrazen v následující tabulce (Tab. 35) a na následujícím obrázku (Obr. 27).

Tabulka 34. Srovnání konvenční a nekonvenční výroby.

Výrobní varianta	Cena za 1 ks [Kč]
Konvenční výroba	32,2-46,2
Nekonvenční (Aditivní) výroba	318,9

Tabulka 35. Přehled nákladů jednotlivých technologií.

	Technologie soustružení	Technologie frézování	Transferová technologie	Aditivní technologie
Položka nákladu	Cena [Kč]	Cena [Kč]	Cena [Kč]	Cena [Kč]
Hlavní výrobní operace (obrábění, 3D tisk)	22,5	20,9	9,7	165,8
Ostatní operace (řezání, doobrobení)	-	0,8	-	16,8
Spotřební nástroje	1,0	6,0	4,0	-
Materiál	18,5	18,5	18,5	136,3



Obrázek 27. Přehled nákladů.

ZÁVĚR

Prvním cílem bakalářské práce bylo navrhnout pro zadanou přírubu tři výrobní koncepty konvenční metodou výroby. Druhým cílem bylo navrhnout vhodnou nekonvenční metodu výroby s ohledem na sériový charakter komponentu. Následně ekonomicky vyhodnotit a srovnat navržené varianty. Před provedením zhodnocení bylo nutné se seznámit s teorií.

Teoretická část byla věnovaná problematikám technologického projektování výrobních procesů, konvenčním a nekonvenčním metodám výroby a zakončená kapitolou řízením nákladů a tvorbě cen ve firmě.

Úvod praktické části byl věnován popisu zadané příruby. Byl určen polotovar pro konvenční varianty výroby a byly stanoveny kalkulační vzorce pro tvorbu ceny. Následovali jednotlivé návrhy výrobních konceptů, které byly zvoleny s ohledem na sériové množství dílů 200.000 ks/rok. Každý výrobní koncept se volil s ohledem na maximální automatizaci procesu. U každé technologie výrobce uvedl pořizovací náklad a určil cyklový čas výroby. U varianty výroby aditivní technologií byl navrhnout polotovar včetně přídavků, který musel být po vytisknutí doobroben na požadované tolerance.

Na závěr práce byly srovnány výsledky třech navržených výrobních konceptů v rámci konvenční výroby a poté bylo provedeno srovnání konvenčního a aditivního způsobu výroby dané příruby.

Prvním variantou byla výroba komponentu soustružením na CNC soustružnickém centru s automatickým zakladačem tyčí. Nákladová cena komponentu vyšla na 42,0 Kč/ks. Druhou variantou byla výroba komponentu frézováním na CNC obráběcím centru s robotickým zakladačem přířezů. Nutností byla přidružená operace řezání tyčí na přířezy. Nákladová cena komponentu vyšla na 46,2 Kč/ks. Třetí variantou byla výroba komponentu na transferové technologii. Nákladová cena komponentu vyráběná na této technologii vyšla na 32,2 Kč/ks. Zde se dostal náklad za obrobení zhruba na polovinu ceny oproti předchozím konceptům. Pro nekonvenční způsob výroby byl zvolen 3D Kovo tisk. Pro sériový charakter byla doporučena technologie tryskání pojiva. Nákladová cena výroby se dostala na 318,9 Kč/ks.

Prvním výsledkem tohoto hodnocení bylo zjištění, že nejlevnější varianta z konvenčních metod výroby je třetí koncept – výroba transferovou technologií. Nákladová cena výroby je 32,2 Kč/ks. Druhým výsledkem tohoto hodnocení bylo zjištění, že aditivní výroba pro sériový charakter výroby prozatím cenově nekonkuruje konvenčním způsobům. Všechny

srovnávané koncepty konvenční metody se dostávají cenově několikanásobně níž než ve srovnání s navrhnutým konceptem aditivní výroby.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GROOVER, Mikell P. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. SI version. International adaptation. Singapore: John Wiley & Sons Singapore Pte., 2019. ISBN 978-1-119-70642-7.
- [2] JASKÓ, Szilárd; SKROP, Adrienn; HOLCZINGER, Tibor; CHOVÁN, Tibor a ABONYI, János. Development of manufacturing execution systems in accordance with Industry 4.0 requirements: A review of standard- and ontology-based methodologies and tools. Online. Computers in Industry. 2020, roč. 123. ISSN 01663615. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103300>. [cit. 2024-02-25].
- [3] ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN isbn80-214-2219-x.
- [4] GUPTA, Sushil a STARR, Martin Kenneth. Production and operations management systems. Boca Raton: CRC Press, c2014. ISBN 978-1-4665-0733-3.
- [5] DOLEŽAL, Jaroslav. SM 41 VÝROBNÍ TECHNOLOGICKÉ POSTUPY. Online. Dostupné z: https://eluc.ikap.cz/uploads/attachments/486/Vyrobní_tecnologicke_postupy.pdf. [cit. 2024-02-25].
- [6] YOUSSEF, Helmi A. a EL-HOFY, Hassan. Machining technology : machine tools and operations. -. CRC Press Taylor & Francis Group, 2008. ISBN 978-1-4200-4339-6.
- [7] SIGMA TECHNIK LIMITED. CNC Vs Conventional Machining: A Comparative Analysis. Online. Dostupné z: <https://www.sigmatechnik.com/cnc-factory/cnc-vs-conventional-machining-a-comparative-analysis>. [cit. 2024-03-14].
- [8] DILLINGER, Josef. Moderní strojírenství pro školu i praxi. Praha: Europa-Sobotáles cz, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [9] TRENT, Edward M. a WRIGHT, Paul K. Cutting tool materials II. Online. In: Metal Cutting. Elsevier, 2000, s. 175-226. ISBN 9780750670692. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-075067069-2/50009-7>. [cit. 2024-02-25].
- [10] SANDVIK COROMANT. Down milling vs. up milling. Online. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/down-milling-vs-up-milling>. [cit. 2024-02-25].

- [11] GUPTA, Kapil. Advanced manufacturing technologies: modern machining, advanced joining, sustainable manufacturing. Materials forming, machining and tribology. Cham, Switzerland: Springer, 2017. Dostupné z: <https://doi.org/9783319560991>
- [12] TUMLIKOVO. Geometrie frézy. Online. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/geometrie-nastroju/geometrie-frezy/>. [cit. 2024-02-25].
- [13] SURPLEX GMBH. Make the world go round: 7 facts about rotary transfer machines. Online. Dostupné z: <https://presse.surplex.com/pressreleases/make-the-world-go-round-7-facts-about-rotary-transfer-machines-3248528>. [cit. 2024-03-14].
- [14] MÁLEK, Michael. Aditivní technologie jsou velkou příležitostí. Online. Technický týdeník. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/blog/aditivni-technologie-jsou-velkou-prilezitosti_58192.html. [cit. 2024-02-25].
- [15] ŠPLÍCHAL, Jan. 3D tisk kovových materiálů. STROJIRENSTVI.CZ. 2020, roč. -, č. -, s.
- [16] JHINKWAN, Ankit; KALSI, Sachin a PANKAJ. An overview on 3D metal printing technology in automobile industry. Online. In: . 020028-. Dostupné z: <https://doi.org/10.1063/5.0120028>. [cit. 2024-02-25].
- [17] VTÍPIL, Jaroslav. Aditivní technologie (nejen) v leteckém průmyslu. Online. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/aditivni-technologie-nejen-v-leteckem-prumyslu>. [cit. 2024-02-25].
- [18] DRURY, Colin. Management and cost accounting. 10th edition. Andover: Cengage Learning, [2018]. ISBN 978-1-4737-4887-3.
- [19] CORPORATE FINANCE INSTITUTE. Cost Structure. Online. Dostupné z: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/accounting/cost-structure/>. [cit. 2024-03-14]. [cit. 2024-03-14].
- [20] COOPER, Cary L (ed.). Wiley Encyclopedia of Management. Online. Wiley, 2015. ISBN 9781119972518. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781118785317>. [cit. 2024-03-14].
- [21] ONEINDUSTRY. Soustružení. Online. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/lexikon/soustruzeni/>. [cit. 2024-03-17].

- [22] Obrázek univerzálního hrotového soustruhu SU18/2000A. Online. In: . Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/02000.html>. [cit. 2024-03-17].
- [23] TAJMAC-ZPS. Vertikální obráběcí centra ZPS. Online. Dostupné z: <https://www.tajmac-zps.cz/vertikalni-objabeci-centra>. [cit. 2024-03-17].
- [24] AMFG. Industrial Application of 3D Printing: The Ultimate Guide. Online. Dostupné z: <https://amfg.ai/industrial-applications-of-3d-printing-the-ultimate-guide/>. [cit. 2024-03-17].
- [25] MOYLAN, Shawn; WHITENTON, Eric; LANE, Brandon a SLOTWINSKI, John. Infrared thermography for laser-based powder bed fusion additive manufacturing processes. Online. In: . S. 1191-1196. Dostupné z: <https://doi.org/10.1063/1.4864956>. [cit. 2024-03-17].
- [26] ZPS - FRÉZOVACÍ NÁSTROJE. Nástroje. Online. Dostupné z: <https://www.zps-fn.cz/cz/divize-nastroje/>. [cit. 2024-03-17].
- [27] SANDVIK COROMANT. Soustružnické nástroje. Online. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/downloads>. [cit. 2024-03-17].
- [28] TEBIANIAN, Mohaddeseh; AGHAIE, Sara; RAZAVI JAFARI, Nazanin; ELMHOSSEINI, Seyed; PEREIRA, António et al. A Review of the Metal Additive Manufacturing Processes. Online. Materials. 2023, roč. 16, č. 24. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma16247514>. [cit. 2024-05-03].
- [29] SRIVASTAVA, Ashish Kumar; KUMAR, Ajay; KUMAR, Parveen; GAUTAM, Preeti a DOGRA, Namrata. Research Progress in metal additive manufacturing: Challenges and Opportunities. Online. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM). ISSN 1955-2513. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01661-6>. [cit. 2024-05-03].
- [30] WANG, Li; ZHANG, Zhaofa; ZHANG, Ruanzhi; TAI, Ze; LIU, Zhenghao et al. Non-heat source forming technology of binder jetting metal powder and its post-treatment process. Online. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2024, roč. 132, č. 3-4, s. 2077-2089. ISSN 0268-3768. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13451-9>. [cit. 2024-05-03].

- [31] HADZIHA FIZOVIC, Dzevad. Types of Flanges. Online. Dostupné z: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10395588>. [cit. 2024-05-04].
- [32] MOTO FOCUS. Nefunkčná klimatizácie: Ako postupovať pri výmene kompresora. Online. Dostupné z: <https://motofocus.sk/technika/22516,nefunkcna-klimatizacie-ako-postupovat-pri-vymene-kompresora>. [cit. 2024-05-15].
- [33] MAHLE BEHR. Vehicle Cooling. Online. Dostupné z: <https://www.mahle-aftermarket.com/media/homepage/facelift/media-center/klima/mah-kompaktwissen-ec-fahrzeugkuehlung-en-screen.pdf>. [cit. 2024-05-07].
- [34] BOGNER. Materiálový list oceli 1.0715. Online. Dostupné z: <https://www.bogner.cz/files/lists/1-0715.pdf>. [cit. 2024-05-07].
- [35] BOGNER. Materiálový list oceli 1.0038. Online. Dostupné z: <https://www.bogner.cz/files/lists/1-0038.pdf>. [cit. 2024-05-07].
- [36] XACT METAL. Material Data Sheet - M300. Online. Dostupné z: <https://software.xactmetal.com/md/datasheets/Material%20Data%20Sheet%20-%20M300%20%28Rev%201%29.pdf>. [cit. 2024-05-07].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

TPV	Technická příprava výroby
KPV	Konstrukční příprava výroby
TgPV	Technologická příprava výroby
PPV	Projektová příprava výroby
CNC	Computer Numerical Control – Počítačově řízený
NC	Numerical Control – Číslicově řízené
RO	Rychlořezné oceli
SK	Slinuté karbidy
PKD	Polykrystalický diamant
CBN	Kubický nitrid boru
AM	Additive manufacturing – Aditivní výroba
PBF	Powder Bed Fusion
DED	Direct Energy Deposition
BJ	Binder Jetting-Tryskání pojiva
SLM	Selective Laser Melting
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
SLS	Selective Laser Sintering
EBM	Electron Beam Melting
C	Uhlík
CO ₂	Oxid uhličitý
O ₂	Kyslík
Mn	Mangan
Si	Křemík
P	Fosfor
S	Síra

N	Dusík
Fe	Železo
Co	Kobalt
Ni	Nikl
Ti	Titan
Mo	Molybden
Cr	Chrom
Al	Hliník
t	Tloušťka
Re	Mez kluzu
Rp0,2	Smluvní mez kluzu
Rm	Mez pevnosti
A	Tažnost
Od	Odpis
N _{pt}	Náklady na provoz technologie
N _r	Roční náklad
PR	Přímá reže
NP	Nepřímá reže
ON	Osobní náklad
S _h	Hodinová sazba
NV _h	Hodinová norma výroby
N _v	Náklad výroby jednoho kusu
DPI	Dots per inch – Počet obrazových bodů

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Hlavní úseky TPV [3].	12
Obrázek 2. Pohyby při soustružení [21].	16
Obrázek 3. (a) čelní soustružení, (b) kuželové soustružení, (c) obrysové soustružení, (d) tvarové soustružení, (e) srážení hran, (f) odřezávání, (g) řezání závitů, (h) vyvrtávání, (i) vrtání a (j) rýhování [1].	17
Obrázek 4. Konstrukce soustružnického nože [27].	18
Obrázek 5. Frézování: a) sousledné, b) nesousledné [10].	19
Obrázek 6. Vertikální obráběcí centrum ZPS MVC1060i od firmy Tajmac-ZPS [23].	20
Obrázek 7. Příklady frézovacích nástrojů [26].	21
Obrázek 8. Transferová technologie.	22
Obrázek 9. Konstrukce rotačního transferového stroje.	23
Obrázek 10. 3D vytištěná injektorová hlava pro odpalovací zařízení [24].	24
Obrázek 11. Princip metody PBF [25].	26
Obrázek 12. Princip metody DED [29].	27
Obrázek 13. Schéma metody BJ [30].	28
Obrázek 14. Schéma chladicího okruhu [32].	33
Obrázek 15. Spojovací hadice klimatizace.	34
Obrázek 16. Výkres řešené příruby.	34
Obrázek 17. Výkres profilu.	37
Obrázek 18. INDEX C200.	43
Obrázek 19. Podavač tyčí KONTUR 70.	44
Obrázek 20. Chiron DZ15.	47
Obrázek 21. Robotická buňka.	48
Obrázek 22. Pila pásová CM602.	48
Obrázek 23. Hydromat HB 32/16.	53
Obrázek 24. Výkres tisknutého polotovaru s přídavkem materiálu.	56
Obrázek 25. Shop Systém.	57
Obrázek 26. Návrh tiskové komory.	58
Obrázek 27. Přehled nákladů.	61

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Chemické složení ocel 1.0715 [34].	35
Tabulka 2. Mechanické vlastnosti oceli 1.0715+C [34].	35
Tabulka 3. Chemické složení ocel 1.0038 [35].	36
Tabulka 4. Mechanické vlastnosti oceli 1.0038 [35].	36
Tabulka 5. Základní parametry profilu.	37
Tabulka 6. Základní parametry pro výpočet spotřeby materiálu.	37
Tabulka 7. Osobní náklad.	40
Tabulka 8. Technologický postup (technologie soustružení).	42
Tabulka 9. Technické parametry INDEX C200.	43
Tabulka 10. Technické parametry podavač KONTUR 70.	44
Tabulka 11. Pořizovací náklady (technologie soustružení).	44
Tabulka 12. Roční náklady na provoz (technologie soustružení).	44
Tabulka 13. Přehled nákladů na kus (technologie soustružení).	45
Tabulka 14. Technologický postup (technologie frézování).	46
Tabulka 15. Technické parametry Chiron DZ 15.	47
Tabulka 16. Technické parametry pila pásová CM602.	49
Tabulka 17. Pořizovací náklady (technologie frézování).	49
Tabulka 18. Roční náklady na provoz (technologie frézování).	49
Tabulka 19. Přehled pořizovacích nákladů (řezání).	50
Tabulka 20. Roční náklady na provoz (řezání).	50
Tabulka 21. Přehled nákladů na kus (technologie frézování).	51
Tabulka 22. Technologický postup (transferová technologie).	52
Tabulka 23. Technické parametry Hydromat HB 32/16.	53
Tabulka 24. Pořizovací náklady (transferová technologie).	53
Tabulka 25. Roční náklady na provoz (transferová technologie).	53
Tabulka 26. Přehled nákladů na kus (transferová technologie).	54
Tabulka 27. Chemické složení ocel M300 [36].	55
Tabulka 28. Základní parametry pro výpočet spotřeby materiálu.	56
Tabulka 29. Technické parametry Shop Systém.	57
Tabulka 30. Pořizovací náklady (aditivní technologie).	57
Tabulka 31. Roční náklady na provoz (aditivní technologie).	58
Tabulka 32. Přehled nákladů na kus (aditivní technologie).	59
Tabulka 33. Přehled cen konvenčních konceptů výroby.	60
Tabulka 34. Srovnání konvenční a nekonvenční výroby.	60

Tabulka 35. Přehled nákladů jednotlivých technologií.60

