



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**STABILIZACE KVALITY SUBTRAKTIVNÍHO
OBRÁBĚNÍ V LETECKÉM PRŮMYSLU**

QUALITY STABILIZATION OF SUBTRACTIVE MACHINING IN THE AEROSPACE
INDUSTRY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Kupský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Ph.D., DBA, FEng.

BRNO 2025

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. David Kupský
Studijní program:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Ph.D., DBA, FEng.
Akademický rok:	2024/25

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

Stabilizace kvality subtraktivního obrábění v leteckém průmyslu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Třískové obrábění v leteckém průmyslu stále hraje a bude hrát dominantní roli. Na její stabilitě se podílí řada faktorů, které působí v hodnototvorném řetězci. Eliminace jejich nežádoucích působení na hodnototvorný řetězec je důležitá proto, aby byla minimalizována neshodná produkce.

Cíle diplomové práce:

Současný stav řešené problematiky.
Systémový rozbor řešené problematiky.
Používané metody pro zajištění kvality subtraktivního obrábění vybrané součásti.
Navrhované nové řešení pro vybranou součást.
Technicko-ekonomické zhodnocení.
Doporučení pro další rozvoj.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. Praha: MM publishing, s.r.o., 2018. MM speciál. ISBN 978-80-247-4127-7.

JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. Expertní inženýrství v systémovém pojetí. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7.

MAREK, J. et al. Stavba a provoz CNC obráběcích strojů [online]. 1. vyd. Brno: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, FSI, VUT v Brně, 23.3.2023, updated, průběžně aktualizováno [cit. 07 09 2023]. Učebnice Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky, FSI, VUT v Brně, 1 svazek. Dostupné z: <https://www.os.fme.vutbr.cz>. ISBN 978-80-907452-4-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L.S.

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

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na stabilizaci kvality subtraktivního obrábění v leteckém průmyslu. Problematikou obrábění v letectví je různorodost obráběných dílců, vysoký stupeň bezpečnosti a spolehlivosti a špatná obrobitelnost používaných materiálů. Cílem procesu obrábění je vyrobit dílec s minimální požadovanou úrovní kvality za co nejnižší náklady a čas. Nejprve je popsán současný stav poznání v oblasti kvality, obrábění i leteckém průmyslu. Dále je podrobně rozebrán problém pomocí systémového rozboru. Na základě výstupů ze systémového rozboru je mapován proces obrábění, identifikace slabého místa a návrh nového řešení. Navržené nové řešení je demonstrováno na konkrétním dílci a následně i technicko-ekonomicky zhodnoceno. Ze všech provedených kroků jsou v poslední části definovány doporučení pro další rozvoj.

ABSTRACT

The thesis focuses on stabilizing the quality of subtractive machining in the aerospace industry. The main challenges of machining in aviation include the diversity of machined parts, a high level of safety and reliability requirements, and the poor machinability of the materials used. The goal of the machining process is to produce a component that meets the minimum required quality level at the lowest possible cost and in the shortest possible time. First, the current state of knowledge in the areas of quality, machining, and the aerospace industry is described. The problem is then analyzed in detail using a systems analysis approach. Based on the outcomes of this analysis, the machining process is mapped, weak points are identified, and a new solution is proposed. The proposed solution is demonstrated on a specific part and subsequently evaluated from both technical and economic perspectives. Based on all the steps taken, recommendations for further development are defined in the final section.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kvalita obrábění, kvalita v leteckém průmyslu, systém managementu kvality, mapování procesu, procesní FMEA analýza, metoda Pattern.

KEYWORDS

Quality machining, quality in the aerospace industry, quality management system, process mapping, process FMEA analysis, Pattern method.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUPSKÝ, David. *Stabilizace kvality subtraktivního obrábění v leteckém průmyslu*. Online, diplomová práce. Jiří MAREK (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/166240>. [cit. 2025-05-19].

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat hlavně panu prof. Dr. Ing. Jiřímu Markovi, Ph.D., DBA, FEng. za jeho cenné rady a vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům a vedení firmy za možnost spolupráce při tvorbě této práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Dr. Ing. Jiřího Marka, Ph.D., DBA, FEng. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 19.5.2025

.....

Kupský David

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE	17
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	19
3.1	Kvalita.....	19
3.1.1	Definice kvality a základní pojmy	19
3.1.2	Vývoj systému řízení kvality	21
3.1.3	Systém managementu kvality dle norem řady ISO 9000 (AS 9100).....	22
3.1.4	Nástroje pro řízení kvality	25
3.1.5	Způsoby zlepšování kvality	32
3.2	Subtraktivní obrábění.....	33
3.2.1	Základní pojmy a definice	33
3.2.2	Operace třískového obrábění	35
3.2.3	Úvod do obráběcích strojů.....	37
3.2.4	Přesnost obráběcích strojů	40
3.2.5	Údržba obráběcích strojů	41
3.2.6	Způsoby upnutí polotovaru.....	42
3.2.7	Strategie obrábění	45
3.3	Letecký průmysl	46
4	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	49
4.1	Vymezení entit ovlivňujících kvalitu obrábění.....	50
4.2	Vzájemné vazby mezi vymezenými entitami	54
4.3	Závěr ze systémového rozboru	55
5	FIRMOU POUŽÍVANÉ METODY PRO ZAJIŠTĚNÍ KVALITY SUBTRAKTIVNÍHO OBRÁBĚNÍ VYBRANÉ SOUČÁSTI	57
5.1	Kontext organizace	57
5.2	Materiál.....	58
5.3	Lidé	60
5.4	Výrobní stroje a nástroje.....	60
5.5	Technologie	61
5.6	Měření.....	61
5.7	Systém řízení.....	63
5.8	Zajištění kvality obráběné součásti.....	63
5.8.1	Popis zvolené součásti	63
5.8.2	Mapování procesu obrábění.....	64
5.8.3	Způsoby zajištění kvality součásti	66
6	NAVRHOVANÉ NOVÉ ŘEŠENÍ PRO ZVOLENOU SOUČÁST	69
6.1	Volba stroje.....	71
6.1.1	Mapování procesu volby stroje.....	72
6.1.2	FMEA analýza k volbě stroje	73
6.1.3	Metoda Pattern k volbě stroje.....	74
6.2	Definování způsobu upnutí polotovaru.....	77
6.2.1	Mapování procesu definování způsobu upnutí polotovaru.....	77
6.2.2	FMEA analýza k definování způsobu upnutí polotovaru	78
6.2.3	Metoda Pattern k definování způsobu upnutí polotovaru.....	78
6.3	Určení rezných podmínek a strategie obrábění.....	81

6.3.1	Mapování procesu určení řezných podmínek a strategie obrábění	81
6.3.2	FMEA analýza k určení řezných podmínek a strategie obrábění.....	82
6.3.3	Metoda Pattern k určení řezných podmínek a strategie obrábění	83
6.4	Kontrola opotřebení nástroje	85
6.4.1	Mapování procesu kontroly opotřebení nástroje	85
6.4.2	FMEA analýza ke kontrole opotřebení nástroje.....	85
6.5	Dodržování technologického postupu	86
6.5.1	Mapování procesu dodržování technologického postupu	86
6.5.2	FMEA analýza k procesu dodržování technologického postupu	87
6.6	Shrnutí metody Pattern pro kritické procesy	88
7	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	89
7.1	Zhodnocení metody Pattern.....	89
7.2	Zhodnocení návrhu nového řešení pro konkrétní díl.....	89
8	DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ ROZVOJ	93
9	ZÁVĚR.....	95
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	97
11	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	101
11.1	Seznam tabulek.....	101
11.2	Seznam obrázků.....	102
11.3	Seznam zkratk.....	103
12	SEZNAM PŘÍLOH.....	105

1 ÚVOD

Kvalita obrábění je velmi široký pojem, který je ovlivňován všemi částmi podniku, od výroby až po obchod. Proto je nutné na tuto problematiku nahlížet komplexněji, čehož lze dosáhnout aplikací systémového přístupu. V současné době nepředstavují největší problém ve výrobních podnicích definované procesy, ale způsoby, jakými tyto procesy interagují mezi sebou, tedy jejich fungování jako systému.

U obrábění v leteckém průmyslu je robustnost procesů a systémů podstatně vyšší než v jiných průmyslových odvětvích, zároveň je zde i vyšší závažnost rizik v případě poruchy nebo jakéhokoliv jiného pochybení. Je tedy nutné rizika důkladně analyzovat a ošetřovat pro zajištění spolehlivého chodu a konkurenceschopnosti organizace. V leteckém průmyslu je pro dílce charakteristický vysoký stupeň bezpečnosti a spolehlivosti, špatná obrobiteľnost materiálu, velká různorodost, ale menší technologické dávky vyráběných dílců, v práci je proto snaha pokrýt co největší oblast vyráběných dílců a nezaměřovat se pouze na jednu skupinu.

Tato práce je zaměřena pouze na kvalitu subtraktivního neboli třískového obrábění, tedy schopnost podniku kontinuálně vyrábět obrobky s minimální požadovanou úrovní kvality za co nejnižší náklady a nejkratší čas. Z důvodu robustnosti problematiky není do práce zahrnuto broušení.

Řešenou problematikou je kvalita třískového obrábění. Cílem je důkladně zmapovat proces obrábění a navrhnout nové řešení pro stabilizaci kvality. Pro ověření správnosti prováděných kroků je nové řešení demonstrováno na dílci a následně i zhodnoceno z technického a ekonomického hlediska. Z těchto kroků jsou identifikovány i doporučení pro další rozvoj.

Nové řešení a doporučení může sloužit pro zajištění vyšších zisků firmy při realizaci procesu obrábění a také jako prevence možných nebezpečí spojených s výrobou, provozem a případně i údržbou zařízení.

2 MOTIVACE

Z důvodu rychlého vývoje v průmyslu je nutné neustále zlepšovat obráběcí procesy a zajistit si tak konkurenceschopnost. Vysoká fluktuace lidí a tím i postupné snižování kompetencí, tlačí ke zjednodušování práce. Pro velké množství různých typů vyráběných součástí se v současné době jeví jako přínosné striktně definovat postup při práci a zamezení tak výskytu lidských chyb. Jednou z možností může být zavedení standardizovaného postupu.

Momentálně existuje mnoho strategií a metodik, podle kterých lze postupovat při neustálém zlepšování a zvyšování kvality výrobních procesů. Trendem je aplikace různých metodik, které často nemusí vést ke zlepšení. Většinou se jedná o strategie z jiné části světa např. z Japonska nebo Ameriky, kde jsou rozdílné firemní kultury a chování lidí. V práci proto není postupováno podle jedné konkrétní strategie, ale je zde kladen velký důraz na přizpůsobení požadavkům podniku. Proces je tedy důkladně zmapován a na základě informací a závěrů z mapování jsou následně voleny nejvhodnější nástroje a strategie pro identifikaci problému a návrh nového řešení.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

3.1 Kvalita

Pro pochopení významu práce je nutné definovat pojem „kvalita“ a věci s ní související. Pro každého člověka je to běžný termín, málokdo je však schopen jej správně a v plném rozsahu definovat.

3.1.1 Definice kvality a základní pojmy

Kvalita a jakost jsou pojmy se stejným významem, v rámci práce bude vyjma definic použit pojem kvalita. Pro kvalitu existuje celá řada definic. Dále jsou uvedeny nejpoužívanější.

- Podle Jurana: „*Jakost je způsobilost k užití.*“ [1]
- Podle Crosbyho: „*Jakost je shoda s požadavky.*“ [1]
- Podle Feigenbauma: „*Jakost je to, co za ni požaduje zákazník.*“ [1]
- Podle ČSN EN ISO 9000:2016: „*Stupeň plnění požadavků souborem inherentních znaků.*“ [2]

O žádné z nich však nelze říct, že by byla špatná či správná, ale všechny mají jedno společné, a to vhodnost pro zákazníka, ať už se jedná o produkt nebo službu. Ani jedna z výše uvedených definic není celosvětově uznávaná. Nejpoužívanější definicí u nás je definice z normy, zároveň je také nejsložitější. **Stupeň** v definici napovídá, že by kvalita měla být nějakým způsobem měřitelná. Veškeré **požadavky** na produkt stanovuje zákazník, legislativa a vedení poskytující firmy. **Inherentní znaky** jsou znaky, které požadujeme pro daný produkt (např. výdrž baterie telefonu). [1]

Pro pochopení práce je nutné definovat základní pojmy vztahující se ke kvalitě. Definice vychází z normy ČSN EN ISO 9000:2016. [2]

Systém managementu kvality

Systém managementu kvality je soubor vzájemně provázaných prvků organizace souvisejících s kvalitou (dle kontextu organizace), podle kterých organizace nastavuje své cíle kvality a identifikuje tak procesy a zdroje potřebné pro dosahování vyšších zisků firmy (plnění cílů). [2]

Kontext organizace

V rámci normy je pochopení kontextu organizace chápáno jako proces, jehož cílem je určit všechny faktory, které mají vliv na záměr, cíle nebo udržitelnost organizace. V kontextu organizace odlišujeme dva typy faktorů, interní a externí. Interní faktory jsou například znalosti, výkonnost organizace a firemní kultura. Do externích faktorů řadíme právní, tržní, konkurenční, ekonomické, sociální a jiné prostředí. [2]

Zainterесované strany

Zainterесované strany je pojem zaměřený převážně na zákazníka. Identifikace zainterесovaných stran je součástí procesu pochopení kontextu organizace. Pro systém managementu kvality je důležité identifikovat pouze ty zainterесované strany, které představují významné riziko pro udržitelnost organizace. Organizace musí zajistit nápravné opatření pro snížení rizika (např. předáním relevantních výsledků zainterесovaným stranám). [2]

Podpora

Podpora ze strany vrcholového vedení umožňuje zajištění zdrojů, monitorování a měření, management rizik, tvorbu a implementaci vhodných opatření. Vhodné využívání zdrojů organizace je klíčové pro dosahování pozitivních výsledků. Zdrojem mohou být lidé s příslušnými kompetencemi a povědomím. [2]

Systém

Skupina mnoha procesů, které na sebe vzájemně působí a jsou vzájemně provázány. Je vytvořen za účelem řešení problémové situace (např. výroba letadla) a dosažením tak udržitelnosti organizace. [2]

Systém je složitý pojem, proto je vhodné uvést pro lepší pochopení druhou definici podle knihy Expertní inženýrství v systémovém pojetí: „*Systém je abstraktní entita účelově vytvořená subjektem na primární entitě z hlediska řešeného problému, přičemž jeho strukturu tvoří formalizované prvky týkající se entity, které jsou z hlediska řešeného problému a na určité rozlišovací úrovni jeho řešení podstatné.*“ [3]

Procesy

Procesy jsou vzájemně provázané činnosti jejichž cílem je přeměňovat vstupy na výstupy, měly by být definovatelné a měřitelné pro možnost jejich zlepšování. [2]

Činnost

Činností je nejmenší práce, kterou jsme schopni rozpoznat v rámci nějakého procesu, případně projektu. [2]

Infrastruktura

Infrastrukturou je veškeré vybavení, zařízení a služby kterými firma disponuje a jsou potřebné pro provoz organizace. [2]

Politika kvality

Politika kvality vychází z celkového řízení firmy a ze zásad managementu kvality, na základě politiky kvality jsou stanoveny cíle kvality. [2]

Do zásad managementu kvality patří [2]:

- zaměření na zákazníka,
- vedení,
- angažovanost lidí,
- procesní přístup,
- zlepšování,
- rozhodování na základě důkazů,
- management vztahů.

Metrologická confirmace

Metrologická confirmace slouží k tomu, aby byla zajištěna správnost měření měřicího vybavení pro zamýšlené použití. Obvykle bývá prováděna formou **kalibrace** nebo **ověřování**. [2]

Kalibrace je prováděna u pracovních měřidel. Jedná se o porovnávání měřících vlastností s vlastnostmi etalonu, který podléhá návaznosti měřidel. Kalibrační lhůtu si podle zákona o metrologii volí každý podnik sám. [4]

Ověřování je prováděno u stanovených měřidel. Podléhá státnímu doзору a je prováděno Českým metrologickým institutem nebo jiným autorizovaným metrologickým střediskem. Doba platnosti ověřování je stanovena státem. [4]

Způsobilost

„Způsobilost je schopnost objektu realizovat určitý výstup, který splní požadavky na tento výstup.“[2]

3.1.2 Vývoj systému řízení kvality

Novodobá koncepce systému řízení kvality byla částečně vyvinuta ze systému řízení podle Juran. Podle něj je při tvorbě systému řízení kvality nejprve nutné stanovit, čeho chce organizace dosáhnout. Prvním krokem je tedy tvorba vize, politiky a cílů kvality. Splnění cílů je pak provedeno rozdělením úkolů na jednotlivé procesy a činnosti. Základní úkoly pro tvorbu systému řízení kvality lze rozdělit do třech částí [5]:

- plánování kvality,
- kontrola kvality,
- zlepšování kvality.

Tyto tři pilíře bývají označovány jako Juranova trilogie a vycházejí z procesů pro řízení financí. Úkoly jsou tedy stejné pro řízení kvality jako pro řízení financí, rozdíl je však v jednotlivých činnostech, ze kterých se procesy skládají, viz Tab 1). [5]

Tab 1) Tři základní procesy pro řízení kvality [5]

Plánování kvality	Kontrola kvality	Zlepšování kvality
1) Tvorba cílů kvality	1) Vyhodnocování současné výkonnosti	1) Prokázat důležitost
2) Identifikace zákazníků	2) Porovnávat současnou výkonnost s cíli kvality	2) Vybudovat infrastrukturu
3) Stanovit potřeby zákazníka	3) Zavádět nápravná opatření na případné odchýlení	3) Identifikovat projekty pro zlepšení
4) Vyvinout produkty, které splňují požadavky zákazníka		4) Tvorba projektových týmů
5) Vyvinout procesy, které jsou schopny produkovat tyto produkty		5) Zajistit potřebné zdroje pro členy projektového týmu
6) Zavedení kontroly a řízení procesu, zajistit plnění stanovených plánů		6) Zavést kontroly pro udržení zlepšení

Na těchto základech byly vytvořeny systémy řízení kvality na bázi norem řady ISO 9000 a na bázi TQM (total quality management).

3.1.3 Systém managementu kvality dle norem řady ISO 9000 (AS 9100)

Standardizace tvorby systému managementu kvality byla vynucena globalizací tržního prostředí. První sada norem zabývající se systémem managementu kvality byla vydána v roce 1987 a důrazně vstoupila do obchodních vztahů po celém světě. [1]

Normy řady ISO 9000 jsou univerzálního charakteru. Jsou tedy použitelné ve všech výrobních organizacích, v organizacích veřejného sektoru i v podnicích služeb. Velikost organizací nehraje žádnou roli, koncepce managementu kvality dle norem řady ISO 9000 je použitelná jak pro malé, tak i velké podniky. [6]

Tyto normy nejsou závazné, slouží pouze jako doporučení. Závaznými mohou být v několika případech, například když se výrobce zaváže smlouvou zákazníkovi o jejich dodržování nebo když je podnik držitelem certifikace o splnění požadavků normy ISO 9001 nebo jejího rozšíření (např. AS9100).[1]

Při neplnění požadavků normy musí být certifikát odebrán, pokud firma nestihne včas provést nápravná opatření. Firma se může kdykoliv vzdát certifikátu, pokud má management pocit, že je nepřínosný.

V současné době je běžné, že odběratelé po svých dodavatelích požadují systém řízení kvality podle norem řady ISO 9000. Jako důkaz o zavedení systému kvality slouží právě certifikát vydaný třetí stranou. Třetí stranou bývá nezávislý akreditovaný certifikační orgán a certifikovanou normou je ČSN EN ISO 9001:2016. [1]

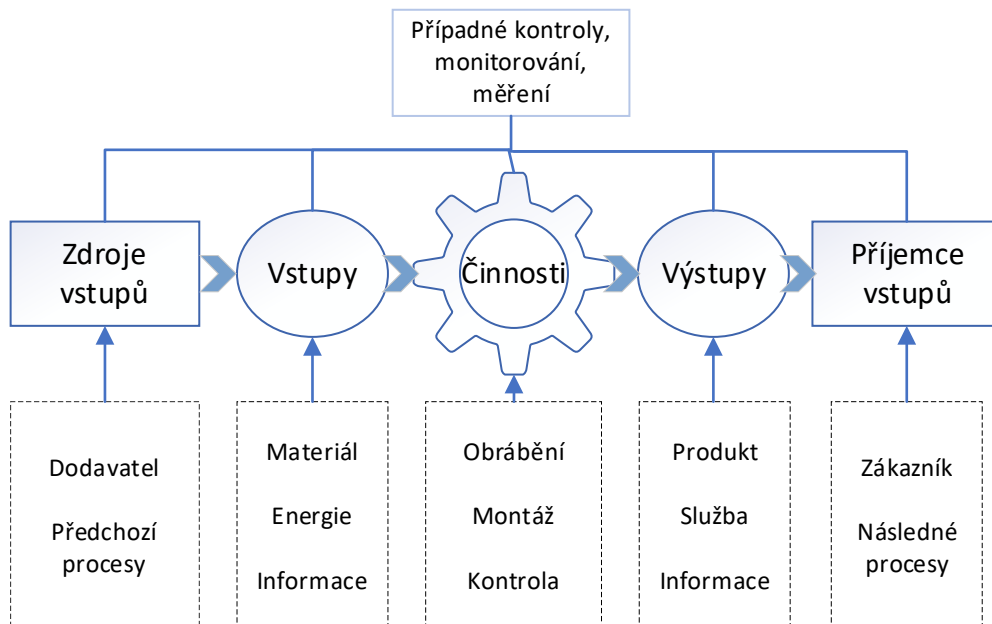
Pro tvorbu systému managementu kvality jsou důležité 4 základní normy: [1]

- ČSN EN ISO 9000:2016 – Základní principy a slovník
- ČSN EN ISO 9001:2016 – Systémy managementu kvality – požadavky
- ČSN EN ISO 9004:2019 – Management kvality – Kvalita organizace – Návod k dosažení udržitelného úspěchu organizace
- ČSN EN ISO 19011:2019 – Směrnice pro auditování systémů managementu

ČSN EN ISO 9001:2016

Norma ČSN EN ISO 9001:2016 je celosvětově uznávaným modelem pro certifikaci systému managementu kvality. Není však určena k interní aplikaci jako norma ČSN EN ISO 9004:2019 z čehož plyne, že řada firem je držitelem certifikátu, ale nejsou schopna naplno využít potenciálu norem řady ISO 9000 ve svém systému řízení kvality. Norma ISO 9001 je navíc výsledkem kompromisu mezinárodního společenství, což výrazně snižuje její kvalitu. Na tuto normu je nutné koukat jako na minimum co musí být plněno, v dnešní době je však tato norma v mnoha ohledech překonána jinými přístupy. V současnosti dochází k tvorbě integrovaných systémů managementu, čemuž se věnuje i směrnice pro auditování ČSN EN ISO 19011:2019. Integrovanými systémy mohou být například systém managementu kvality a systém environmentálního managementu podle normy ČSN EN ISO 14001:2016.[1]

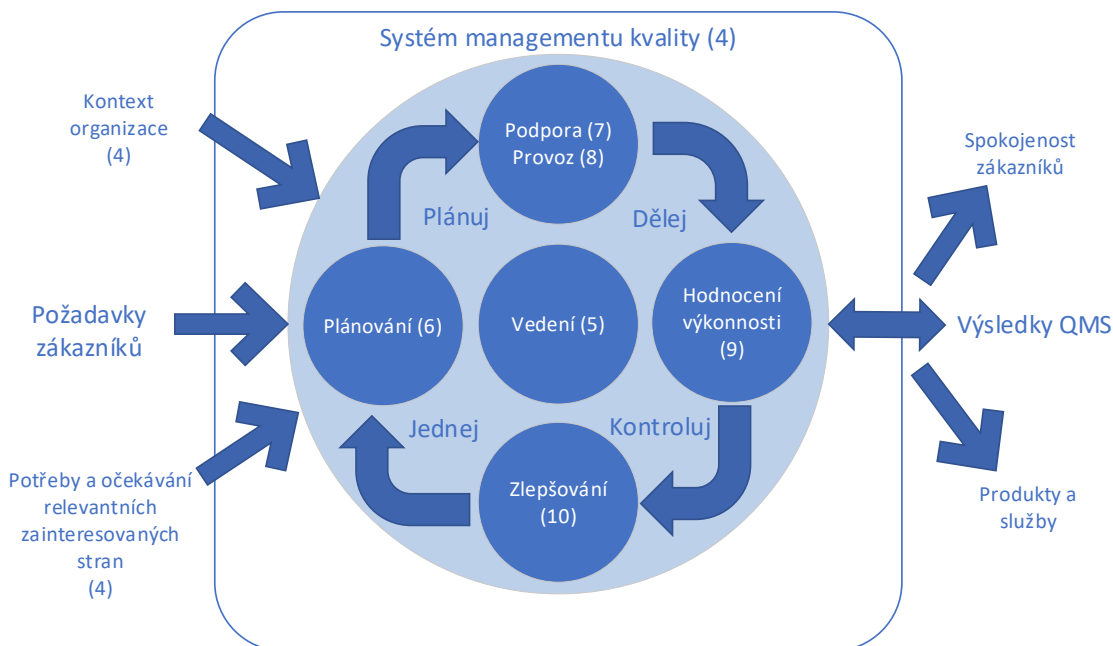
Norma ISO 9001 je založena na zásadách managementu kvality, popsanych v kapitole 3.1.1 a na procesním přístupu. Aplikace tohoto přístupu napomáhá k lepšímu pochopení a řízení vzájemně provázaných procesů pro zvyšování efektivity podniku. Procesní přístup dále umožňuje lépe pochopit požadavky zákazníků a pomáhá při zlepšování procesů. Schéma jednoho procesu je znázorněno na Obr. 1. [6]



Obr. 1) Schématické znázornění procesu [6]

Cyklus PDCA

Na všechny procesy je možné aplikovat cyklus PDCA (Plánuj-dělej-kontroluj-jednej) jehož cílem je neustálé zlepšování firemních procesů. Na cyklu PDCA je postavena celá norma ISO 9001, viz Obr. 2. Na obrázku jsou znázorněny i jednotlivé kapitoly normy a vazby mezi nimi, pomáhá tedy pochopit všechny jednotlivé procesy jako systém. [6]



Obr. 2) Struktura normy ČSN EN ISO 9001:2016 v cyklu PDCA [6]

Pod pojmem **plánuj** se v cyklu PDCA rozumí stanovení cílů pro systém řízení kvality a cíle pro jednotlivé procesy systému. Důležitým krokem v plánování je i stanovení potřebných zdrojů, které jsou potřebné pro plnění požadavků zákazníka, aplikovatelných legislativních a interních firemních požadavků. Součástí plánování je i identifikace rizik a příležitostí a zaměření se na ně. [6]

Dělej se rozumí jako jednání na základě plánů z prvního kroku. [6]

Kontroluj popisuje povinnost monitorovat, případně měřit procesy (pokud je to možné) a výsledné produkty nebo služby. Ověřovat je ve vztahu k definovaným cílům, plánům, požadavkům nebo specifikacím. Důležitou činností je podávání zpráv o výsledcích relevantním subjektům (vedení firmy, zákazník, ...). [6]

Jednej stanovuje provádění nápravných opatření pro zlepšování ve všech oblastech. Identifikace místa pro zlepšování může být výstupem z předchozího kroku kontroly. [6]

Neustálé zlepšování na základě Demingova cyklu je klíčové pro udržení konkurenceschopnosti firem. [6]

Zvažování rizik

Zvažování rizik je součástí plánování v cyklu PDCA. Management rizik a příležitostí vytváří základní pilíř pro zvyšování efektivnosti systému managementu kvality. Identifikuje místa nebo části procesu, která mohou mít významný vliv na schopnost dosahování výsledků organizace. Příležitosti mohou pozitivně ovlivnit plnění cílů, zatímco rizika mají negativní vliv na dosahování cílů.

Norma AS 9100, revize D

V rámci této práce je norma označována jako AS 9100, ale můžeme se setkat i s označením ČSN EN 9100:2018. Normy jsou však z hlediska obsahu totožné, rozdíl je pouze ve vydávající organizaci. ČSN EN 9100 je přeložena do češtiny a vydána Úřadem pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

Norma nese název Systémy managementu kvality – Požadavky pro organizace v letectví, kosmonautice a obraně. Vychází z normy ČSN EN ISO 9001:2016 a obsahuje doplňující požadavky a definice. Kapitoly a principy normy jsou stejné, AS 9100 je přísnější. Za zmínku určitě stojí nové definice použité v AS 9100. Těmi jsou například napodobený díl, kritické položky, klíčová charakteristika, bezpečnost produktu a zvláštní požadavky. Z nutnosti definování těchto nových termínů v normě vyplývá, že v letectví je důležitou vlastností produktů nebo služeb i bezpečnost. Letectví je označováno jako jeden z nejbezpečnějších průmyslů, stupeň bezpečnosti a požadavky s ním spojené jsou hlavní odlišností od norem ISO 9001. [7]

Na rozdíl od normy ČSN EN ISO 9001, která je univerzální je tato norma zaměřena pouze na letecký průmysl a kosmonautiku. Vzhledem ke konkrétnímu zaměření je však srozumitelnější a jednodušší pro pochopení.

3.1.4 Nástroje pro řízení kvality

Pro správné a efektivní plnění požadavků norem řady ISO 9000 jsou využívány nástroje kvality. Norma je přímo nepožaduje, protože definuje pouze požadavky, které mají být splněny, ale ne způsob, jakým mají být plněny.

Nástroje pro řízení kvality jsou zaměřeny nejen na systém, ale především na konkrétní produkty nebo služby. Normy řady ISO 9000 stanovují požadavky pro všechny procesy podniku, zatímco nástroje pro řízení kvality jsou aplikovatelné na konkrétní problémy, kde má každý nástroj svou specifickou oblast využití.

Zlepšování kvality lze definovat jako redukcí variability v procesu. Při nadměrné variabilitě procesu často dochází k plýtvání, proto někdy bývá využívána i definice, ve které je zlepšování kvality označováno jako snižování plýtvání.

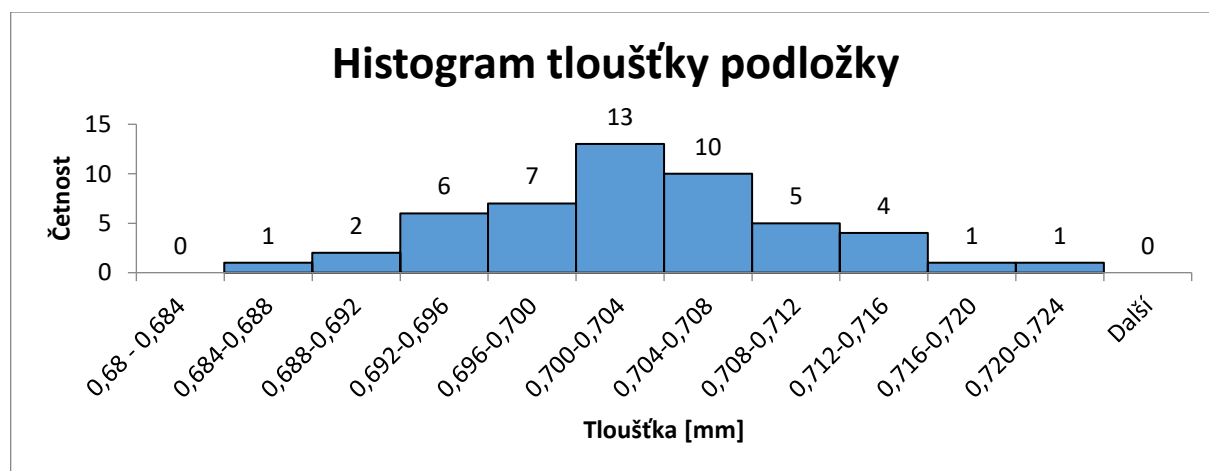
Důležité je uvědomění, jaké vlastnosti bere zákazník jako zásadní. Tyto vlastnosti označujeme jako znaky kvality. Na znaky kvality bývají většinou aplikovány nástroje řízení kvality. V současné době je těchto nástrojů mnoho, v práci však bude popsáno pouze 7 základních a pár dalších, které jsou dále využívány. [8]

- histogramy,
- kontrolní záznamníky nebo formuláře,
- Paretovy diagramy,
- analýza příčin a následků,
- vývojové diagramy,
- bodové diagramy,
- regulační diagramy.

Histogramy

Histogramy slouží pro znázornění intervalového rozdělení pomocí grafu. V kvalitě se využívají především pro znázornění znaku kvality, např. rozměru výrobku nebo výkonu. Histogramy lze využít i při zpracování hodnot výrobních faktorů, které ovlivňují kvalitu výrobku. Těmi může být řezná rychlost, teplota, vlhkost a jiné. [1]

Tento nástroj kvality je sloupcový graf obvykle se stejnou šířkou sloupců. Šířka sloupců by měla odpovídat šířce intervalů a výška sloupců udává četnost sledované veličiny, viz Obr. 3). Na obrázku je znázorněn ilustrativní příklad histogramu pro rozměr tloušťky podložky. [1]



Obr. 3) Příklad histogramu pro tloušťku podložky[9]

Hlavní výhodou histogramu je jednoduchost sestavení a přehlednost. Proto jsou často využívány a patří mezi nejznámější statistické nástroje. [1]

Kontrolní záznamníky nebo formuláře

Kontrolní záznamníky nebo formuláře jsou součástí informačního systému v managementu řízení kvality a jsou brány podle norem řady ISO 9000 jako řízená dokumentace a musí tedy splňovat příslušné požadavky (označení, datum atd.). Důležitá je především správnost a úplnost všech potřebných dat, která musí být zaznamenávána systematicky.[1]

Kontrolní záznamníky se využívají především v těchto oblastech:[1]

- záznam výsledků procesů (např. počet vad, druhy vad),
- záznam naměřených hodnot znaků kvality (např. rozměry),
- záznam místa výskytu jevů (např. vad na výrobku).

Při tvorbě musí být zajištěno co nejjednodušší a nejrychlejší zaznamenávání dat, vhodné je využívání zkratk nebo specifických značení. Příklad kontrolního záznamníku je uveden na Obr. 4. Žádoucí je i zaznamenat další informace o původu dat, např. jméno pracovníka vyplňujícího formulář, datum, čas, typ použitého stroje, typ použitého měřidla, číslo dávky a jiné informace, které by mohli značným způsobem ovlivňovat data. Cílem standardizace pro tvorbu formuláře je především snížení množství lidských chyb. [1]

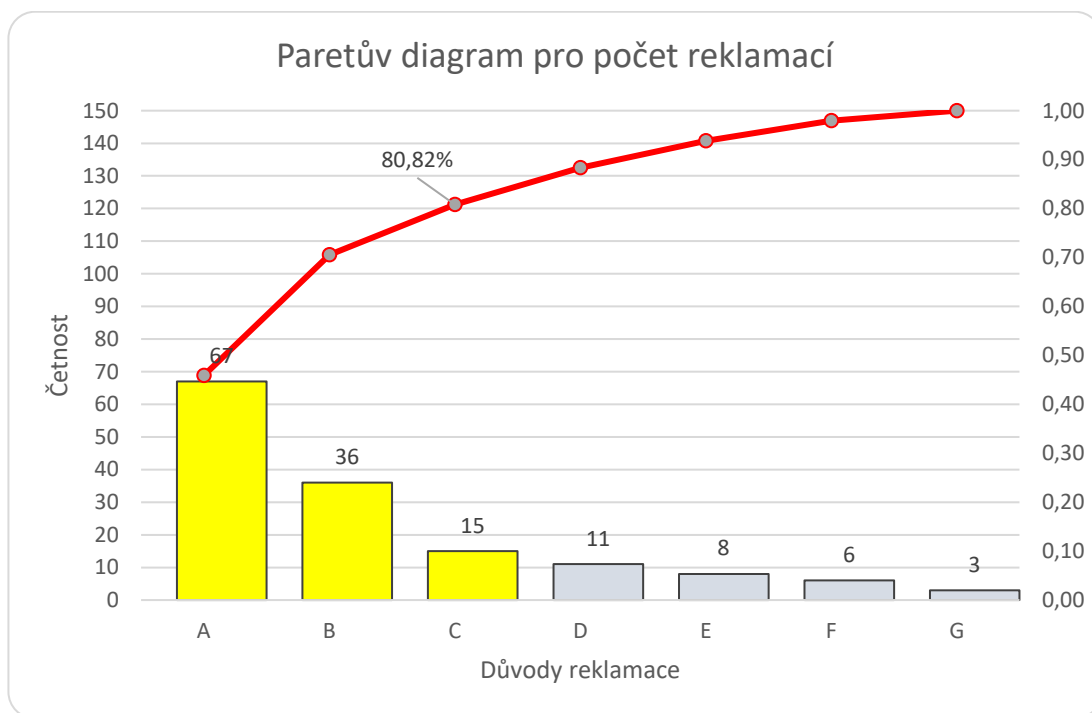
Kontrolní list sestavení motoru						
	Datum					Celkem
Typ defektu	20.04.2024	21.04.2024	22.04.2024	23.04.2024	24.04.2024	
Rez na dodaných dílech	IIII	III	II			10
Špinavé součásti	II		II		III	7
Nesprávné rozměry	III	II		I		6
Selhání lepidla					III	3
Nesprávná součást	II	III				5
Dutiny v odlitku	I			I		2
Celkem	13	8	4	2	6	33
Zaznamenal:	XXX					
Období vystavení:	XXX					
Označení kontrolního listu	XXX					
Typ motoru:	XXX					

Obr. 4) Kontrolní záznamník pro sestavení motoru [9]

Paretův diagram

Základy Paretova diagram jsou postaveny na pravidle 80 na 20, což bývá označováno jako Paretovo pravidlo. Popisuje, že za 80 % problémů může pouze 20 % příčin. V oblasti kvality je Paretův diagram využíván pro nalezení významných příčin, které mají vliv na kvalitu z naměřených dat. Pro firmu je ekonomicky nejvýhodnější zaměřit se na nejvýraznější příčiny (20 % z Paretova pravidla) a vyřešit tak daný problém s co největším efektem za nejnižší náklady. [1]

Paretův diagram je opět sloupcový graf. Sloupce jsou tentokrát seřazeny od nejvyššího po nejnižší a prostřednictvím Paretova pravidla jsou stanoveny priority, cílem tohoto diagramu je tedy rozdělit faktory na podstatné a nepodstatné a stanovit tak směr, kterým se bude řídit následné zlepšování procesu. Příklad Paretova diagramu je uveden na Obr. 5.[1]



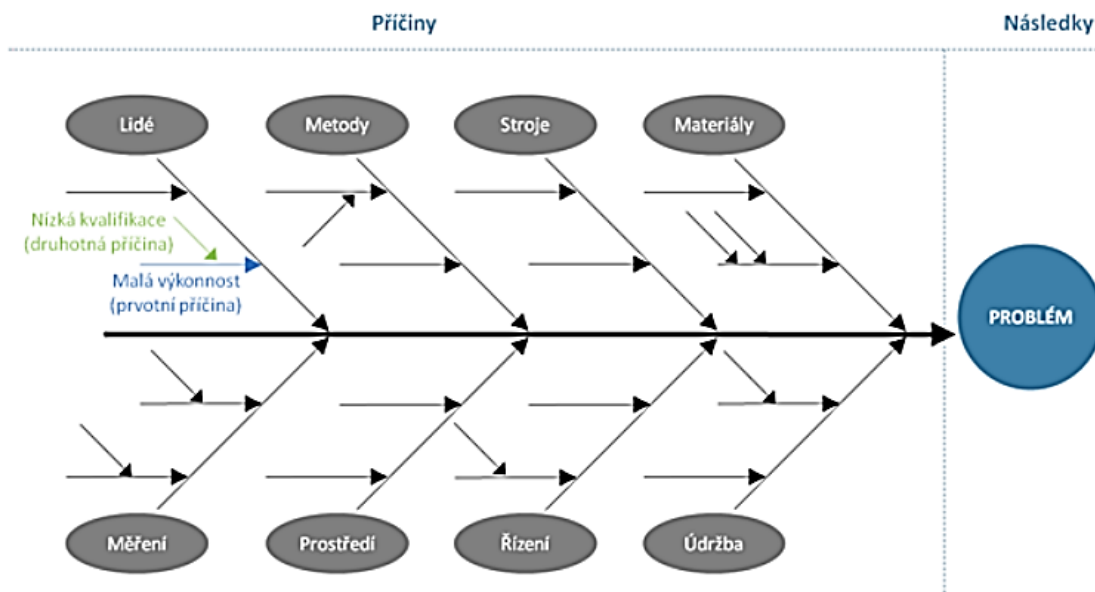
Obr. 5) Příklad Paretova diagramu [9]

Analýza příčin a následků (Ishikawa diagram)

Ishikawův diagram, jak už název napovídá, je grafický nástroj, který slouží k identifikování příčin daného problému. Diagram má specifickou strukturu, viz Obr. 6, kde je uprostřed definován problém a jednotlivé větve k němu jsou příčiny vzniku problému. Větve jsou dále víceúrovňově rozděleny na příčiny nižší úrovně. [1]

Ishikawův diagram je tvořen metodou brainstormingu ve vícečlenném týmu. Při identifikaci větví diagramu je standardní vycházet z metody 8M (viz Obr. 6), která definuje potenciální příčiny určitého výrobního problému nebo vzniku neshodných výrobků. Jednotlivé potenciální příčiny z metody 8M jsou následující: [10]

- Men (lidé)
- Machine (stroje)
- Methods (technologie)
- Materials (materiál)
- Measurements (měření)
- Mother nature – environment (životní prostředí)
- Management (systém řízení)
- Maintenance (údržba)



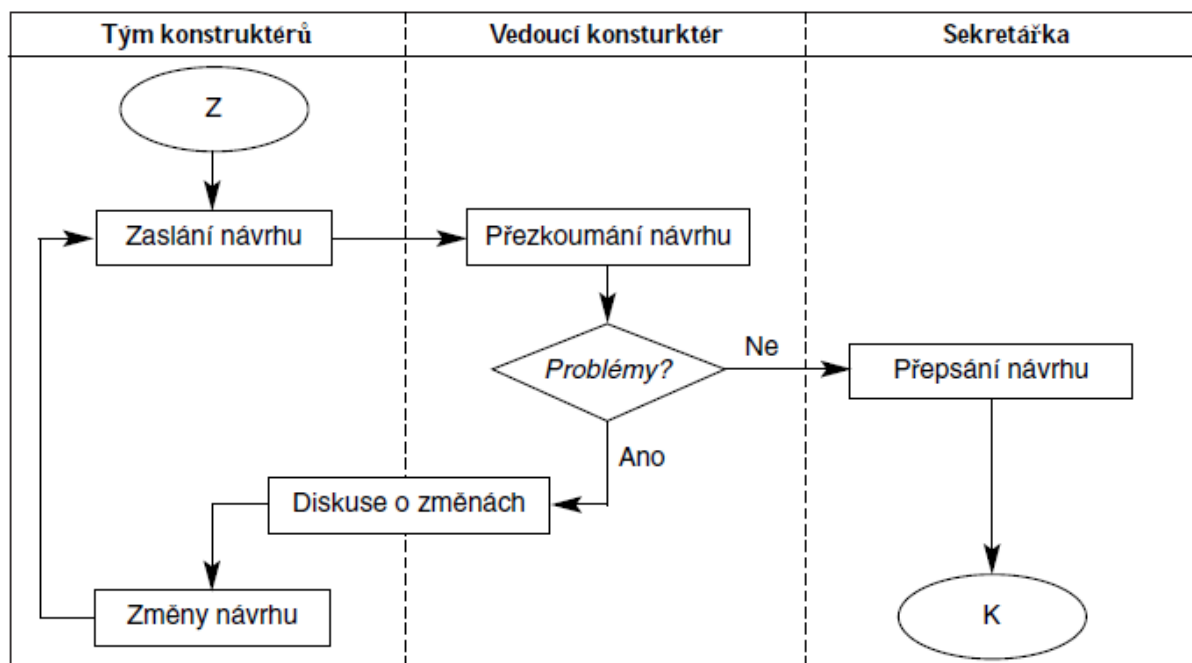
Obr. 6) Příklad Ishikawova diagram [10]

Vývojové diagramy

Vývojové diagramy slouží jako nástroj pro popis jednotlivých procesů a jejich posloupností. Má vždy jeden začátek a jeden konec a nejčastěji bývá tvořen pro pochopení a mapování procesů. Vývojový diagram je specifický různými obrazy, kde každý charakterizuje jinou činnost, viz Tab 2. Pro snížení míry subjektivity a šance lidské chyby bývá tvořen více členy týmu. Příklad vývojového diagramu je na Obr. 7. Vývojový diagram musí být jednoduchý, stručný a přehledný. [1]

Tab 2) Symboly vývojového diagramu[1]

Symbol	Význam
	Spojka, přechod na jinou část nebo pokračování vývojového diagramu
	Výkon operace, činnost
	Rozhodovací proces vždy jeden vstup a jen dva výstupy
	Subproces popsáný v jiném subdiagramu
	Začátek nebo konec procesu
	Dokument

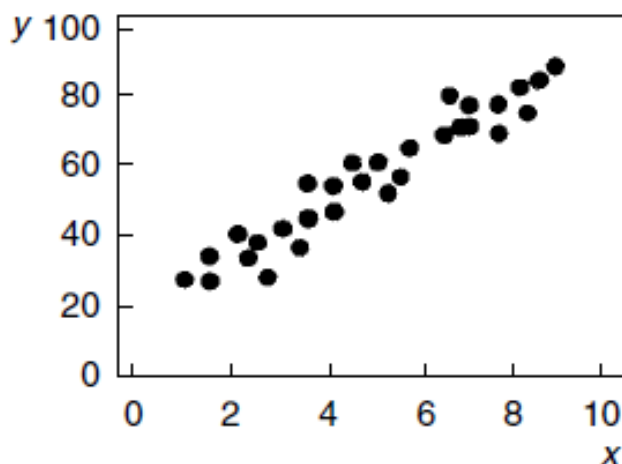


Obr. 7) Příklad vývojového diagramu [1]

Bodové diagramy

Bodové diagramy zobrazují závislost dvou proměnných podle jejich vykreslených hodnot v grafu. V řízení kvality se používají pro odhalování závislostí (korelace) znaků kvality. V případě závislosti znaků kvality je třeba najít vhodnou regresní funkci a pomocí ní jsme schopni stanovit hodnoty požadovaného parametru kvality. Příklad bodového diagramu je uveden na Obr. 8. [1]

Často bývá využívána při destruktivním a nedestruktivním testování. Destruktivní metoda je přesnější, ale časově náročnější a nákladnější. Pokud z dat prokážeme dostatečnou korelaci a následně zvolíme vhodnou regresní funkci pro popis jejich závislostí, pak můžeme využít nedestruktivní metodu pro odhad parametrů získaných destruktivní metodou a dosáhneme tak významných časových i finančních úspor.[1]

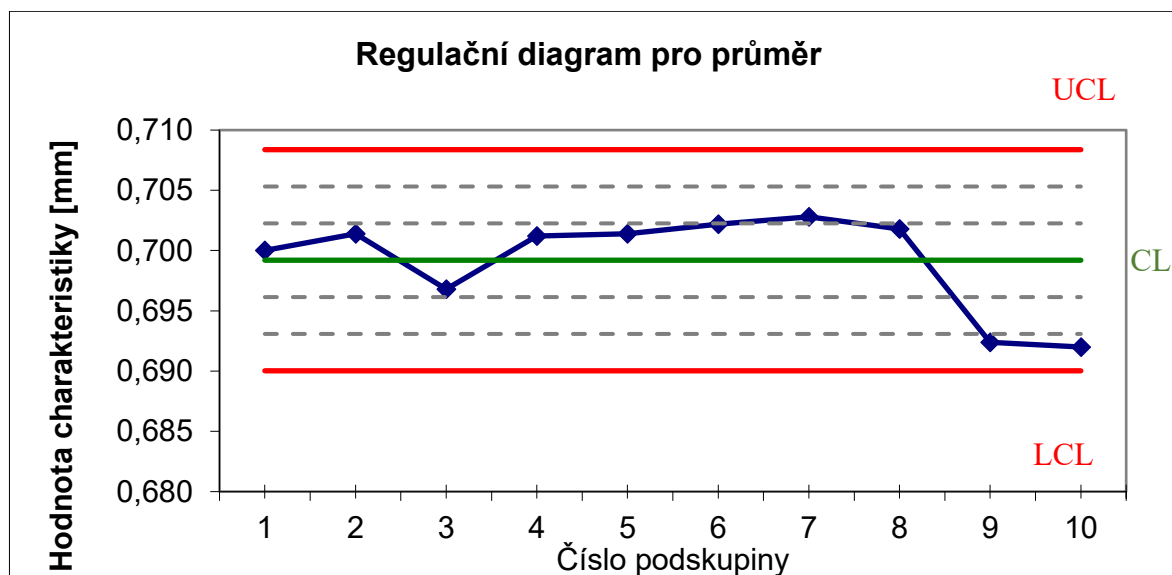


Obr. 8) Příklad lineární závislosti v bodovém diagramu [1]

Regulační diagramy

Regulační diagramy bývají využívány ve statistické regulaci procesu (SPC). Jsou využívány jako preventivní přístup k managementu kvality. Na základě včasného odhalení odchylek je management schopen rychle zasáhnout a minimalizovat tak způsobené škody. Cílem je tedy zajistit dlouhodobě stabilní proces. [1]

Regulační diagramy jsou grafy složené z centrální přímky, horní specifikace, dolní specifikace a vložených hodnot. Centrální přímka (CL) je střed specifikace, horní regulační mez (UCL) je součet třech směrodatných odchylek a centrální přímky a dolní regulační mez (LCL) je rozdíl centrální přímky a třech směrodatných odchylek. Tyto prvky grafu vymezují pásmo, ve kterém se musí vložené hodnoty (většinou v podskupinách) pohybovat, viz Obr. 9. [1]



Obr. 9) Příklad regulačního diagramu pro průměr [9]

Tato kapitola slouží pouze pro získání povědomí o regulačních diagramech, jedná se o velmi rozsáhlou a složitou problematiku. Podrobnější popis tvorby a využití často používaných Shewhartových regulačních diagramů je popsán v normě ČSN ISO 7870-2:2018.

Mimo těchto 7 základních nástrojů kvality existuje celá řada dalších. V rámci práce za zmínku stojí i metoda **SIPOC**, **brainstorming** a **FMEA analýza**, které jsou aplikovány v praktické části.

Metoda SIPOC

Metoda je využívána především ve strategii Six Sigma (ČSN ISO 13053-2:2014). Jejím úkolem je podrobné zmapování celého procesu a někdy i tvorba vývojového diagramu. Používá se ve fázi popisu problému pro lepší pochopení procesu. SIPOC vychází z diagramu na Obr. 10. [11]



Obr. 10) SIPOC diagram [11]

Metoda FMEA

Metoda FMEA je analýza způsobů a důsledků poruch. Jedná se o systematickou metodu, jejíž cílem je hodnotit produkty nebo procesy a identifikovat způsoby, kterými by mohlo dojít k jejich poruše a následně popisuje důsledky způsobu poruchy na výkonnost, okolní prostředí a pracovníky. Metoda je popsána v české technické normě s označením ČSN EN IEC 60812 ed. 2:2019. [12]

FMEA je použitelná především pro hardware, software, **procesy** a lidské zásahy. Může být přizpůsobena podle vlastních požadavků organizace. Často bývá prováděna opakovaně, impulsem pro opakování metody FMEA může být časová lhůta nebo změny, které mohou mít vliv na metodu. Ukázka procesní FMEA analýzy je v Tab. 3.[12]

Pro metodu FMEA, která je využívána v této práci je klíčovým faktorem RPN (číslo priority rizika). V případě, kdy RPN překročí kritickou mez (mez stanovuje zpracovatel metody) považujeme riziko za závažné a je nutné pro něj provést nápravné opatření. RPN je počítáno jako součin třech složek – závažnosti, pravděpodobnosti a diagnostikovatelnosti.

Tab 3) Ukázka procesní FMEA analýzy z normy [12]

Krok	Funkce	Potenciální problém	Místní následek	Globální následek	Z	P	D	RPN	Zásah ošetření
Pájení konektoru klávesnice	Vytváření spojení mezi klávesnicí a plošným spojem	Nadbytek tavidla	Vysoký odpor	Občasný kontakt	4	2	4	32	Žádné čisté tavidlo
Pájení součástky SMD	Vytvářet spojení mezi součástkou SMD a plošným spojem	Zvednutý konec součástky	Žádný kontakt součástky SMD s plošným spojem	Nízká výrobní výtěžnost vedoucí k vysokým výrobním nákladům	2	2	2	8	Uspořádání plošného spoje
Lepení LCD displeje k čelní desce	Připevnit LCD displej k čelní desce	Malá plocha lepidla	Slabá adheze	Oddělení LCD displeje od čelní desky	4	4	5	80	FEM analýza

Z = závažnost,

P = pravděpodobnost,

D = diagnostikovatelnost.

Brainstorming

Brainstorming je stejně jako metoda SIPOC využíván mimo jiné i v metodice Six Sigma. Jedná se o skupinovou metodu jejíž cílem je tvorba řešení problémů a nápadů. Charakteristické je velké množství řešení a nápadů v krátkém čase. Pro brainstorming je důležité vhodně zvolit členy týmu a moderátora, zároveň i vést písemné záznamy o výstupech. [11]

Postup moderátora týmu při této metodě by měl být následující: [11]

- shrnout cíle a očekávané výsledky metody,
- určit dobu trvání,
- vést záznamy o nápadech (řešeních),
- shrnout základní pravidla,
- ověřovat pochopení zaznamenaných myšlenek,
- zajistit rovnocennost všech členů týmů pro vstup do diskuse,
- nerozporovat myšlenky,
- zajistit vysvětlení myšlenek v případě nejasností,
- v případě potřeby provést další analytické postupy (např. Ishikawa).

3.1.5 Způsoby zlepšování kvality

Neustálé zlepšování kvality je v normách řady ISO 9000 prováděno podle cyklu PDCA. V současné době existuje mnoho metodik pro zlepšování kvality, které se od sebe drobně liší. Způsoby zlepšování kvality mohou být následující: [1]

- proces neustálého zlepšování podle cyklu PDCA,
- metoda „Quality Journal“,
- metodika neustálého zlepšování pomocí preventivních opatření,
- strategie Six Sigma,
- WV model neustálého zlepšování,
- Kaizen.

V rámci práce je dále blíže popsán proces neustálého zlepšování systému managementu kvality, ostatní způsoby zlepšování kvality není nutné dále popisovat, protože postup zlepšování kvality v této práci není realizován přímo podle výše zmiňovaných způsobů, ale je přizpůsobený podniku a zadání diplomové práce.

Proces neustálého zlepšování

Proces neustálého zlepšování by měl zahrnovat následující kroky: [1]

- 1) **podnět ke zlepšení** (identifikace problému),
- 2) **popis současné situace** (problému),
- 3) **analýza problému**,
- 4) **návrh nových řešení**,
- 5) **zhodnocení nového řešení**,
- 6) **standardizace nového řešení**,
- 7) **hodnocení efektivnosti procesu s implementovaným novým řešením**.

Tyto kroky by se měly neustále opakovat se současným zpřísňováním cílů pro neustálý rozvoj a udržení tak konkurenceschopnosti podniku. Pro realizaci těchto kroků bývají využívány nástroje kvality popsané v kapitole 3.1.4. Vhodnost nástrojů pro jednotlivé kroky neustálého zlepšování je popsána v Tab. 4.

Tab 4) Vhodnost nástrojů kvality vůči krokům neustálého zlepšování [1]

Fáze neustálého zlepšování	Identifikace problému	Popis problému	Analýza problému	Návrh řešení	Zhodnocení řešení	Standardizace řešení	Hodnocení procesu
Nástroj kvality							
Metoda FMEA	+		++	++	+		+
Metoda SIPOC	+	++	+			+	+
Metoda Brainstormingu	+	+		++			
Histogram	+	++	+		+	+	+
Kontrolní formulář		++	++	+	+	+	+
Paretovy diagramy	++	+	++		+		+
Ishikawa diagram			++		+		+
Vývojový diagram	++	+		+		++	+
Bodový diagram	+		++		+		+
Regulační diagram	++	++	+	+	+	+	+

+ = nástroj je použitelný pro danou fázi,

++ = nástroj je velmi vhodný pro danou fázi.

3.2 Subtraktivní obrábění

Subtraktivní obrábění je druh obrábění, při kterém dochází k odběru materiálu z polotovaru. Jeho opakem je aditivní obrábění. Pod subtraktivním obráběním si lze představit třískové obrábění. V současné době se jedná o jednu z nejvyužívanějších výrobních technologií.

3.2.1 Základní pojmy a definice

Pro pochopení problematiky obrábění je nejprve nutné představení některých základních pojmů a jejich definic.

Třískové obrábění

Výrobní proces, při kterém dochází k tvorbě obrobku s požadovanými tvary, rozměry a kvalitou povrchu. Obrodek je tvořen postupným odebráním částic materiálu ve formě třísek. [13]

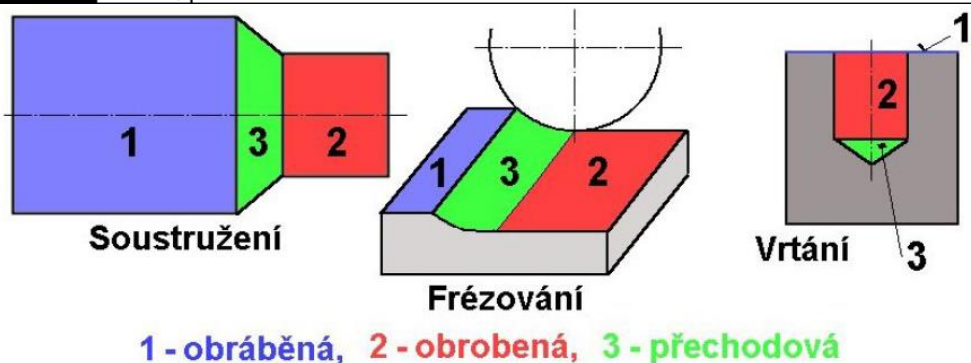
Soustava obrábění

Soustava obrábění je tvořena z následujících tří částí: [13]

- obráběcí stroj,
- řezný nástroj,
- obrodek.

Obrodek

Obrodek je objekt, na kterém je prováděn proces obrábění. Je charakterizován obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou, viz Obr. 11. [13]



Obr. 11) Plochy obrobku [13]

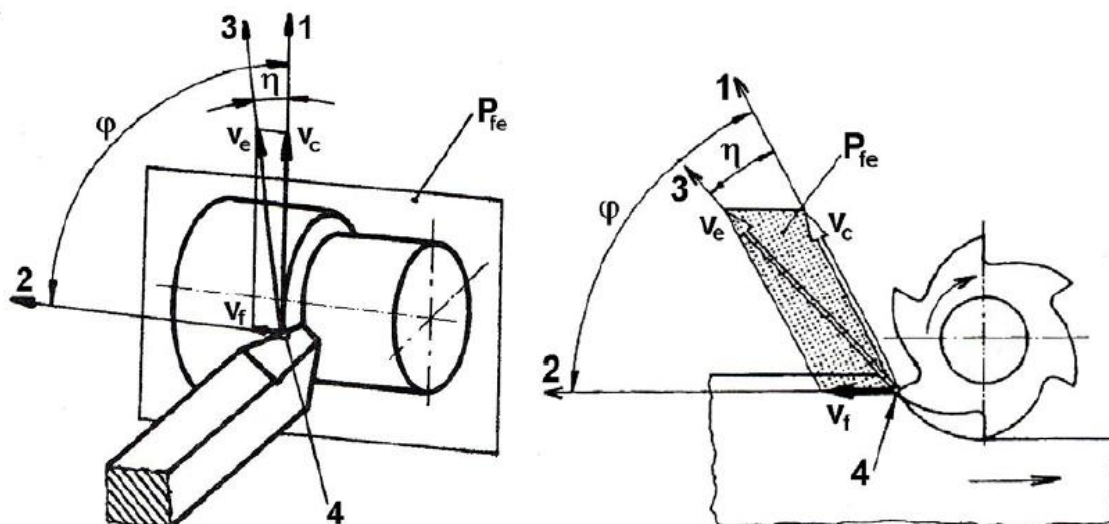
Nástroj

Nástroj je součástí soustavy obrábění, interakcí nástroje a obrobku dochází k procesu obrábění. [13]

Pohyby při obrábění

Pohyby vzniklé při obrábění jsou popsány na Obr. 12. Rozlišujeme tyto 3 základní:

- **Hlavní pohyb** – vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem, který je realizován obráběcím strojem. Směr hlavního pohybu je na Obr. 12 označen číslem 1.[13]
- **Posuvový pohyb** – opět se jedná o pohyb mezi nástrojem a obrobkem, spolu s hlavním pohybem realizují proces obrábění (řezný pohyb). Směr posuvového pohybu je na Obr. 12 označen číslem 2. [13]
- **Řezný pohyb** – vychází z hlavního a posuvového pohybu jako součet jejich vektorů. Směr řezného pohybu je na Obr. 12 označen číslem 3. [13]



Obr. 12) Pohyby při soustružení a frézování [13]

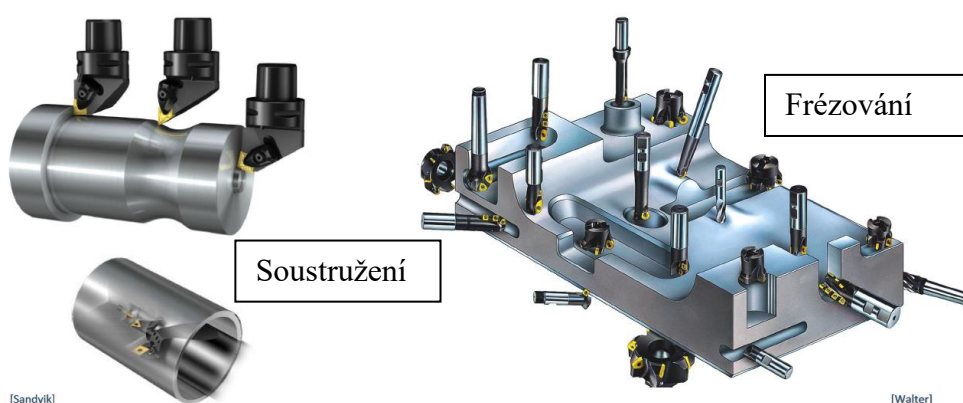
3.2.2 Operace třískového obrábění

Popis operací třískového obrábění je zaměřen pouze na strojní obrábění. Rozlišujeme dvě základní operace obrábění, viz Obr. 13:

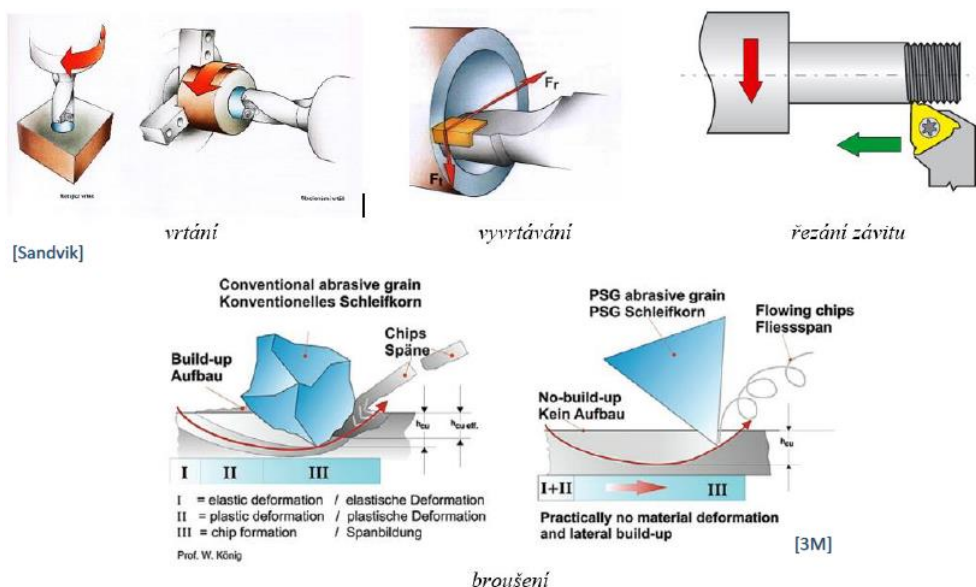
- soustružení,
- frézování.

Mimo tyto dvě základní lze definovat ještě doplňkové operace, viz Obr. 14, jimiž jsou:

- vrtání,
- vyvrtávání,
- řezání závitů,
- broušení.



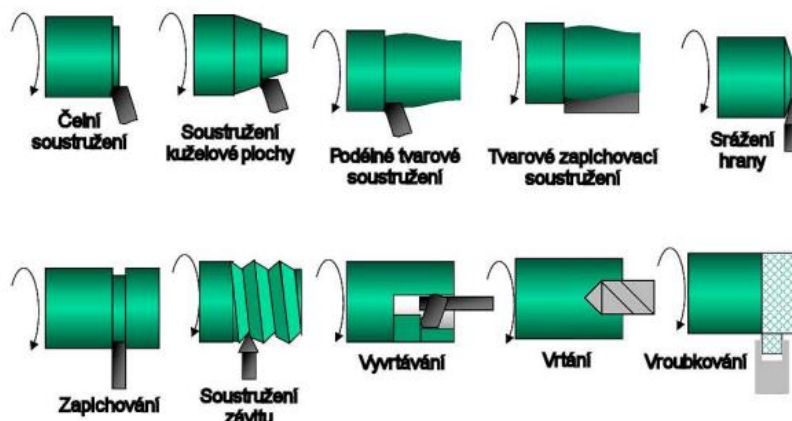
Obr. 13) Základní operace soustružení a frézování [14]



Obr. 14) Doplňkové obráběcí operace [14]

Soustružení

Obráběcí operace využívána pro obrábění rotačních tvarů. Soustružením lze provádět mnoho prací, nejpoužívanější jsou ukázány na Obr. 15. Při soustružení je hlavním pohybem rotace obrobku a posuvový pohyb koná nástroj. [13]



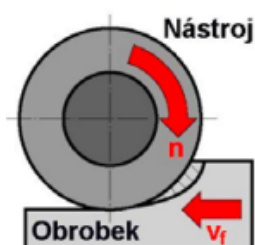
Obr. 15) Práce prováděné soustružením [13]

Frézování

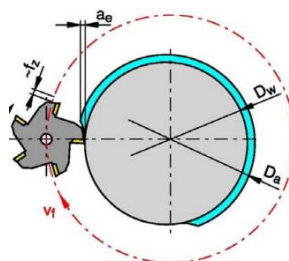
Frézování je obráběcí operace, při které dochází pomocí rotujícího nástroje k postupnému odebrání třísky. Při frézování koná posuvový pohyb nejčastěji obrobek, u moderních obráběcích strojů jsou pohyby měnitelné, a to i ve více osách (záleží dle počtu řízených os frézky). [13]

Z hlediska technologie odlišujeme mnoho typů frézování, některé z nich jsou uvedeny na Obr. 16:

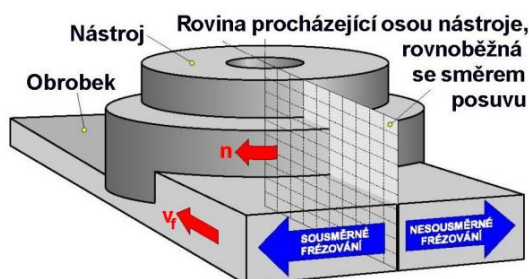
- válcové,
- čelní,
- planetové.



a) Válcové frézování



b) Planetové frézování



c) Čelní frézování

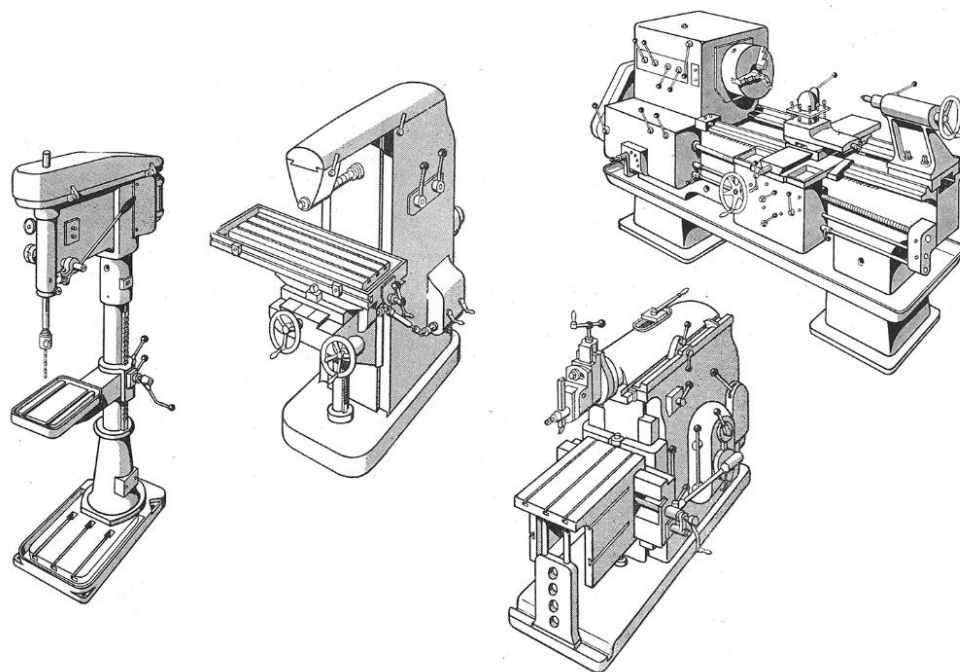
Obr. 16) Technologie frézování [13]

3.2.3 Úvod do obráběcích strojů

Pod obráběcími stroji v této práci rozumíme třískové obráběcí stroje sloužící k obrábění kovů. Patří do skupiny výrobních strojů nesoucí nástroj. „Vzájemným pohybem řezného nástroje a polotovaru je na něm vytvářen pomocí třískového obrábění povrch budoucího obrobku určitého tvaru, rozměrů a kvality (integrity povrchů), jenž je definován zpravidla konstruktérem. Pokud je většina pracovních pohybů (přísuv, posuv, hlavní řezný pohyb) ručně řízena pracovníkem, pak hovoříme o konvenčních obráběcích strojích. Jestliže převeźme tuto řídicí roli počítač naprogramovaný člověkem, hovoříme o CNC obráběcích strojích.“ [15]

Konvenční obráběcí stroje

Konvenční obráběcí stroje patří do skupiny ručně řízených obráběcích strojů, které umožňují obsluze stroje odebírat třísku, viz Obr. 17. Řízení stroje je prováděno prostřednictvím pák a ovladačů sloužícím ke stanovení směrů, rychlostí posuvů, rychlostí otáček a hloubky odebírané třísky. Z výše uvedeného textu vyplývá, že obsluha stroje značně ovlivňuje kvalitu obrábění, orientačně se uvádí ovlivnění až ze 75 %. U číslicově řízených obráběcích strojů je výsledná kvalita ovlivňována z 25 % obsluhou stroje. Konvenční stroje byly základem pro vývoj CNC obráběcích strojů. [15]



Obr. 17) Konvenční obráběcí stroje [15]

CNC obráběcí stroje

Z důvodu exponenciálního růstu složitosti tvarů obrobků (Obr. 18), nízkých rozmezí v tolerančních polích a používání vysoce legovaných materiálů se špatnou obrobitelností je v současné době značně omezeno využívání konvenčních obráběcích strojů, které jsou nahrazeny počítačově řízenými obráběcími stroji. U těchto strojů je tedy proces obrábění řízen na základě číselných údajů a příkazů. Další části této kapitoly jsou zaměřeny pouze na tuto skupinu obráběcích strojů.



Obr. 18) Příklady obráběných dílů v letectví [15]

CNC obráběcí stroje se skládají z následujících čtyř částí:[15]

- **Mechanická část** – realizace pohybu mezi nástrojem a obrobkem s cílem odebrat třísku obrobku.[15]
- **Elektrická část** – řídicí systém, důležitý pro provedení instrukcí na mechanické části, tedy aby byly vykonávány definované činnosti (pohyby, výměny nástrojů, ...).[15]
- **PLC** – „mezičlánek mezi mechanickou částí a CNC řízením, realizuje to, aby si tyto dvě části rozuměly.“ [15]
- **Procesní média** – veškerá média stroje, bez kterých by stroj nebyl schopen správně plnit svoji funkci. Jedná se např. o vzduch, hydrauliku a chlazení. [15]

Rozdělení CNC obráběcích strojů

Obráběcí stroje lze rozdělit z mnoha hledisek. Jedním z druhů rozdělení je například podle počtu řízených os na:

- tříosé,
- čtyřosé,
- víceosé.

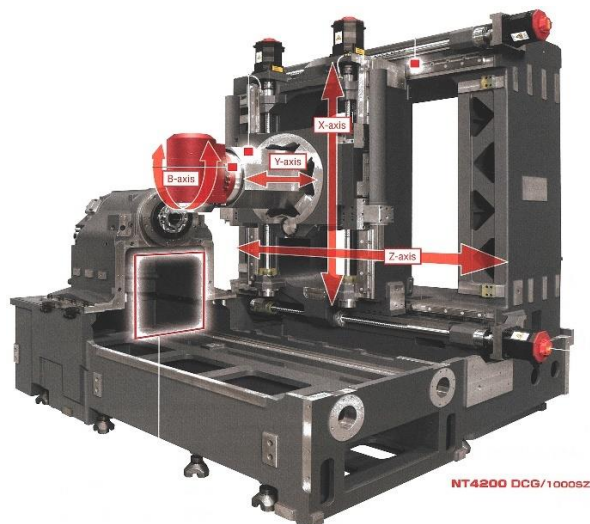
Větší množství řízených os umožňuje obrábění složitějších tvarů.

Dále lze stroje rozdělit podle tvaru obrobku na:[15]

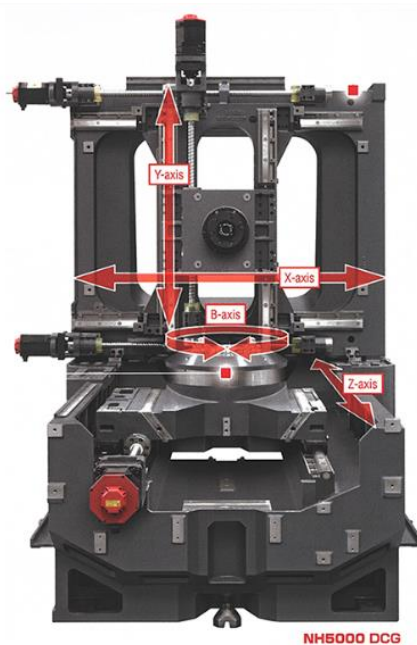
- obrábění rotačních obrobků (např. soustruhy),
- obrábění nerotačních obrobků (např. frézky),
- kombinované rotační a nerotační tvary (pro komplexní dílce).

A posledním uváděným rozdělením je dle možností provádění více druhů technologických operací:[15]

- obráběcí centra, (možnost soustružení i frézování, jedna z nich je však vždy dominantní), viz Obr. 20.
- multifunkční obráběcí centra (možnost provádět jak soustružení, tak i frézování na stejné úrovni), viz Obr. 19.

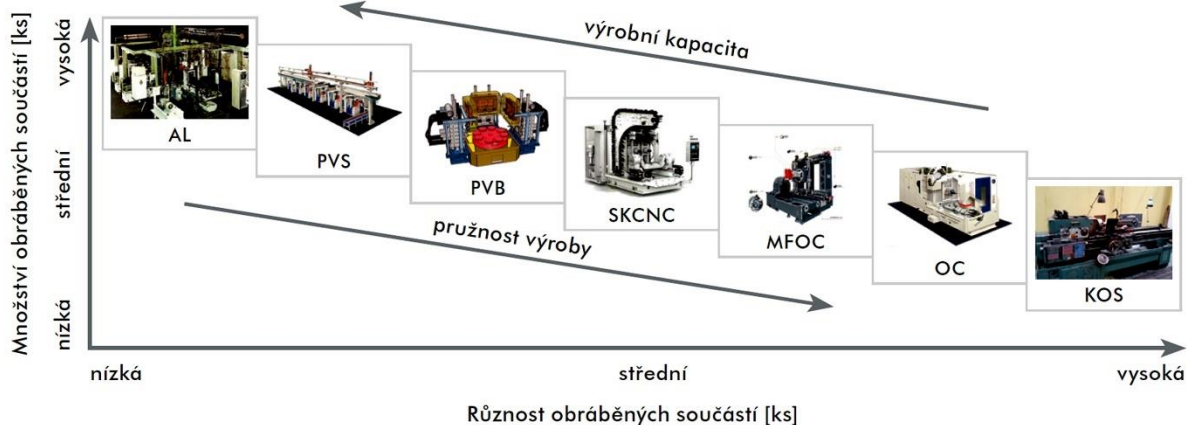


Obr. 19) Multifunkční obráběcí centrum NT [16]



Obr. 20) Frézovací obráběcí centrum NH [16]

Výběr typu obráběcího stroje záleží mimo přesnosti, velikosti, výkonu, kompatibility s nástroji, velikosti nákladů a dalších požadavků také na množství a různorodosti obráběných součástí. Na Obr. 21 jsou znázorněny oblasti využití jednotlivých typů strojů.



AL – automatická obráběcí linka (transfer), PVS – pružná výrobní soustava
PVB – pružná výrobní buňka, SKCNC – speciální konstrukce CNC strojů (např. dvou vřetenové stroje)
MFOC – multifunkční obráběcí centra, OC – obráběcí centra (soustružnická i frézovací)
KOS – konvenční (ručně řízené) obráběcí stroje

Obr. 21) Oblast použití různých typů CNC strojů [17]

3.2.4 Přesnost obráběcích strojů

Přesnost obráběcího stroje je další důležitou vlastností, která určuje oblast jeho aplikace. Toleranční pole zadaná výkresem musí být několikrát větší než přesnost stroje, kterou jsme schopni vyrábět na daném materiálu, danými postupy za příslušných okolních podmínek. Přesnost obráběcího stroje ovlivňuje celá řada faktorů, které jsou rozpracovány v různých typech přesnosti.

Rozlišujeme několik typů přesnosti:[15]

- geometrická přesnost,
- přesnost a opakovatelnost najetí do polohy,
- přesnost kruhové interpolace,
- volumetrická přesnost,
- pracovní přesnost,
- teplotní dilatace (deformace).

Pracovní přesnost

Přesnost samotného výrobního procesu s použitím daného typu obráběcího stroje je popsána **pracovní přesností** stroje. Tento typ přesnosti bývá demonstrován na konkrétním zkušebním obrobku, který je následně měřen a vyhodnocován. Pro vyhodnocování se často využívá nejistotový přístup, u kterého se nejprve stanoví nejistota typu A, dále nejistota typu B a z nich je počítána kombinovaná nejistota. [18]

Pracovní přesnost je ovlivňována následujícími faktory: [15]

- přesnost relativní dráhy nástroje,
- geometrická přesnost stroje,
- přesnost polohování,
- odolnost vůči pružným deformacím,
- odolnost stroje vůči teplotním dilatacím.

Tyto faktory je nutné podrobně znát, abychom je byli schopni ovlivňovat a zlepšovat tak pracovní přesnost stroje v případě potřeby.

Zkušební testy mohou být vykonávány například podle normy ČSN ISO 10791-7. Při vykonávání zkušebních testů přesnosti podle této normy je nutné zaznamenávat i následující parametry: [19]

- typ a materiál zkušebního obrobku,
- typ použitých obráběcích nástrojů,
- řezná a posuvová rychlost,
- hloubka řezu,
- poloha, orientace a upnutí obrobku v pracovním prostoru.

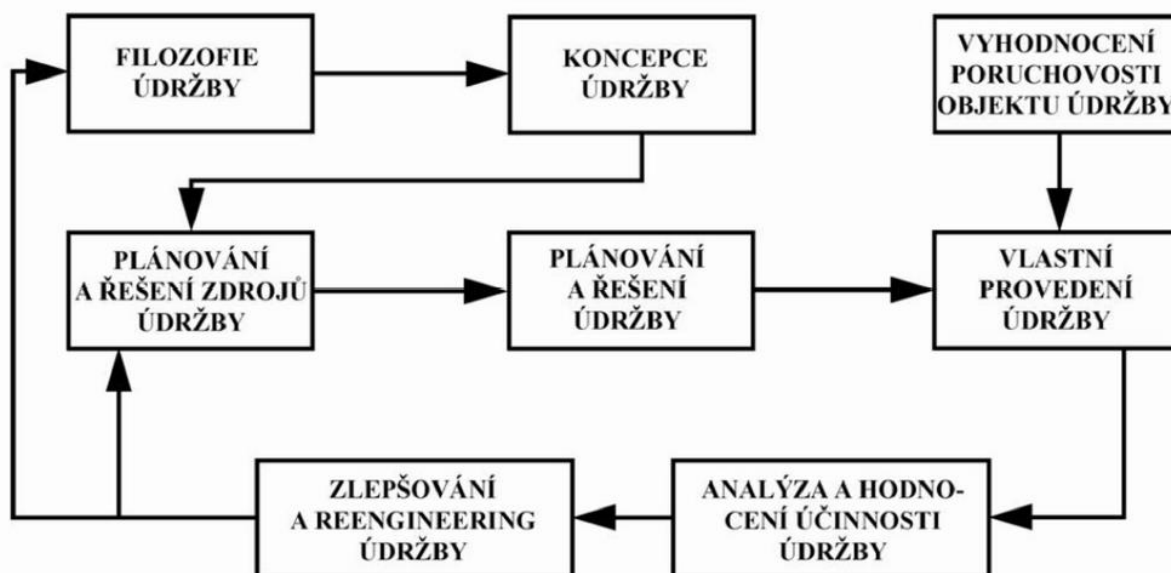
Pro zachování pracovní přesnosti a ostatních vlastností stroje je nutné provádět řádnou údržbu, minimální požadavky pro údržbu jsou definovány výrobcem stroje.

3.2.5 Údržba obráběcích strojů

Pojem „Údržba“ lze definovat následovně: „*Údržba je kombinace všech technických, administrativních a manažerských zásahů během životního cyklu objektu zaměřených na jeho udržení ve stavu, v němž může vykonávat požadovanou funkci, nebo jeho vrácení do tohoto stavu.*“ [20]

Údržba strojů ovlivňuje mimo přesnosti i spolehlivost stroje. Přísnější strategie údržby (např. častější údržba, prvky diagnostiky) zvyšuje bezporuchovost stroje, protikladem těchto přínosů jsou však náklady spojené s údržbou, které značně rostou především v důsledku prostojů stroje, ceny náhradních dílů a ceny provádění údržbových prací. Vždy je nutné najít kompromis a definovat pro každý stroj nejvhodnější strategii k dosažení cílů údržby. U strojů v záruce by však měli být plněny minimálně požadavky na údržbu stanovené výrobcem pro případnou možnost reklamace.

Základní procesy realizace údržby jsou uvedeny na Obr. 21.



Obr. 22) Procesy realizace údržby [21]

Při projektování a implementování systému údržby se vychází ze **zásady 3P**: [21]

- Preventivnost – provedení údržbářských činností v předstihu.
- Proaktivnost – hledání příčin poruch.
- Produktivnost – řešení produktivity práce.

Jednou z nejvyužívanějších filozofií údržby je v současné době metodika TPM – total productive maintenance.

TPM

TPM v překladu znamená totálně produktivní údržba. Cílem této filozofie je mimo předcházení poruch i redukce chyb, zkracování prostojů, zkracování seřizovacích časů apod. Jedná se o progresivní přístup organizace údržby, který je závislý na složitějších nářadích a přístrojích pro diagnostiku (např. diagnostika u obráběcích strojů). [21]

TPM je postaveno na pěti základních pilířích: [21]

- **Odstraňování ztrát na zařízeních** – hodnocení efektivnosti strojů (např. OEE).
- **Autonomní údržba** – operátor je schopen sám provádět údržbu, rozumí zařízení, stará se o něj.
- **Plánovaná údržba** – budování systému údržby.
- **Trénink zaměstnanců** – zvyšování kvalifikace obsluhy stroje a údržbářů.
- **Zaměření údržby na plánování investic** – zajistit stabilní provoz zařízení a vyšší spolehlivost zařízení.

3.2.6 Způsoby upnutí polotovaru

V současné době existuje mnoho způsobů upnutí polotovaru (obrobku), pro účely práce je upínání dále členěno do dvou skupin, upínání při soustružení a při frézování. Obecně nelze prohlásit, že by byl vždy správný pouze jeden způsob upnutí. Při volbě musíme vzít v úvahu minimálně následující faktory:

- velikost tolerančních polí obrobku,
- doba realizace upnutí,
- náklady na upnutí,
- typ použitého stroje,
- tvar a složitost obrobku,
- materiál obrobku (obrobitelnost, odolnost vůči deformacím).

Při volbě způsobu upnutí jde vždy o kompromis mezi kvalitou a náklady, v ideálním případě má však upnutí následující vlastnosti: [22]

- ideální poloha obrobku vůči nástroji,
- jednoduché upnutí,
- vysoká tuhost a pevnost upnutí,
- bezpečnost při chodu i při upínání,
- vysoká rychlost upnutí,
- minimální náklady,
- bez vibrací,
- dlouhá životnost objektu k upínání,
- nebrání odchodu třísek.

Způsoby upínání při soustružení

Při volbě upínání obrobku pro soustružení je nutné mimo výše uvedené vlastnosti hledět i na průměr obrobku vůči jeho délce, hmotnost obrobku a na schopnost přenášet kroutící moment. [22]

Pro účely diplomové práce stojí za zmínku následující způsoby upínání při soustružení:

- pomocí sklíčidla,
- pomocí kleštin,
- pomocí speciálních upínacích přípravků pro soustružení.

Sklíčidlo – jedno z nejvyužívanějších upínacích zařízení při soustružení. Výhodami jsou jednoduchost, rychlost upnutí a nízké náklady na upnutí. Nelze však použít pro složité tvary a obecně není vhodné pro součásti s malými tolerančními poli. Tříčelist'ové sklíčidlo je uvedeno na Obr. 23.



Obr. 23) Tříčelist'ové sklíčidlo – zařízení pro upínání obrobku při soustružení [13]

Kleštiny – bývá využívána především pro tyčové materiály menších průměrů. Jedná se o pouzdro kuželového tvaru, které pomocí čelistí svírá obrobek, viz Obr. 24. Výhodami jsou především vysoká přesnost a zvýšení souososti obrobku. Velkou nevýhodou je však malý rozsah průměrů kleštin. [22]



Obr. 24) Kleština – zařízení pro upínání obrobku při soustružení [13]

Speciální upínací přípravky (Obr. 25) – do skupiny speciálních upínacích přípravků řadíme objekty, které byly vyrobeny pro upnutí konkrétních typů obrobků, čímž se liší od předchozích typů upínání, které jsou spíše univerzální. Bývají vyráběny především pro velmi složité tvary, u kterých požadujeme vysokou přesnost a pro velké technologické dávky. Hlavní výhodou speciálních upínacích přípravků je dosažení větší přesnosti, stability, pevnosti a opakovatelnosti upnutí. Nevýhodami však je náročnost pro výrobu a náklady spojené s realizací a kontrolami.



Obr. 25) Speciální upínací přípravek pro soustružení dílců leteckého motoru [23]

Způsoby upínání při frézování

U frézování je důležitá především pevnost a stabilita upnutí, protože dochází k současnému záběru několika zubů, čímž vznikají velké řezné síly.

Pro potřeby práce jsou blíže definovány následující způsoby upínání obrobku při frézování:

- pomocí svěráku,
- pomocí nulových bodů,
- pomocí speciálních upínacích přípravků pro frézování.

Upínací svěráky – volí se především pro menší obrobky jednodušších tvarů. Mají nižší přesnost a opakovatelnost, vhodnější spíše pro méně přesné dílce a menší technologické dávky. Jedná se opět spíše o univerzální upnutí. Svěrák je uveden na Obr. 26. [22]

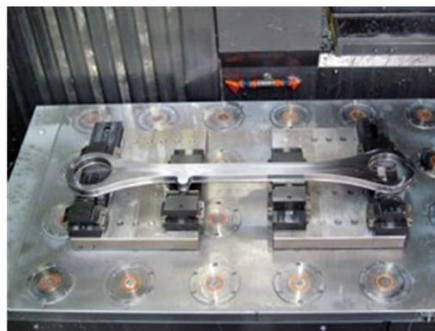


Obr. 26) Upínací svěrák pro frézování [24]

Upnutí pomocí nulových bodů – může být významnou časovou úsporou při uchycení obrobku. V základní desce jsou disky, do kterých se pomocí speciálních čepů upíná buď samotný obrobek, paleta se speciálním upínacím přípravkem nebo svěrák. Upínání pomocí nulových bodů je snazší a minimalizuje riziko výskytu lidské chyby při upínání, ale hlavní výhodou je vysoká opakovatelnost upínání, která se pohybuje až v tisících milimetru. Příklad upínání pomocí nulových bodů je uveden na Obr. 27. [15]



Upnutí přímo na desce stolu



Tvarově složité díly

Obr. 27) Způsob upnutí pomocí nulových bodů [15]

Speciální upínací přípravky pro frézování – pro tento typ platí stejný popis jako u speciálních upínacích přípravků pro soustružení, viz popis výše. Příklad speciálních upínacích přípravků pro frézování ojníc pro lodní motory je uveden na Obr. 28.



Obr. 28) Speciální upínací přípravek pro upínání ojníc pro lodní motory [23]

3.2.7 Strategie obrábění

Strategie obrábění výrazně ovlivňuje dobu výroby, opotřebení strojů, opotřebení nástrojů a přesnost obrobků a kvalitu povrchu. Proces volby nástroje a proces určení strategie obrábění se vzájemně ovlivňují, nástroje musí být přizpůsobeny zvolené strategii. Rozlišujeme několik strategií:

- HFM – vysokoposuvové,
- HSC – vysokorychlostní,
- konzervativní,
- ekonomický,
- výkonnostní.

HFM – vysokoposuvový přístup k obrábění

Při této strategii se využívá vysokých posuvů na otáčku a vysokých otáček při malých hloubkách řezu, čímž je i méně zatěžován stroj než u HSC strategie.[25]

Hlavními výhodami jsou:[25]

- nižší řezné síly,
- nižší tvorba tepla při obrábění,
- lepší odvod tepla pomocí třísek.

HSC – vysokorychlostní přístup k obrábění

Hlavní charakteristikou tohoto přístupu, jak již název napovídá je vysoká rychlost otáčení nástroje (obrobku), menší posuvové rychlosti a standardní hloubka řezu. S dosahováním vysokých řezných rychlostí je však spojeno vysoké opotřebení nástroje a obráběcího stroje. Velkým problémem může být výskyt vibrací.

Hlavní výhody této strategie jsou následující:[26]

- vyšší přesnost obrábění,
- lepší kvalita povrchu,
- lepší odvod třísek.

Konzervativní přístup k obrábění

Klasický přístup k obrábění, vhodnější spíše pro kusovou nebo nízkosériovou výrobu. Jednodušší definování procesu obrábění, nižší riziko neshod, ale i nižší produktivita. Nižší posuvy a nižší řezné rychlosti.

Ekonomický přístup k obrábění

Ekonomický přístup klade důraz na šetření strojů a nízké opotřebení nástrojů. Cílem je minimalizovat náklady spojené s obráběním a přizpůsobit tomu řezné rychlosti i posuvy. Velmi podobný konzervativnímu přístupu, s větším ohledem na nákladovost procesu obrábění.

Výkonnostní přístup k obrábění

Výkonnostní přístup k obrábění spočívá ve vysokých posuvových rychlostech, vysokých otáčkách nástroje (obrobku při soustružení) a velké hloubce záběru. Pro tento typ obrábění je nutné využít speciální nástroje. Vysoká produktivita za cenu mírného snížení kvality obrábění, které se odráží v dosažených přesnostech a vysokých nákladech na výrobu. [27]

3.3 Letecký průmysl

Letecký průmysl pokrývá velmi širokou oblast, na kterou se vztahuje mnoho legislativních požadavků. Základním rozdělením je podle typu zákazníka na civilní a vojenské letectví, obě tyto odvětví musí plnit odlišné legislativní požadavky, aby byly letově způsobilé. Letová způsobilost je stav, ve kterém je úroveň bezpečnosti součástí leteckého průmyslu při používání v předpokládaných provozních podmínkách stejná nebo vyšší, než je minimální úroveň bezpečnosti stanovená příslušnými legislativními požadavky. [28]

Civilní letectví je obsáhlejší oblastí, zaměřuje se na využívání letadel pro komerční účely, např. pro přepravu osob nebo materiálů. Vojenské letectví využívá výrobky pro obranné účely.

Obecně si lze pod výrobky leteckého průmyslu představit letadla, bezpilotní letouny, motory, vrtule a jejich součásti. Pro každý typ výrobku jsou stanoveny jiné požadavky agenturou EASA (European Union Aviation Safety Agency), ty vycházejí z celosvětových požadavků ICAO. Současným cílem je otevřít dveře trhu i menším letadlovým výrobcům, což se zatím nedaří. Požadavky jsou v leteckém průmyslu tak striktní a proces certifikace tak

nákladný a časově náročný, že je téměř nemožné získat místo na trhu výroby letadel vedle gigantů jako je např. Airbus nebo Boeing.

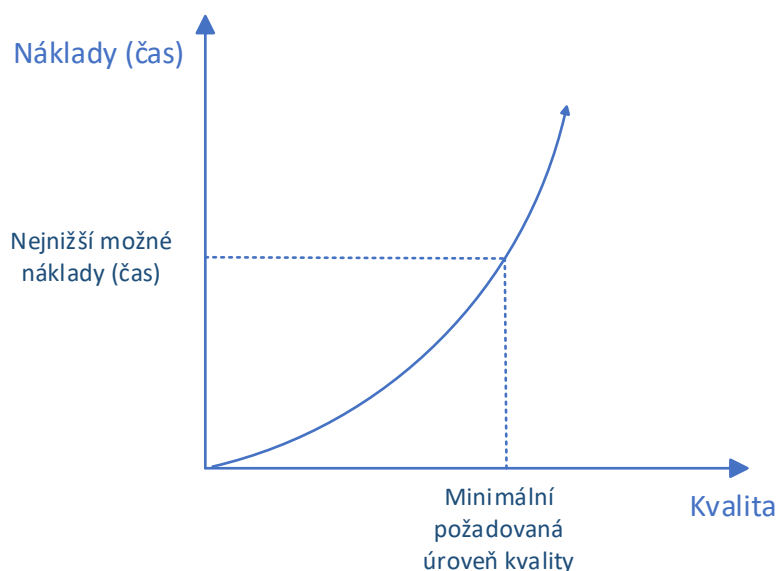
Výzvy leteckého průmyslu jsou následující: [29]

- obsáhlost a striktnost legislativních a normativních požadavků,
- složitost procesu certifikace,
- volba vhodného materiálu a práce s ním (např. špatná obrobitelnost),
- složitost tvarů součástí,
- vysoká spolehlivost, bezpečnost zařízení a součástí,
- různorodost součástí v leteckém průmyslu,
- velká časová náročnost a vysoké náklady na výrobu.

4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Stabilizaci kvality obrábění můžeme v rámci moderního expertního řešení problémů obecně označit jako problémovou situaci. Hovoříme tedy o nestandardním stavu entity, v tomto případě o produkci neshodných produktů nebo zbytečně vysokých nákladech na třískové obrábění. Problém, vycházející z problémové situace je díl, který nesplňuje výrobní dokumentací zadané specifikace nebo je příliš nákladný na výrobu. Cílem každého podniku je vydělávat co nejvíce peněz. Výše zisku je ovlivňována hned několika faktory, jedním z nich je i kvalita výroby. Každý neshodný kus nebo naopak příliš vysoké náklady na výrobu zvyšují ušlý zisk firmy. [3]

Znaky kvality pro proces obrábění jsou tedy stupeň splnění všech požadavků při obrábění stanovených výrobním výkresem, výše nákladů na obrábění a v některých případech může mít signifikantní vliv i doba obrábění, jejíž důležitost je ovlivňována mnoha faktory, např. výtěžností strojů nebo termín dodání výrobku stanovený zákazníkem. Cílem je najít variantu procesu obrábění, kde budou splněny všechny specifikace (pro daný počet dílů) za co nejmenší náklady a čas, viz Obr. 29.



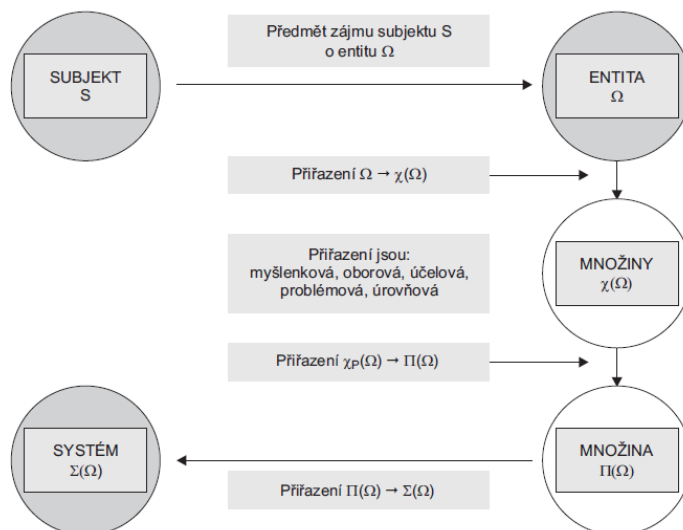
Obr. 29) Ilustrativní příklad [vlastní zdroj]

Neshodná produkce a výše nákladů při obrábění jsou ovlivňovány řadou faktorů, v rámci práce hovoříme o nepřímých příčinných problémech řešitelných na interdisciplinární úrovni. S vývojem lidské rasy dochází až k exponenciálnímu rozvoji veškerých vědomostí a technologií. Následkem je neustále rostoucí složitost entit, čímž dochází i ke zvyšování složitosti a rozsahu problémů. V současné době se jako jeden z nejvyspělejších a nejvhodnějších postupů při řešení problémů využívá systémový přístup. Ten slouží jako „nápověda“ na jaké věci by člověk neměl zapomenout při provádění činností spojených s touto entitou (např. kvalitou obrábění). Důležité je problém řešit komplexněji s větším smyslem pro detail. Samozřejmě musí být řešení přizpůsobeno požadavkům zadavatele, na základě požadavků si řešitel volí strategii, podle níž bude postupovat. V rámci systémového přístupu je nutné sledovat i vzájemné vazby mezi entitami, okolím a dodržovat další zásady této metodiky.

Prvním krokem je tedy vymezení entit, které mohou mít vliv na kvalitu obrábění. Dalším krokem je detailnější popis entit pro jednodušší pochopení částí entit, a nakonec je proveden popis všech vazeb mezi entitami a závěr zjištěných poznatků.

4.1 Vymezení entit ovlivňujících kvalitu obrábění

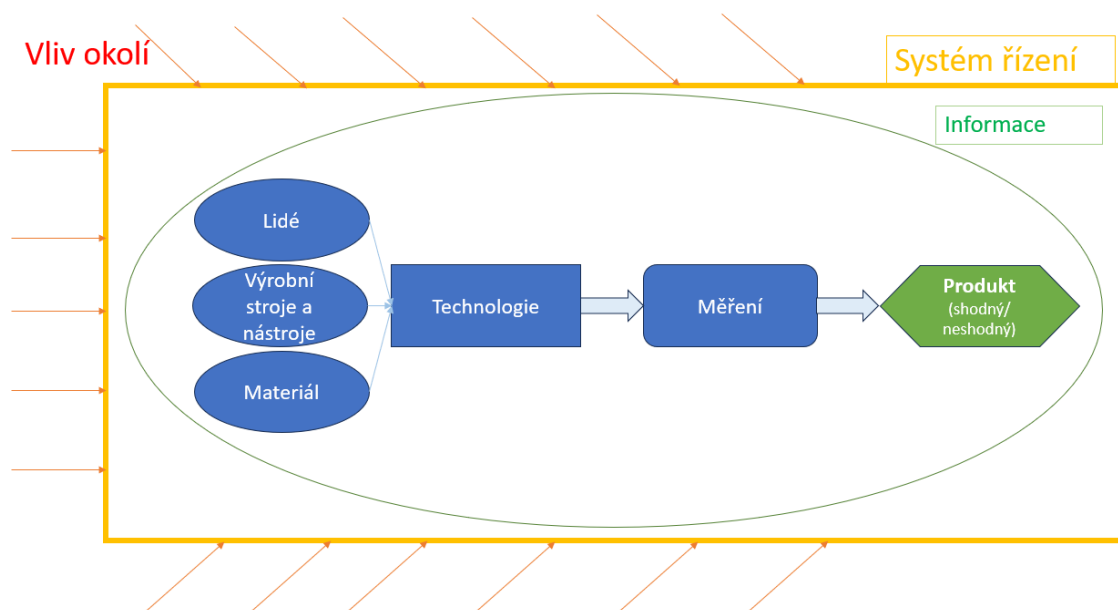
Vymezení entit je nejdůležitější část rozboru, vychází primárně ze schématu (Obr. 30), který obecně znázorňuje vytváření množin a systémů. Hovoříme tedy o vytváření systému podstatných entit, které ovlivňují kvalitu obrábění. [15]



Obr. 30) Schéma pro vymezení entit a jejich množin [15]

Mimo Obr. 30 vychází vymezení entit ze znalostí a vědomostí autora a pracovníků ve firmě, kteří mají bohaté zkušenosti a znalosti z oboru obrábění. Entity byly identifikovány metodou brainstormingu, u všech výstupů byla provedena abstrakce pro zjednodušení a odhalení nejvýznamnějších entit. Ty byly dále graficky znázorněny, viz Obr. 31.

Nutno podotknout, že uvnitř schématu (modré obrazce) se nacházejí entity **přímo ovlivňující** kvalitu obrábění. Informace, systém řízení a vliv okolí jsou entity s **nepřímým vlivem** (barevné obrazce). V diagramu příčin a následků jsou **přímé** entity a **systém řízení** uváděny jako hlavní příčiny. Informace a vliv okolí slouží jako vstupy do všech ostatních entit, proto nejsou uváděny jako samostatně stojící větve diagramu, viz Obr. 33.



Obr. 31) Entity ovlivňující kvalitu obrábění [vlastní zdroj]

Materiál neboli polotovary, které jsou obráběním transformovány na obrobky. Do této skupiny jsou řazeny i další vstupní materiály pro proces obrábění jako je například řezná kapalina. Značný vliv na **materiál** může mít **vliv okolí** při manipulaci nebo skladování. Pro optimální práci s **materiálem** je nutné mít potřebné **informace**, které blíže popisují materiál. Vazby materiálu s ostatními entitami jsou popsány na Obr.34.

Pod pojmem **lidé** se rozumí všichni pracovníci, kteří se jakýmkoliv způsobem podílí na procesu obrábění. Řadí se sem pracovní pozice jako obsluha stroje, technolog, technolog programátor, kontrolor, vedoucí pracovníci a vedení. **Lidé** tedy souvisí se všemi ostatními entitami ovlivňující kvalitu obrábění, viz Obr. 34.

Výrobní stroje a nástroje jsou klasifikovány jako část infrastruktury výrobních strojů využívána při třískovém obrábění součástí vyráběných pro letecký průmysl. Příkladem jsou všechny typy obráběcích center, veškeré CNC frézky, soustruhy, brusky a také konvenční obráběcí stroje. Další částí jsou i všechny dostupné nástroje kompatibilní s výše definovanými stroji. Pro snížení negativního vlivu na kvalitu obrábění je nutné provádět diagnostiky a pravidelné kontroly, blíže popsány v kapitole 3.2.5. Mimo entit s nepřímým vlivem jsou **výrobní stroje a nástroje** značně ovlivňovány **lidmi a technologií**.

Úkolem **technologie** je vhodně a efektivně definovat a následně i řídit veškeré postupy a způsoby prováděné při obrábění. Jedná se tedy o řídicí proces.

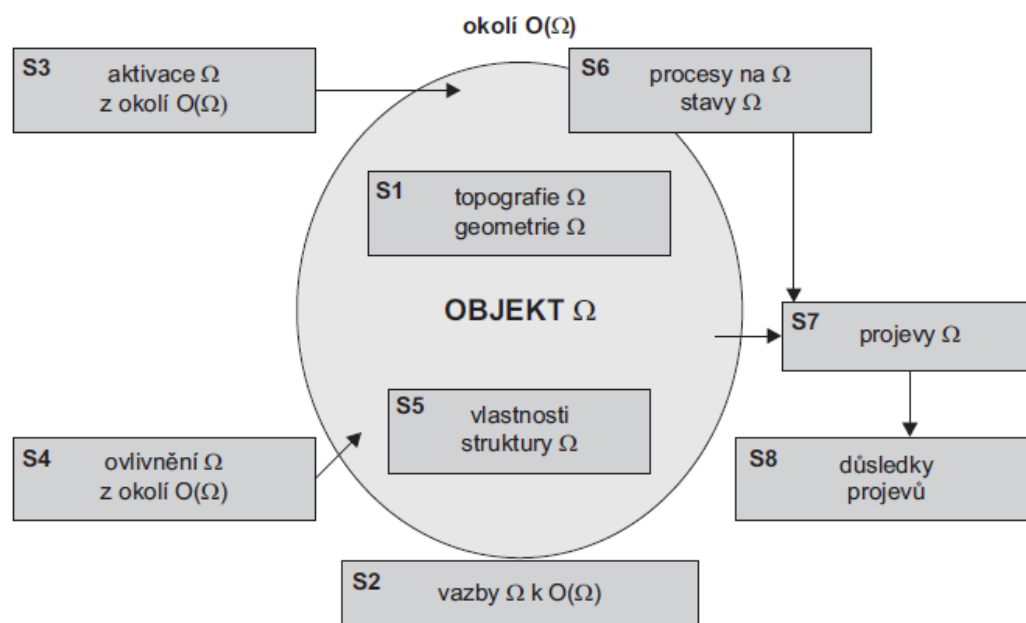
Měření slouží pro kontrolu vyrobených obrobků. Provádění správného postupu měření a vyhodnocování se způsobilým měřidlem je nutností. Například při měření drsnosti povrchu je možné pomocí profilových drsnoměrů naměřit jakékoliv hodnoty při nedostatečné znalosti systému filtrování. Pokud není proces měření správně nastaven, nelze jeho výstupy brát jako věrohodné, pro zvyšování důvěryhodnosti výsledků a snížení časové náročnosti bývá do procesu zaváděna i statistika a pravděpodobnost, například ve formě nejistot měření.

Informace jsou brány jako hlavní vstupy do všech procesů. Na základě informací jsou při řízení celého podniku konány rozhodnutí. Rozhodovací metody jsou klíčové při definování samotného systému řízení, který je postaven na základě **vlivu okolí**. Další úrovní jsou informace dostupné technologii na základě nichž definují a řídí proces obrábění. Poslední úrovní jsou informace vytvořené technologií, tyto **informace** využívá obsluha stroje i kontrolor při procesu obrábění. Důležitou součástí je i dostupnost, distribuce, bezpečnost a pravdivost informací, což zajišťuje správně nastavený systém řízení.

Systém řízení je koncipován především na základě **vlivu okolí**, jak již bylo popsáno. Cílem každé firmy je vydělávat co nejvíce peněz pro majitele nebo investora prostřednictvím plnění legislativních požadavků, požadavků zákazníka a plnění interních firemních požadavků za co nejnižší náklady, tomu musí být přizpůsoben i nastavený **systém řízení**. Další důležitou vlastností je schopnost přizpůsobovat systém aktuálním požadavkům trhu a neustále se zlepšovat pro zachování konkurenceschopnosti. **Systém řízení** je zdokumentován formou organizačních směrnic společnosti.

Vliv okolí je v rámci systémového rozboru definován víceúrovňově. Pod vlivem okolí rozumíme požadavky zákonů a závazných norem aplikovatelných v leteckém průmyslu, dále i požadavky zainteresovaných stran, vliv okolí v pracovním prostředí a vliv okolí a problémy

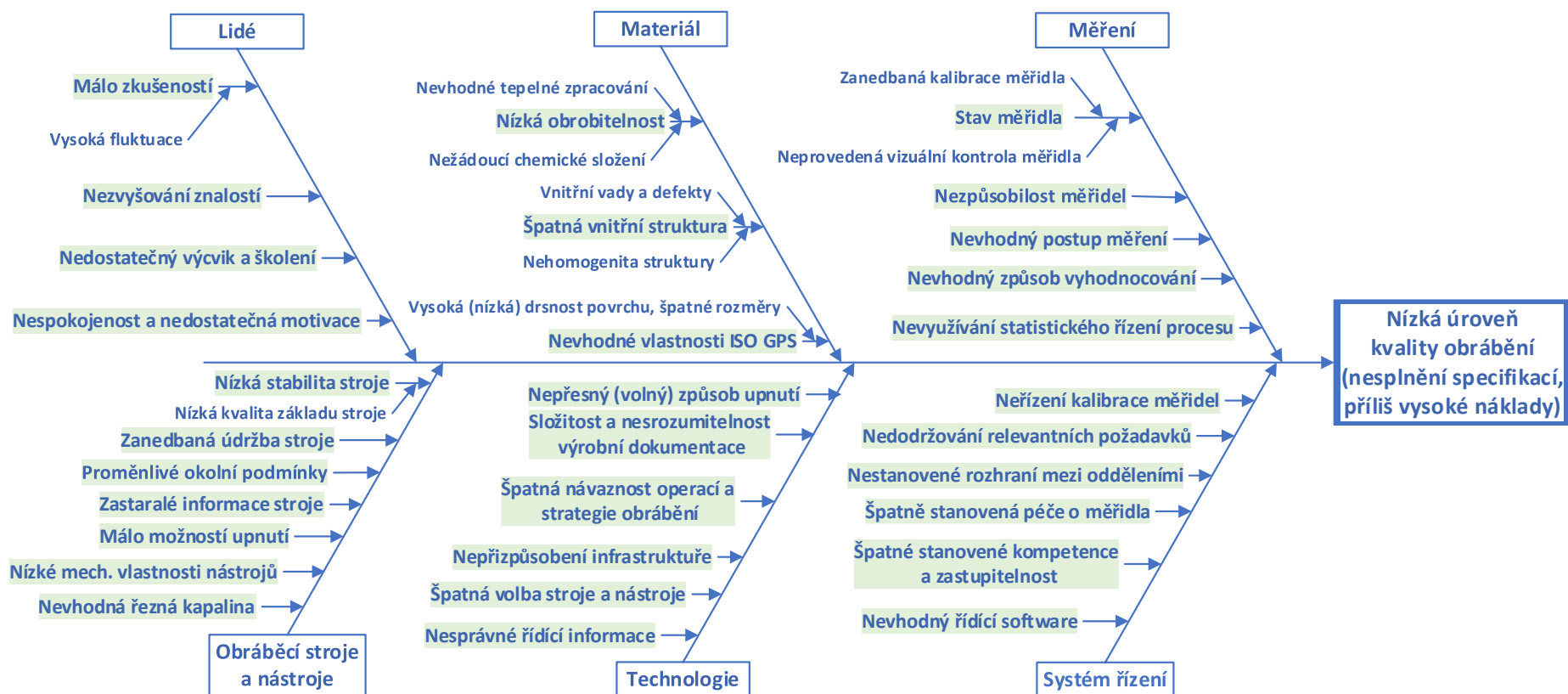
vzniklé teplotními dilatacemi při procesu obrábění a následně i při samotném měření. Způsoby, jakými může okolí ovlivňovat objekt jsou na Obr. 32.



Obr. 32) Vliv okolí objektu [15]

Zvolené entity a způsob jakým ovlivňují kvalitu obrábění je dále s větším detailem popsán za pomoci diagramu rybí kosti, viz Obr. 33. Analýza znázorňuje dekompozici entit a vychází z Obr. 32, což je zásadní pro detailnější určení všech příčin a významných veličin, které mohou ovlivňovat kvalitu obrábění. Ishikawa obsahuje šest hlavních větví, viz Obr.31.

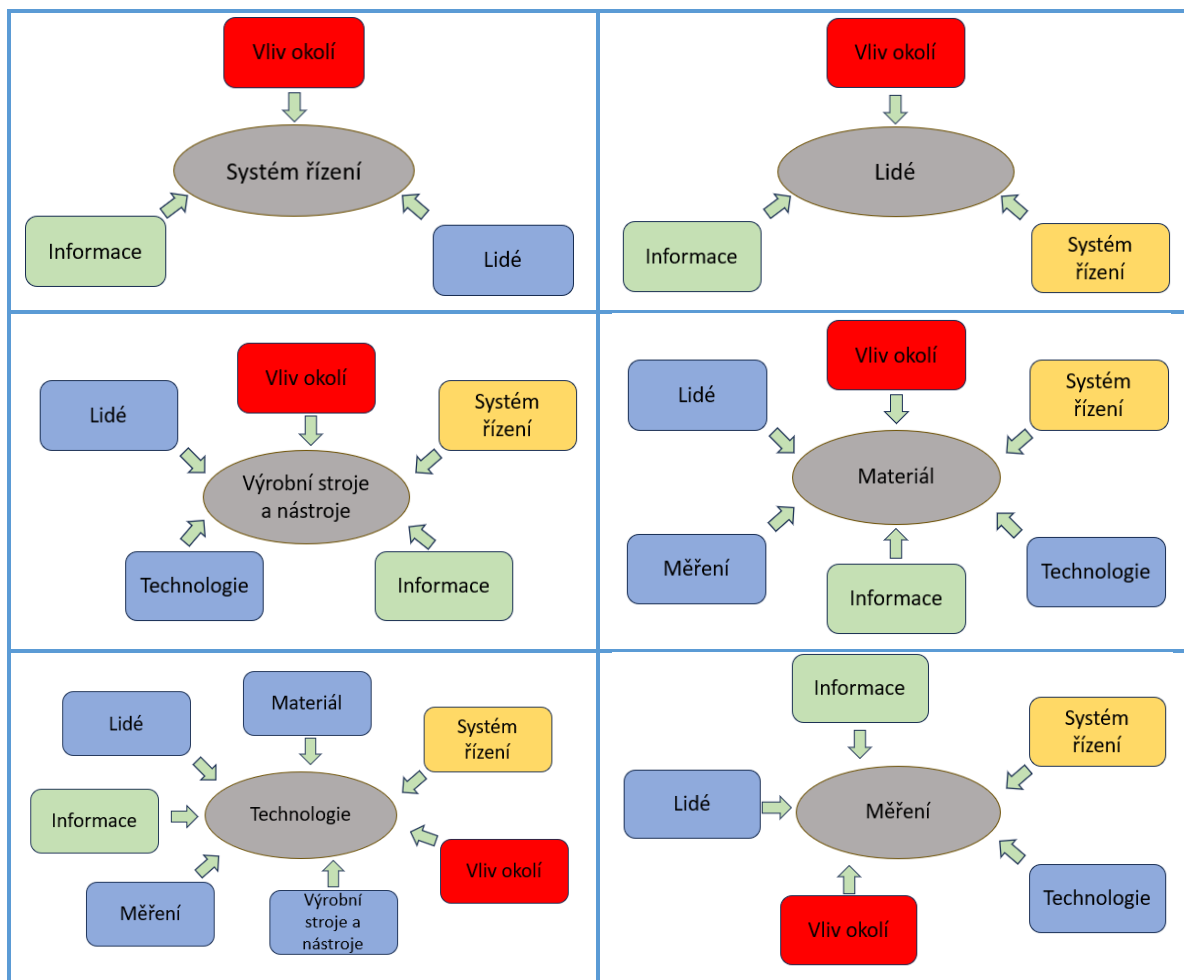
Šest z osmi entit podle 8M jsou uvedeny v následujícím diagramu. Environment je podle mého názoru v rámci této práce zanedbatelný, jelikož největší vliv na životní prostředí má v celém procesu pouze řezná kapalina a odpady vzniklé při obrábění, které jsou navíc poměrně důkladně ošetřeny z důvodu tlaku Evropské unie. Údržba obráběcích strojů je v rámci práce brána jako součást entity **Výrobní stroje a nástroje**. Jiná údržba nemá signifikantní vliv na kvalitu obrábění.



Obr. 33) Ishikawa diagram [vlastní zdroj]

4.2 Vzájemné vazby mezi vymezenými entitami

Pro pochopení jednotlivých částí a jejich interakcí v rámci systému jsou zmapovány vazby mezi entitami. Znalost vazeb je zásadní pro kompletní pochopení zajištění kvality ve firmě, viz Obr. 34. Šedá entita je výchozí a okolo jsou ty, které ji ovlivňují. U hledání vazeb bylo vycházeno z popisu jednotlivých entit v kapitole 4.1. Pro vliv okolí a informace nebylo nutné vytvářet vazby, protože jak již bylo zmíněno výše, slouží pouze jako vstupy do ostatních entit.



Obr. 34) Vzájemné vazby mezi entitami [vlastní zdroj]

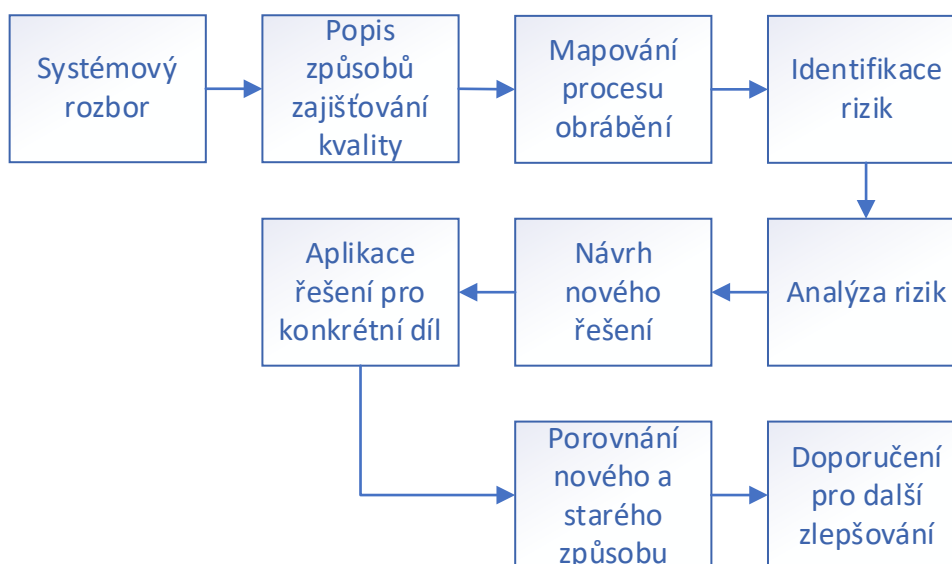
4.3 Závěr ze systémového rozboru

Pomocí systémového rozboru byly identifikovány entity ovlivňující kvalitu obrábění, jejich podrobný popis a zároveň i vzájemné vazby. Jedná se o tyto entity:

- materiál,
- lidé,
- výrobní stroje a nástroje,
- technologie,
- měření,
- informace,
- systém řízení,
- vliv okolí.

Rozbor bude sloužit jako vstupní informace pro všechny následující kapitoly DP. Výstupy ze systémového rozboru jsou však spíše teoretické, všechny entity systémového rozboru nemohou být v rámci práce řešeny (viz Obr. 31), což vychází z Paretova pravidla 80 na 20, viz kapitola 3.1.4. Každé řešení příčiny znamená pro firmu náklady navíc, proto je z ekonomického hlediska nejvýhodnější vyřešit pouze nejdůležitější části procesu. Řešení je tedy zaměřeno pouze na entity a části, které ve firmě nejvíce ovlivňují kvalitu třískového obrábění a následně je obecně zmapován a analyzován proces třískového obrábění. Na základě analýzy rizik je vytvořeno nové řešení.

Jako kontrola správnosti všech provedených kroků a nového řešení slouží nový návrh pro zvolenou součást a následné porovnání a odhad přínosu pro firmu prostřednictvím technicko-ekonomického zhodnocení. Kompletní postup je popsán v blokovém diagramu, viz Obr. 35.



Obr. 35) Blokový diagram pro postup vypracování diplomové práce [vlastní zdroj]

5 FIRMOU POUŽÍVANÉ METODY PRO ZAJIŠTĚNÍ KVALITY SUBTRAKTIVNÍHO OBRÁBĚNÍ VYBRANÉ SOUČÁSTI

Firma má certifikovaný systém managementu kvality podle normy AS 9100, revize D – systém managementu kvality v leteckém průmyslu. Norma je stejně jako ostatní z řady 9000 založena na Demingově cyklu neustálého zlepšování a řízení kvality, viz kapitola 3.1.3. Další standardy, ke kterým je firma zavázána jsou ISO 14001 – Systém environmentálního managementu, požadavky standardů NATO (AQAP 2110), České obranné standardy (ČOS 051672), Certifikace letové způsobilosti a ochrany životního prostředí EASA (Part 21) a Certifikace pro provádění údržby letadlových částí EASA (Part 145). Normy stanovují pouze požadavky, které musí být splněny, nikoliv však způsob, jakým budou plněny, zatímco ostatní zákonné požadavky stanovují ve většině případů i samotné postupy. Tato kapitola i celá práce, jak již název napovídá, je zaměřena pouze na kvalitu obrábění, proto jsou zmapovány pouze části a oddělení firmy, které mají největší vliv na kvalitu obrábění. Uvažované entity vycházejí ze systémového rozboru v kapitole 4, proto je pro popis firmou používaných metod pro zajištění kvality zvolena bližší charakteristika entit a způsoby zajišťování jejich kvality. Entity tvoří dohromady systém, jehož cílem je řídit výrobu s minimem neshodných obrobků za přijatelné náklady a při plnění všech závazných požadavků zainteresovaných stran.

5.1 Kontext organizace

Firma je rozdělena do tří divizí, v práci je řešena pouze problematika obrábění na divizi letecké techniky. Podnik má velmi široké portfolio typů obráběných dílců. Nejobsáhlejší oblasti podnikání jsou menší letadlové motory a pomocné energetické jednotky. Dalšími zdroji příjmu jsou pro firmu i kryogenní zařízení, klimatizace a jiné součásti vyráběné pro letecký průmysl, další výrobky a služby jsou popsány v odrážkách níže. Všechny tyto zařízení jsou z velké části tvořeny obrobky s vysokými nároky na přesnost a spolehlivost. S různorodostí vyráběných zařízení roste i množství požadavků na systém řízení kvality firmy. Složitost systému je o to větší, když se jedná o výrobky leteckého průmyslu, kde mimo jiné rozdělujeme základní požadavky na projekci (design), výrobu a údržbu (provádění generálních oprav). Dalším důležitým členěním je typ koncového zákazníka, požadavky na výrobky jsou drobně odlišné pro civilní a vojenské letectví. Společným prvkem pro celou firmu je však uplatňování požadavků na systém řízení kvality dle normy AS 9100D. Bližší popis požadavků a problematiky leteckého průmyslu je popsán v kapitole 3.3.

Další část této kapitoly je tedy zaměřena především na popis řízení kvality vycházející z normy AS 9100D ve vztahu k třískovému obrábění.

Výrobky produkované firmou jsou následující:

- pomocné energetické jednotky,
- proudové motory,
- turbovrtulové motory,
- turbohřídelové motory,
- přístroje letecké techniky,
- převodovky letadel,
- klimatizační systémy letadel,
- vzduchové startovací systémy,
- startér-generátory,
- přeplňovací kompresory pro letecké pístové motory,
- kryogenní technika (kryogenní kompresory, kryogenní čerpadla, héliové expanzní turbíny),
- turbínové průtokoměry.

Služby poskytované firmou jsou následující:

- generální opravy, opravy, servis, údržba a zkoušení,
- broušení ozubených kol,
- povlakování lopatek turbín,
- tepelné zpracování ve vakuu,
- elektrojiskrové hloubení – vyjiskřování,
- technická podpora,
- bulletiny,
- prodej náhradních dílů a přístrojů,
- prodlužování doby do generální opravy.

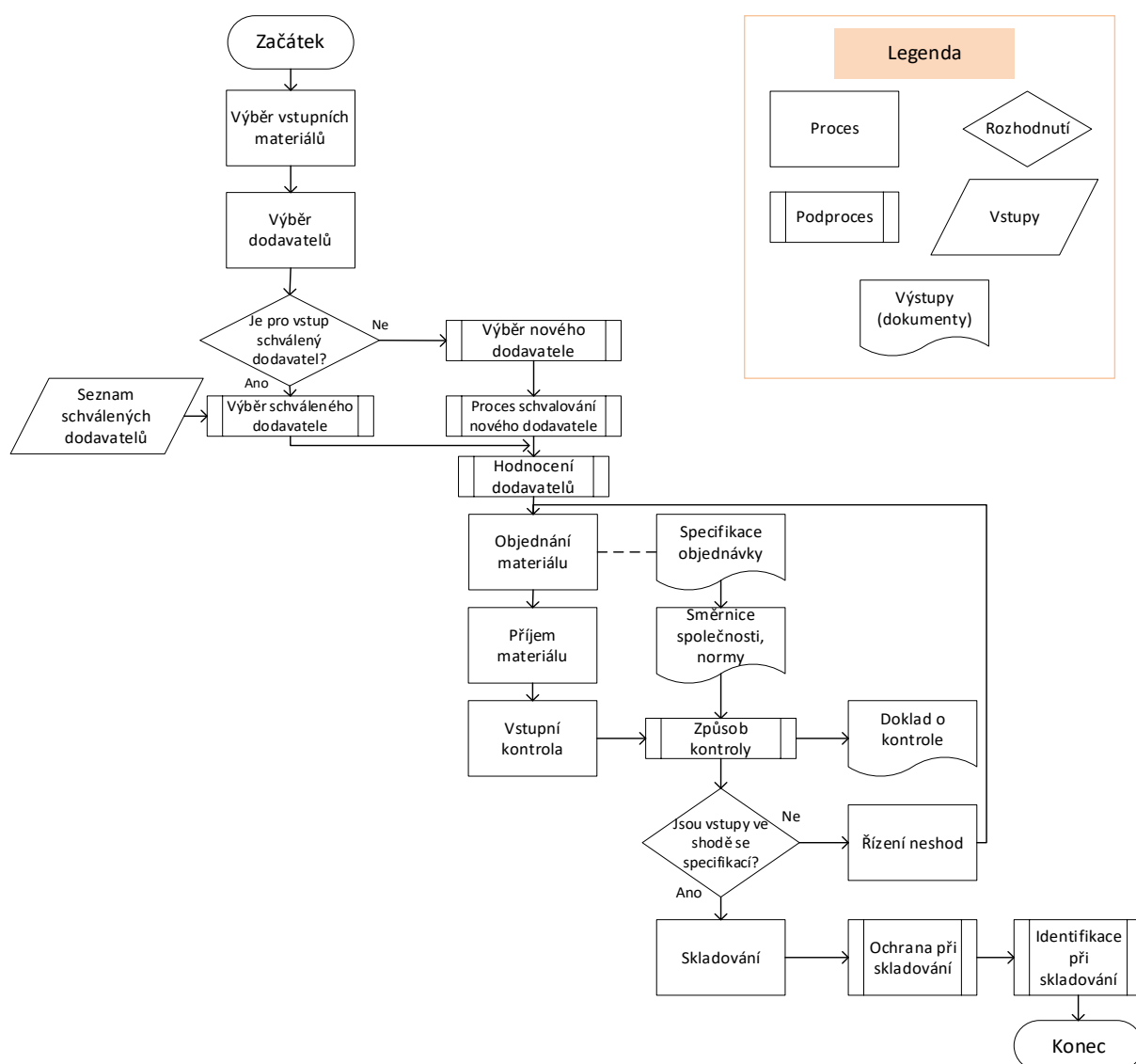
5.2 Materiál

Materiál je jednou z devíti entit významně ovlivňujících kvalitu obrábění. Veškerý materiál vstupující do procesu obrábění jako polotovar je ve firmě nakupován od dodavatelů. AS 9100D předepisuje metody pro zajištění kvality nakupovaného materiálu, zmapované ve vývojovém diagramu, viz Obr. 36. Za zmínku určitě stojí vedení seznamu schválených dodavatelů s předmětem schválení a pravidelné hodnocení externích poskytovatelů. V případě neplnění požadavků je nutné definovat nezbytná opatření, kterými mohou být např. vyšetřování kořenové příčiny a způsob kompenzace škod. [7]

Cílem každého nákupčího, je nakoupit co nejkvalitnější materiál, za co nejnížší cenu. Samozřejmě v požadovaném množství a čase. Je proto vhodné zvolit více dodavatelů (pokud je to možné), dosáhneme tím nezávislosti a také výhodnějších obchodních podmínek. Každý dodavatel musí projít procesem schválení, ten bývá složen z několika kroků. Obsahuje jak vstupní formulář, tak i přísné zkoušky a kontroly provedené v rámci vzorkového řízení za účelem ověření plnění požadavků zadaných objednávkou a vhodnosti materiálu pro zamýšlené využití. Pokud dodavatel splňuje všechny požadavky, může být umístěn na seznam schválených dodavatelů, kde musí být uveden i předmět schválení (tedy skupina dílů nebo služeb, které mohou být poskytovány). Dalším důležitým dokladem je atest a protokol o kontrole mechanických vlastností a chemického složení. Ověření shody mezi požadavky a přijatým

materiálem provádí vstupní kontrola, v případě neshod je postupováno dle systémem řízení stanovených postupů. Druh neshody je rozhodující pro další zacházení s materiálem, nejčastěji bývá vystavena reklamacce. V případě materiálu určenému k obrábění bývá oddělením kontroly prováděna statistická přejímka. Vybere se část materiálu, která je reprezentativní pro celou šarži a následně jsou provedeny kontroly, především se jedná o kontroly mechanických vlastností a chemického složení materiálu. Určení rozsahu kontrolovaného množství je klíčové. Největší pravděpodobnost pro odhalení neshod by samozřejmě byla při 100% kontrole, což by však bylo obrovsky časově, tudíž i finančně náročné. Jednoduchým řešením tohoto problému je aplikace statistiky, která stanoví ověřované množství pro dosažení požadovaného intervalu pokrytí.

Pokud je prokázána shoda, materiál dále putuje do skladu, kde musí být zajištěny vhodné okolní podmínky, ochrana a identifikace při skladování. Ve skladu je již materiál připraven k zaplánování a následnému opracování ve výrobě. Pro každého dodavatele se provádí i jeho hodnocení formou měření. Nejčastěji bývají měřeny parametry jako včasnost a kvalita dodávek. Výstupy z hodnocení je možné využít pro určení rozsahu budoucí spolupráce, případně i pro změnu v nákupních podmínkách.



Obr. 36) Vývojový diagram zajištění kvality materiálu [vlastní zdroj]

5.3 Lidé

Jak Obr. 34 napovídá, lidé jsou součástí všech procesů ovlivňujících obrábění. Lidský faktor bývá označován jako největší zdroj chyb, proto se dnes firmy snaží o nahrazování lidí pomocí strojů. Současným trendem v průmyslu je tedy zvyšování stupně automatizace. Pokud označíme lidský faktor jako nebezpečí, pak jediný způsob, kterým odstranit riziko vzniku chyb je odstraněním nebezpečí, v případě, že nejsme schopni odstranit nebezpečí, musí být riziko sníženo na přijatelnou úroveň za přijatelné náklady. V dnešní době se jeví jako přínosné zavádět automatické výrobní linky (odstranění lidského faktoru) převážně u velkosériové a hromadné výroby. Ve firmě je prováděna pouze nízko sériová výroba a je zde velká různorodost vyráběných součástí. Automatizace tohoto typu výroby je spíše otázkou budoucnosti. Ve firmě je tedy nutné snižovat riziko vzniku lidské chyby, což je prováděno hned několika způsoby. V rámci tohoto odstavce odkazujeme na lidi primárně jako na pracovníky provádějící hlavní procesy ve firmě, tedy procesy, na kterých přímo dochází k tvorbě přidané hodnoty.

Kvalita lidské práce je zajišťována několika způsoby. Jedním ze způsobů je stanovení kvalifikačních požadavků na dané pozice, máme tak větší jistotu, že je pracovník způsobilý k vykonávání dané činnosti. Jako součást neustálého zlepšování je i neustálé zvyšování kvalifikace pracovníků formou vzdělávání a školení. Lze říct, že čím větší budou zkušenosti a kvalifikace pracovníka, tím uspokojivější výstupy od něj můžeme očekávat. Druhou částí dosahování kvalitních výstupů zaměstnance je motivace. Pracovník musí ve svém pracovním prostředí cítit komfort a touhu po zlepšování. Nadřazení pracovníci by měli být schopni motivovat ostatní pomocí různých metod motivace, každý člověk je jiný, proto musí být manažer, případně vedoucí, dostatečně kompetentní a mít schopnost přizpůsobovat vlastní techniky motivace pro správné fungování svých podřízených. Ke zvýšení motivace přispívají také pracovní benefity, odměny a finanční ohodnocení.

Kontrola lidí je zajišťována především nadřízenými pracovníky(mistry) a měřením množství odvedené práce.

5.4 Výrobní stroje a nástroje

Kvalita obráběcích strojů bývá ověřována již při převzetí stroje, kde výrobce demonstruje splnění požadavků stroje na zkušebním dílci.

Vzhledem k širokému strojnímu arsenálu jsou výrobní stroje po prvotním převzetí kontrolovány oddělením údržby. Ve firmě jsou provozovány moderní CNC stroje, ale i starší stroje, své využití najdou i konvenční obráběcí stroje. Velká různorodost mezi typy a stářím strojů činí systém údržby velice náročný, téměř ke každému stroji je nutno přistupovat jiným způsobem. Typy používaných strojů jsou popsány v kapitole 6.1.3.

Na každém stroji bývá prováděna autonomní údržba, cílem tohoto typu údržby je především čištění a mazání, což jsou jednoduché rutinní činnosti prováděné obsluhou stroje. Čistě autonomní údržba bývá prováděna pouze na nejstarších konvenčních obráběcích strojích. Dalším stupněm je preventivní údržba neboli pravidelné provádění údržbových zákroků oddělením údržby na základě časových intervalů stanovených výrobcem stroje. Nejvyšším stupněm používaným v rámci firmy je prediktivní údržba. Cílem je predikovat formou diagnostiky možné poruchy a včas na ně zareagovat. Tento přístup je však prováděn pouze u jedinečných strojů, které nemají zastoupení a jsou těžko opravitelné, protože by u nich došlo k velkým finančním ztrátám při poruše.

Ve firmě je uplatňována metoda TPM (total productive maintenance). Hlavním úkolem tohoto přístupu je zvýšení kvality výrobních strojů za co nejnižší náklady. Tedy jak již bylo zmíněno, přizpůsobit stupeň údržby každému typu stroje. Sledovanými ukazateli v TPM jsou například doba do opravy, náklady vzniklé prostojem stroje, náklady na opravu, doba do poruchy atd. Dalším důležitým rozhodnutím je i množství náhradních dílů na skladě. Skladové položky bývají zmraženým majetkem firmy a postupně mohou ztrácet hodnotu, ale pokud by se například jednalo o náhradní díl s dlouhou dobou dodání, může být skladování dílů výhodné pro snížení nákladů vzniklých poruchou stroje. Systémy údržby jsou blíže popsány v kapitole 3.2.5.

Kvalita nástrojů bývá nejprve ověřována obsluhou stroje, která provádí vizuální kontrolu a kontrolu opotřebení nástroje pomocí lupy. V případě pochybností posílá obsluha stroje nástroj na přípravné pracoviště, kde je nástroj detailně měřen a na základě vyhodnocení buď vyměněn nebo upraven. Komplexnější ověření kvality nástroje při samotném obrábění bývá prováděno až při ověřovacích sériích nebo při kontrole prvního kusu dávky, kde je však nutné důkladně prošetřit, zda může za odchýlení od specifikace opravdu nástroj.

5.5 Technologie

Technologie je označována jako řídicí proces. Slouží hlavně pro řízení, stabilizaci a zvyšování efektivnosti obrábění, **je však značně ovlivněna rozhodujícími schopnostmi a subjektivitou technologů**. Tyto procesy jsou poměrně náročné na měření a monitorování. Jednou z metod hodnocení technologie je formou KPI, tedy klíčových parametrů výkonnosti, které odrážejí kvalitu odvedené práce a výkonnost pracovníků technologie. Zajištění kvality odváděné práce z hlediska technologů jako lidí je popsáno v kapitole 5.3.

Správnost programů je kontrolována za využití simulačních softwarů, ty jsou schopny odhalit především kolize stroje a nástroje s polotovarem.

Vhodnost technologických postupů a návodů je dále ověřitelná až u obsluhy stroje nebo na kontrole prvního kusu, případně na ověřovací sérii a následném ekonomickém zhodnocení obrábění.

5.6 Měření

V rámci této části práce definujeme měření jako službu pro verifikaci obráběných dílů. Je prováděno převážně oddělením technické kontroly (OTK), ale i obsluhou stroje případně jiným pracovníkem, který má v popisu pracovní činnosti přidělenou odpovědnost za samokontrolu. Pouze zkušený a proškolený pracovník mohou provádět samokontrolu. Ta však bývá prováděna jen u jednoduchých dílů s velkými tolerančními poli při mezioperační kontrole, nikdy při finální kontrole. V případě pochybností o správnosti měření nebo vhodnosti použitého měřidla, je nutné opakování měření pracovníkem OTK.

Ve firmě je široká škála používaných měřicích prostředků, od posuvných měřidel až po sofistikované 3D měřicí zařízení s přesností na 3 μm za ideálních okolních podmínek. Veškeré vybavení podléhá pravidelné kalibraci či ověření prováděné přes oddělení metrologie, která kalibraci a ověření zajistí buď objednáním externě nebo kalibraci sama provede. Kalibrační lhůta je stanovena ve směrnicih firmy a je zvolena podle vlastních potřeb, což je v souladu se zákonem č.505/1990 Sb. – Zákon o metrologii.

Při finální kontrole jsou měřeny součásti dle výkresu, ten dále stanovuje, kolik kusů z výrobní série musí být měřeno a jaké rozměry musí být měřeny. Pokud není definováno množství kontrolovaných kusů, pak se vychází z tabulky, vytvořené na základě statistických výpočtů. U některých obrobků bývá vytvořen kontrolní list, do něhož kontrolor zapisuje všechny požadované naměřené hodnoty. V ostatních případech je pouze operace odvedena v průvodní dokumentaci k danému pracovnímu příkazu, kde však nejsou zaznamenány naměřené hodnoty. Každý kontrolor má přidělené vlastní razítko, které spolu s podpisem, datem a počtem shodných a neshodných kusů uvede pro odvedení operace.

Postup měření a použitá měřidla bývají předepsány technologem pro standardní dílce. Pro jednoduché obrobky je způsob měření a vyhodnocování řešen operativně kontrolorem, stejně tak jako volba použitého měřidla, počítá se s dostatečnými znalostmi a dovednostmi kontrolorů, s důkladným zaškolením a s dohledem vedoucích pracovníků. U dalších dílců, může být předepsáno speciální měřící vybavení jako například 3D měření.

V rámci procesu obrábění se využívají čtyři druhy kontroly, mezioperační, samokontrola, kontrola obsluhou stroje a finální kontrola. Mezioperační kontrola bývá prováděna převážně kontrolou prvního kusu, pokud není průvodkou předepsáno jinak. Obsluha stroje musí zajistit kontrolu prvního kusu série, což slouží pro ověření, zda je definovaný proces obrábění způsobilý k tvorbě obrobků splňujících specifikaci. Kontrola prvního kusu může ušetřit velké množství nákladů, je schopna odhalit nevhodně nastavený proces na počátku výroby, což je mnohem ekonomicky výhodnější, než kdyby byla zjištěna celá neshodná výrobní dávka při finální kontrole. Samokontrola, jak již bylo definováno výše, je téměř shodná jako mezioperační, pouze ji neprovádí pracovník OTK, ale obsluha stroje s právem samokontroly. Kontrola obsluhou stroje je pouze informativní, nelze ji brát jako způsob verifikace, ale pouze jako informaci pro obsluhu stroje při procesu obrábění, která může na základě naměřených hodnot přijímat nezbytná opatření. Finální kontrola je největší stupeň kontroly obrobku. Měření je prováděno s maximální pečlivostí z hlediska vyhodnocení a způsobu měření. Způsob vyhodnocení však není přesně stanovený, bývá stanoven kontrolorem na základě přesnosti dílce a zkušeností.

Za zmínku také stojí další způsoby kontroly dílů pomocí nedestruktivního zkoušení. Kapilární a magnetická zkouška pro odhalování povrchových vad a rentgenová zkoušku pro odhalení podpovrchových vad. Pro obráběné dílce se tento typ zkoušení využívá velmi výjimečně, proto není v rámci práce dále popisován.

5.7 Systém řízení

Systém managementu řídí všechny výše uvedené entity a jeho primárním cílem je efektivní tvorba a řízení všech procesů pro dosažení zisků firmy, tedy vyrábět co možná nejvíce produktů za nejnížší možné náklady. Byl vytvořen na základě všech pro firmu závazných požadavků (vlivu okolí). Především se jedná o normu AS9100D, ale i o jiné zákonné požadavky, například Zákon o metrologii a letecké standardy. Na základě této legislativy byly vytvořeny organizační směrnice firmy, které jsou závazné pro všechny pracovníky. Plnění směrnic společnosti je ověřováno nadřízenými pracovníky nebo nezávisle v rámci dozorových a interních auditů. Vždy musí být zajištěna shoda mezi závaznou legislativou, směrnicemi firmy a prováděnou praxí, viz Obr. 37.

Ve firmě jsou využívány řídicí systémy (software) sloužící převážně pro zjednodušení řízení procesů. Velkou výhodou je přenos informací přes řídicí software. Ten zajišťuje aktuálnost, důvěryhodnost a dostupnost informací na požadovaném místě. Další důležitou funkcí je i plánování výroby na základě nákupu materiálu, dostupností lidí, termínů dodání a dalších vstupních informací. Řídicí software je nutno vhodně spravovat a zajistit u něj dostatečnou úroveň kybernetické bezpečnosti.



Obr. 37) Schéma systému řízení [vlastní zdroj]

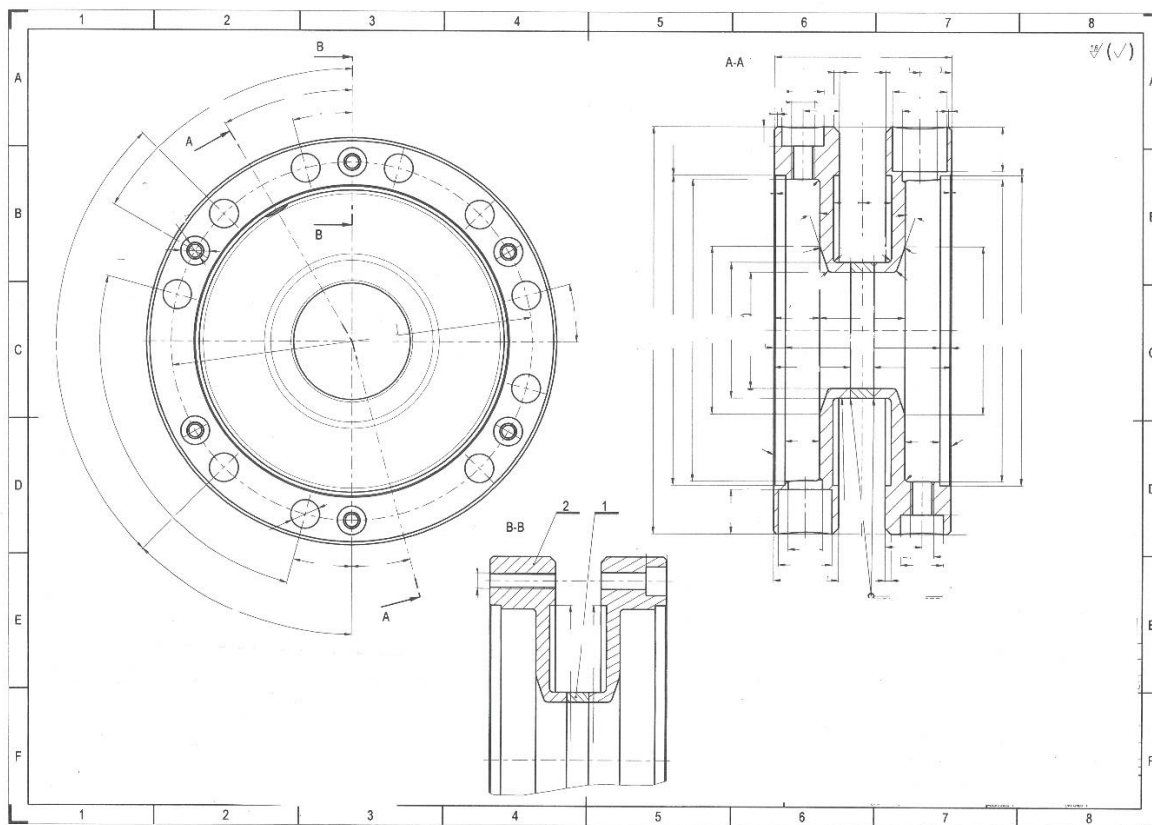
5.8 Zajištění kvality obráběné součásti

Pro kompletní pochopení procesu obrábění a zajištění kvality dílců ve firmě bylo nutné důkladně zmapovat a pochopit proces obrábění. Problémem definování a řízení procesu obrábění je velká různorodost vyráběných součástí, vysoké nároky na kvalitu a složitost obráběných dílců. Vybraná součást slouží pouze pro demonstraci používaných metod pro zajištění kvality obrábění, vycházejících z kapitoly 4 a popsanych v kapitolách 5.1 až 5.7. Metody jsou popsány na obecné úrovni a jsou aplikovatelné na všechny typy interně obráběných součástí. Výjimkou mohou být obrobky se speciálními legislativními požadavky nebo požadavky zákazníků na kontrolu, rozdíl je však hlavně ve způsobu verifikace a validace.

5.8.1 Popis zvolené součásti

Pro popis způsobu zajištění kvality obráběné části a následnou demonstraci návrhu nového řešení bylo zvoleno těleso statoru, viz Obr. 38. Pro zachování firemního know-how bylo přípustné uvést pouze výkres bez hodnot kót. Jedná se o sestavu, která je využita jako součást kryogenního zařízení. To může být využíváno především pro zkapalňování inertních plynů v mnoha odvětvích, i v letectví. Z procesního hlediska je k součásti přistupováno stejně jako

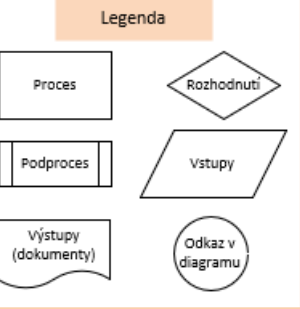
například k částem proudového motoru, systém zajištění kvality pro obrábění je u všech obráběných částí stejný. Důležitými znaky kvality jsou rozměrová přesnost, vysoká spolehlivost, korozivzdornost, odolnost vůči změnám teplot a těsnost. Tato součást názorně demonstuje funkčnost metody použité v rámci návrhu nového řešení, protože je možné zvolit více postupů obrábění. Velikost technologické dávky jsou tři kusy.

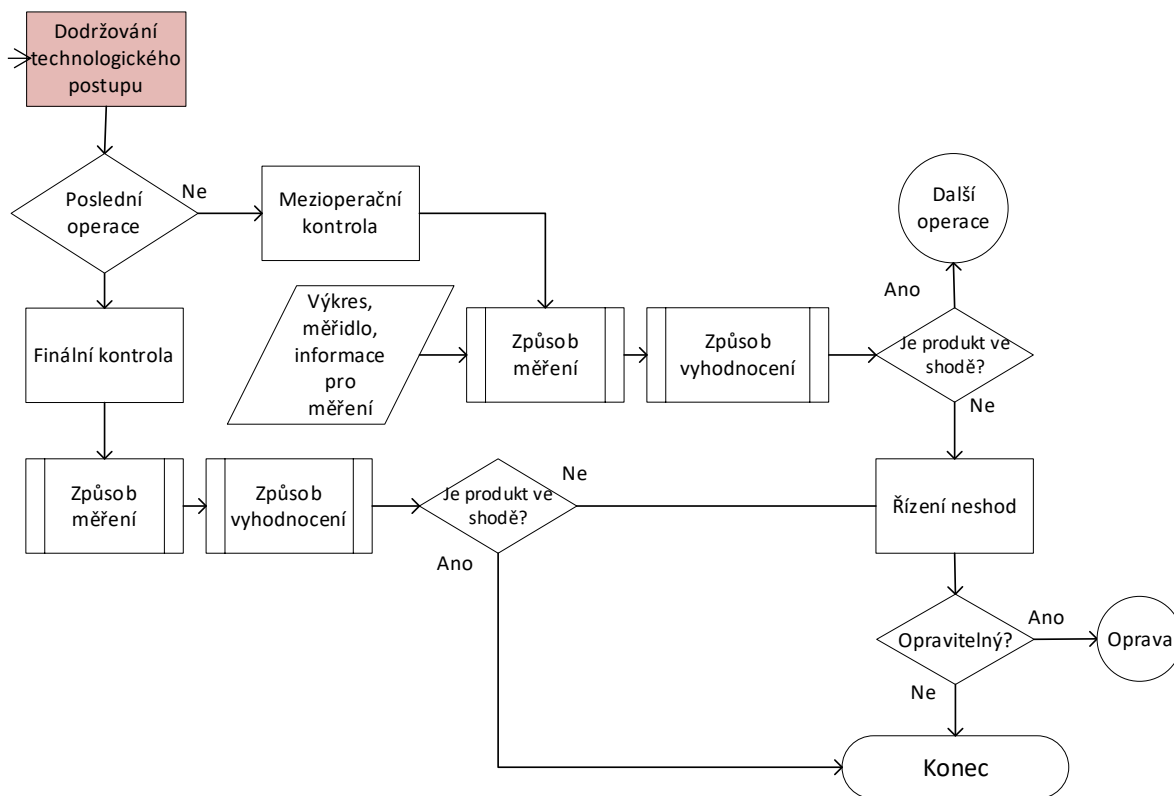


Obr. 38) Výkres tělesa statoru [vlastní zdroj]

5.8.2 Mapování procesu obrábění

Zajištění kvality zvolené součásti vyrobené třískovým obráběním je blíže popsáno pomocí Obr. 39, který mapuje celý proces obrábění. Proces je popsán obecně, aby mohl být aplikovatelný na téměř všechny součásti vyráběné třískovým obráběním ve firmě.





Obr. 39) Mapa procesu obrábění [vlastní zdroj]

5.8.3 Způsoby zajištění kvality součásti

Při popisu způsobu zajištění kvality součásti je vycházeno z kapitoly 5.8.2.

Sestava tělesa statoru je složena ze tří částí. Z nemagnetického můstku, ke kterému je z každé strany přivařen stejný mezikruh, viz Obr. 38. Mezikruhy jsou vyrobeny z nerezové oceli, materiál je vhodný pro svou korozivzdornost a odolnost vůči vysokým tlakům a teplotám. Mezikruhy jsou vyrobeny z tyčového polotovaru o průměru v rozmezí 126 až 138 mm a délce 25 mm. Nemagnetický můstek je vyráběn také z nerezové oceli a tyčového polotovaru o průměru 40 mm a délce 15 mm.

Sestava je v technologickém postupu rozdělena do třinácti operací. První operací je vydání dílů ze skladu. Další operací je svařování částí. Dále je na vstupní kontrole provedena kontrola. Ve čtvrté operaci je prováděno soustružení vnitřního otvoru. Pátou operací je kontrola těsnosti. Při šesté a sedmé operaci je prováděno soustružení všech zbylých částí, kromě děr a zahloubení. V další operaci je součást značena laserem pro zachování identifikace. Při deváté a desáté operaci jsou frézovány díry, zahloubení a je provedeno řezání závitů. Jedenáctou operací jsou zámečnické práce, konkrétně sražení zbylých hran po vrtání a řezání některých závitů. Při dvanácté operaci je opět kontrolována těsnost a při poslední operaci je prováděna kompletní rozměrová kontrola.

Svařování probíhá elektronovým paprskem a je realizováno externí kooperací. Při svařování je nutno dodržet hloubku svaru a ověřit ji na vzorku, který je následně zaslán se součástí zpět do firmy. Dalším důležitým znakem kvality je i těsnost svaru, která je v dalších operacích interně kontrolována. Na vstupní kontrole je pak prováděna vizuální kontrola svaru a kontrola vzorku.

Čtvrtá operace je prováděna na klasickém konvenčním soustruhu. Soustružnické operace jsou prováděny na CNC revolverovém soustruhu Mazak a frézovací operace jsou prováděny na CNC pětiosé frézce Hermle.

Při obrábění jsou využívány pouze vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů, u kterých je nutné sledovat opotřebení.

Upnutí polotovaru je při soustružnických operacích řešeno klasicky do sklíčidla a u frézování je upnutí realizováno za pomoci speciálních upravených čelistí.

Pro všechny obráběcí operace je volena HFM strategie obrábění, tedy vysokoposuvová.

Součást nemá blíže definovanou rozměrovou kontrolu, způsob měření a způsob vyhodnocování. Při verifikaci je tedy spoléháno na dostatečné znalosti a zkušenosti kontrolora. Nejdůležitějším znakem kvality součásti je těsnost, proto je zkouška těsnosti striktně definována na základě provedených výpočtů oddělením konstrukce, pro tuto kontrolu je nutné vytvořit protokol o zkoušce

6 NAVRHOVANÉ NOVÉ ŘEŠENÍ PRO ZVOLENOU SOUČÁST

Na základě brainstormingu prováděném technologií firmy a autorem práce bylo na vývojovém diagramu červeně vyznačeno pět kritických procesů, u kterých jsou očekávány na základě zkušeností největší rizika negativního ovlivnění kvality obrábění.

Tyto procesy jsou dále blíže zmapovány metodou **SIPOC**, kde jsou popsány činnosti, prováděné v rámci popisovaného procesu. Hlavní výhodou této analýzy je lepší pochopení procesů, v mnoha případech i pro lidi, kteří dané činnosti vykonávají. Bližší teoretický základ k metodě je uveden v kapitole 3.1.4.

Dalším krokem návrhu nového řešení je provedení procesní **FMEA** analýzy pro lepší definování a kvantifikaci rizik ovlivňujících kvalitu obrábění, viz kapitola 3.1.4. V případech, kdy alespoň jedna z činností v rámci procesu dosahuje hodnoty **RPN 20**, je nutné navrhnout nové řešení pro snížení míry rizika. Hodnotící parametry jsou uvedeny v Tab. 5. Analýza byla prováděna technologem, manažerem technologie a autorem práce. U každého zavedeného zlepšení je dále sledována efektivnost zlepšení, která je následně hodnocena v rámci ekonomického zhodnocení.

Tab 5) Kritéria pro odhad hodnocení parametrů ve FMEA analýze [vlastní zdroj]

Závažnost	5	Činnost má obrovský vliv na kvalitu obrábění, téměř vždy dojde ke vzniku jednoho nebo více neshodných kusů, nutnost okamžité nápravné akce, neschopnost obrábění, způsobuje velmi nestabilní proces.
	4	Činnost má velký vliv na kvalitu obrábění, může dojít ke vzniku neshodného kusu, problém by měl být co nejdříve řešen, způsobuje nestabilní proces, nutnost zavedení změny.
	3	Činnost má vliv na kvalitu obrábění, ale nemusí vést ke vzniku neshodného kusu, nutnost provést drobná opatření, dočasná neschopnost obrábění.
	2	Činnost má malý vliv na kvalitu obrábění, pouze v některých případech vede ke vzniku neshodného kusu.
	1	Činnost má zanedbatelný vliv na kvalitu obrábění, většinou může vést pouze k drobným, snadno opravitelným odchylkám.
Pravděpodobnost	5	Pravděpodobnost, že dojde k problému při jednom procesu je přibližně větší než 15 %.
	4	Pravděpodobnost, že dojde k problému při jednom procesu je přibližně 5–15 %.
	3	Pravděpodobnost, že dojde k problému při jednom procesu je přibližně 2–5 %.
	2	Pravděpodobnost, že dojde k problému při jednom procesu je přibližně 1–2 %.
	1	Pravděpodobnost, že dojde k problému při jednom procesu je přibližně 0–1 %.
Detekovatelnost	5	Pravděpodobnost, že bude problém odhalen před obráběním je přibližně 0–1 %
	4	Pravděpodobnost, že bude problém odhalen před obráběním je přibližně 1–5 %
	3	Pravděpodobnost, že bude problém odhalen před obráběním je přibližně 5–45 %
	2	Pravděpodobnost, že bude problém odhalen před obráběním je přibližně 45–80 %
	1	Pravděpodobnost, že bude problém odhalen před obráběním je přibližně 80–100 %

Na základě poznatků získaných z mapování procesu a **FMEA** analýzy je v případě překročení kritického **RPN** sestavena multikriteriální rozhodovací metoda **Pattern** (pokud je pro proces přínosná), která výrazně snižuje pravděpodobnost výskytu rizika. Jednotlivé činnosti definované v **SIPOC** analýze spolu v rámci jednoho procesu úzce souvisí, proto je nutné k problému přistupovat systematicky a řešit proces jako celek. Metoda **Pattern** byla vybrána především pro svou jednoduchost a možnost změn kritérií, protože je očekáváno časté provádění úprav podle požadavků vedení. Cílem této metody je standardizovat volbu parametrů a prostředků pro obrábění. Největšími výhodami jsou snížení množství lidských chyb vzniklých z nepozornosti a redukování míry subjektivity, další výhody jsou blíže popsány v kapitole 7. Nová metoda je použitelná pro všechny typy obrábění, v této práci však nejsou zahrnuty varianty pro broušení, které mohou být jednoduše přidány v budoucnu.

Metoda Pattern

Pattern je rozhodovací metoda, která je schopna mezi sebou porovnat více variant a na základě vah a kritérií stanovit pořadí vhodnosti jednotlivých možností.[30]

Obrábění by mělo být nejprve rozděleno do jednotlivých operací, na každou zvlášť je následně aplikována metoda **Pattern**. Metodu není nutno aplikovat na jednoduché výrobní operace. Po zhodnocení a zvážení výstupů z metody může pak technolog spojovat dohromady operace při obrábění, pokud je to vhodné. Cílem je zvolit nejrychlejší variantu s minimální pravděpodobností odchýlení od specifikací realizovatelnou za nejnižší náklady.

Postup pro tvorbu je následující:[30]

1. Definice kritérií, podle kterých budou jednotlivé možnosti hodnoceny, což je provedeno prostřednictvím **SIPOC** analýzy, každá činnost v rámci daného procesu tvoří jedno kritérium pro hodnocení.
2. Stanovení vah ke každému kritériu. Výsledkem **FMEA** analýzy je rizikové číslo **RPN** pro každou činnost. Ze všech **RPN** v rámci jednoho procesu jsou stanoveny podíly, tedy jakou procentuální část celého procesu tvoří dané riziko. Každý vypočítaný podíl je váha pro příslušné kritérium. Výpočet vychází ze vzorce (1).

$$P_i = \frac{RPN_i}{\sum_{i=1}^n RPN_i} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

Kde je

P_i hodnota i-tého podílu $\{i \in N; i = (1; n)\}$,

n počet činností vycházejících ze **SIPOC** v rámci jednoho procesu,

RPN_i hodnota i-tého **RPN** vycházející ze **FMEA**, $\{X \in N; X = (1; n)\}$.

3. Stanovení všech použitelných variant (např. typy strojů) na základě informací dostupných ve firmě. Značení variant je specifické pro každý proces.
4. Stanovení klasifikací pro přiřazení známky Z_{ij} ke každému kritériu a variantě. Znamky jsou v rozmezí 1 až 5. Kde 1 reprezentuje nejméně vhodnou možnost a 5 znázorňuje nejvhodnější. Pro správné klasifikování je důležité mít povědomí o cílech firmy a znát proces a možné varianty v procesu. Pro snížení míry subjektivity může být přiřazování známek prováděno více lidmi.
5. Výpočet koeficientů změny K_{ij} pro všechny koeficienty a možnosti podle vzorce (2). Změna je počítána vůči základní známce $Z_{i \min}$. Proto aby byl koeficient změny vždy větší nebo roven nule.

$$K_{ij} = \frac{Z_{ij}}{Z_{i \min}} \quad (2)$$

Kde je

K_{ij} hodnota koeficientu i-tého kritéria pro j-tou variantu,
 Z_{ij} hodnota známky i-tého kritéria pro j-tou variantu,
 $Z_{i \min}$ nejnižší hodnota známky i-tého kritéria všech variant.

6. Výpočet dílčího hodnocení DH_{ij} pro všechny koeficienty změny. Jedná se o součin váhy a koeficientu změny podle vztahu (3).

$$DH_{ij} = K_{ij} \cdot V_i \quad (3)$$

Kde je

DH_{ij} hodnota dílčího hodnocení i-tého kritéria pro j-tou variantu,
 K_{ij} hodnota koeficientu i-tého kritéria pro j-tou variantu,
 V_i hodnota váhy i-tého kritéria.

7. Výpočet funkce F_i vyjadřující výsledné hodnocení varianty na základě stanovených kritérií podle vztahu (4).

$$F_i = \sum_{i=1}^n DH_{ij} \quad (4)$$

Kde je

F_i hodnotící funkce,
 DH_{ij} hodnota dílčího hodnocení i-tého kritéria pro j-tou variantu,
 n počet hodnotících kritérií.

8. Porovnání jednotlivých variant mezi sebou. Varianta s největší hodnotou F_i je pro danou aplikaci nejvhodnější, zatímco varianta s nejnižší hodnotou F_i je nejméně vhodná.
9. Pokud je to z hlediska efektivity přínosné, je možné spojovat operace. Při skládání více operací do jedné je možné použít i jinou variantu než možnost s maximálním F_i . Je vhodné, aby rozdíl mezi touto variantou a alternativou s největší hodnotou F_i byl menší nebo roven **0,2**. Tato hodnota je spíše orientační, při dostatečném odůvodnění se může technolog odchýlit.

6.1 Volba stroje

Volba stroje je proces prováděný oddělením technologie. Na Obr. 39 je znázorněno místo volby stroje v rámci celého procesu obrábění, které je nutné znát, protože je důležité přizpůsobit volbu stroje všem předchozím a následujícím procesům v rámci celého obrábění. Do volby stroje vstupuje výrobní výkres vytvořený oddělením konstrukce, dále informace od dodavatelů a výrobců obráběcích strojů a nástrojů, informace z údržby, a hlavně i informace od plánování výroby. Plánování výroby distribuuje pro technologii informace ohledně počtu obráběných kusů, informace o dostupných strojích a čas na splnění zakázky. Hlavním cílem procesu je zvolit stroj, který je schopen opakovaně obrábět součásti ve shodě se specifikacemi za minimální náklady a nejkratší čas.

Pro volbu stroje je velmi důležitý proces rozčlenění na jednotlivé operace, jelikož se musí vzájemně přizpůsobovat. Vzhledem ke složitosti tvaru dílců se často jako nejvýhodnější jeví použít v rámci jednoho obrobku více strojů. Při návrhu nového řešení volby stroje metodou **Pattern** jsou hodnoceny operace zvlášť. Spojování operací dohromady je prací technologa pro nalezení nejefektivnějšího způsobu výroby celé součásti, je nutné vzít v úvahu i umístění strojů ve výrobě.

6.1.1 Mapování procesu volby stroje

Pro dosažení kýženého cíle musí brát technolog v úvahu faktory vycházející ze systémového rozboru a mapy procesu obrábění. Mapa procesu volby stroje je popsána Tab. 6.

Nejprve je při volbě stroje nutné zvážit **tvar a velikost dílce** nebo polotovaru. Polotovar se musí vejít do stroje s prostorem pro pohyb nástroje a případnou manipulaci obrobku. Velikost polotovaru udává i velikost obráběcího stroje, na druhou stranu by bylo nákladově nevýhodné obrábět malou součást na příliš velkém stroji, jehož nákupní cena a náklady na údržby jsou mnohem větší.

Tvar dílce je klíčový pro určení metody obrábění, zda půjdeme cestou frézování nebo soustružení. Pro jednoduché rotační součásti se volí soustružení, pro ostatní tvary spíše frézování, případně kombinace. Složitost tvaru také určuje, jak sofistikovaný stroj musíme používat z hlediska počtu natáčecích os stroje. Pro jednodušší tvary je volena pouze tříosa frézka, zatímco pro některé složitější tvary musíme zvolit pěti-osou. Využívání stroje s větším počtem řízených os často vede k významným časovým úsporám. Bližší informace ohledně CNC obráběcích strojů jsou popsány v kapitole 3.2.3, které by měl každý technolog znát pro správné definování procesu obrábění.

Dalším důležitým faktorem je přesnost stroje, což je velmi složitý parametr stroje a nelze ho přesně určit. Rozdělujeme několik typů přesnosti obráběcích strojů. Pro technology je však nejdůležitější výrobní přesnost neboli přesnost, se kterou jsme schopni vyrábět za běžných podmínek, viz kapitola 3.2.4.

Aktuální stav stroje je další důležitou součástí při volbě stroje. U starších strojů očekáváme větší odchýlení současného stavu od původního než u novějších strojů, ale mohou nastat i výjimky. Pro správné zhodnocení tohoto faktoru je nutné dostávat průběžně informace od oddělení údržby, jejichž činnosti jsou popsány v kapitole 5.4.

Při definování procesu obrábění nelze zapomenout na samotný obráběný polotovar. Obráběný materiál je důležitý z hlediska výkonu a přesnosti stroje, každý materiál má různé vlastnosti, a může značně ovlivnit přesnost při obrábění. Důležité jsou především následující vlastnosti:

- tvrdost a pevnost materiálu,
- obrobitelnost (křehkost a houževnatost),
- teplotní dilatace při přesném obrábění velkých dílců.

Zvážení kompatibility s dostupnými nástroji může přinést významnou úsporu při obrábění a zkrátit tak i čas a zvýšit kvalitu obrábění.

Posledním faktorem je množství vyráběných dílců na zakázku (sérii). Pro kusové zakázky je nejvhodnější klasický konvenční obráběcí stroj. Pro větší množství dílů je však vhodnější vyšší stupeň automatizace a striktně definovaný proces obrábění pro zamezení chyb, viz Obr. 21.

Tab 6) SIPOC k volbě stroje [vlastní zdroj]

SIPOC k procesu:		Volba stroje		
Dodavatel S (supplier)	Vstup I (input)	Proces P (process)	Výstup O (output)	Zákazník C (customer)
Oddělení konstrukce	Výrobní výkres, informace o dostupných strojích a nástrojích technologové plánování výroby	Zhodnocení tvaru a velikosti dílce		
		Posouzení přesnosti dostupných strojů vůči tolerancím obrobku		
		Zvážení aktuálního stavu stroje		
		Zvážení vlastností materiálu (obrobitelnost)		
		Zvážení kompatibility s dostupnými nástroji		
		Zvážení množství vyráběných dílců v rámci zakázky		
		Zvážení velikosti nákladů	Zvolený obráběcí stroj ve výrobním postupu	Výroba

6.1.2 FMEA analýza k volbě stroje

Podle FMEA analýzy jedna činnost překračuje kritické RPN, viz Tab. 7, takže je nutné aplikovat metodu **Pattern**. Problematika přesnosti stroje je blíže popsána v kapitole 3.2.4. Za zmínku také stojí zhodnocení tvaru a velikosti dílce, zvážení množství vyráběných dílců v rámci zakázky a zvážení velikosti nákladů na obrábění, které budou také značně ovlivňovat volbu stroje podle metody **Pattern**, jejíž tvorba je popsána v kapitole 6.

Tab 7) FMEA analýza procesy volby stroje [vlastní zdroj]

FMEA ANALÝZA PROCESU								
Proces:		Volba obráběcího stroje	Vstupy:	Výrobní výkres, informace o dostupných strojích a nástrojích, technologové, plánování výroby				
Předchozí proces:		Určení způsobu měření	Výstupy:	Zvolený obráběcí stroj ve výrobním postupu				
Následující proces:		Volba nástroje	Kritické RPN =	20				
Činnost	Potenciální problém	Příčina	Následek	Způsob verifikace	Závažnost	Pravděpodobnost	Detekovatelnost	RPN
Zhodnocení tvaru a velikosti dílce	Stroj není schopen kontinuálně vyrábět dílce se specifikovanými rozměry a složitostí tvaru	Neznalost (nedostupnost informací) přibližujících charakteristiky stroje	Snížení kvality obrábění, nelze obrábět	Simulace, ověřovací série, kontrola prvního kusu	5	3	1	15
Posouzení přesnosti dostupných strojů vůči tolerancím obrobku	Stroj nemá dostatečnou přesnost na výrobu požadavků z výkresu (nebo naopak moc velkou)	Neznalost (nedostupnost informací) přibližujících přesnosti stroje, velká vytiženost	Snížení kvality obrábění	Simulace, ověřovací série, kontrola prvního kusu	4	3	2	24
Zvážení aktuálního stavu stroje	Aktuální stav stroje neodpovídá stavu stroje při převěření	Zastarávání stroje, zanedbaná údržba, vytiženost	Snížení kvality obrábění	Údržba a kontrola obráběcích strojů	3	1	2	6
Zvážení vlastností materiálu (obrobitelnost)	Nevhodně zvolený stroj pro daný typ materiálu	Neznalost, nedostatečné informace u materiálu	Snížení kvality obrábění	Kontrola vlastností materiálu	4	2	1	8
Zvážení kompatibility s dostupnými nástroji	Požadovaný nástroj nelze použít na daný typ stroje	Rozdílné způsoby uložení nástrojů a vřeten	Nelze obrábět	Příprava pracoviště k obrábění	3	1	1	3
Zvážení množství vyráběných dílců v rámci zakázky	Pomalá produkce, vyšší variabilita	Časově náročný proces obrábění	Snížení kvality obrábění, ušlý zisk	Finální kontrola	4	2	2	16
Zvážení velikosti nákladů	Vysoké náklady na výrobu	Nedostatečné povědomí o ekonomických cílech	Zbytečné plýtvání	Ekonomické zhodnocení	2	3	3	18

6.1.3 Metoda Pattern k volbě stroje

Na základě postupu v kapitole 6 byla použita metoda **Pattern** pro volbu stroje. Možné varianty strojů jsou popsány v Tab. 9.

Známky jsou přiřazovány podle otázek a hodnotících kritérií v Tab. 8, u hodnocení jsou definovány pouze krajní hodnoty. Při přiřazování známek musí mít zpracovatel dostatečné znalosti o obráběcích strojích uvedených v kapitole 3.2.3.

Tab 8) Kritéria a hodnocení volby stroje metodou Pattern [vlastní zdroj]

Označení	Zaměření kritéria	Otázka	Hodnocení
Krit. 1	Přesnost stroje	Jak je vysoká pracovní přesnost stroje vzhledem k vyráběnému dílci?	1 = toleranční pole je stejné nebo menší jako přesnost stroje 5 = toleranční pole je minimálně 10x větší než přesnost stroje
Krit. 2	Tvar a velikost dílce	Jak je stroj vhodný pro výrobu požadovaného tvaru a velikosti dílce?	1 = nevhodný 5 = nejvhodnější
Krit. 3	Opotřebení stroje	Jak moc se liší reálný stav stroje od stavu stroje při převjímcce (1= starý stroj, vysoké opotřebení stroje, 5= nový stroj, velmi malé opotřebení)	1 = stroj s velmi vysokým opotřebením 5 = nový stroj, nízké opotřebení
Krit. 4	Počet kusů na zakázku	Vhodnost stroje z hlediska času a kvality výroby vzhledem k počtu vyrobených dílců	1 = nevhodný 5 = nejvhodnější
Krit. 5	Vlastnosti materiálu	Jak je stroj vhodný pro daný typ materiálu (obrobitelnost, pevnost, tvrdost, ...)	1 = nevhodný 5 = nejvhodnější
Krit. 6	Komptabilita s nástroji	Má stroj širokou škálu použitelných nástrojů?	1 = málo použitelných nástrojů 5 = mnoho použitelných nástrojů
Krit. 7	Velikost nákladů	Jak vysoké jsou náklady na výrobu při používání typu stroje?	1 = velmi vysoké náklady 5 = nízké náklady

Tab 9) Typy používaných strojů ve firmě [vlastní zdroj]

Označení	Typ stroje
S1	CNC revolverové soustruhy Mazak
S2	CNC revolverové soustruhy s protivřetenem Mazak
S3	Multifunkční obráběcí centrum Mazak
S4	CNC tříosé frézky Hermle
S5	CNC pětiosé frézky Hermle
S6	Konvenční soustruh
S7	Konvenční frézka

Metoda **Pattern** byla provedena zvlášť ke čtyřem obráběcím operacím. Popis součásti a rozdělení na jednotlivé operace je blíže popsáno v kapitole 5.8.3. Operace 60 a 70 byly metodou vyhodnoceny pouze jednou, jelikož se jedná o téměř totožné operace. Z Tab. 10 je patrné, že nejvhodnější variantou je CNC revolverový soustruh Mazak. Dle bodu 9 v kapitole 6 je však možné použít první tři varianty.

Tab 10) Metoda Pattern pro proces volby stroje u operace 60 a 70 [vlastní zdroj]

Volba stroje, operace 60 a 70																
Kritérium	Váha	Varianty stroje														
		S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		
		Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH	
n	V	K		K		K		K		K		K		K		
%																
Krit. 1	0,17	5,00	0,42	5,00	0,42	4,00	0,33	4,00	0,33	5,00	0,42	2,00	0,17	2,00	0,17	
	16,67	2,50		2,50		2,00		2,00		2,50		1,00		1,00		
Krit. 2	0,27	4,00	1,07	4,00	1,07	4,00	1,07	1,00	0,27	2,00	0,53	3,00	0,80	1,00	0,27	
	26,67	4,00		4,00		4,00		1,00		2,00		3,00		1,00		
Krit. 3	0,07	3,00	0,10	3,00	0,10	4,00	0,13	3,00	0,10	4,00	0,13	2,00	0,07	2,00	0,07	
	6,67	1,50		1,50		2,00		1,50		2,00		1,00		1,00		
Krit. 4	0,09	4,00	0,18	5,00	0,22	4,00	0,18	3,00	0,13	4,00	0,18	2,00	0,09	2,00	0,09	
	8,89	2,00		2,50		2,00		1,50		2,00		1,00		1,00		
Krit. 5	0,03	3,00	0,05	3,00	0,05	3,00	0,05	3,00	0,05	3,00	0,05	2,00	0,03	2,00	0,03	
	3,33	1,50		1,50		1,50		1,50		1,50		1,50		1,00		1,00
Krit. 6	0,18	2,00	0,18	2,00	0,18	3,00	0,27	3,00	0,27	3,00	0,27	2,00	0,18	2,00	0,18	
	17,78	1,00		1,00		1,50		1,50		1,50		1,00		1,00		
Krit. 7	0,20	4,00	0,40	3,00	0,30	3,00	0,30	3,00	0,30	2,00	0,20	5,00	0,50	5,00	0,50	
	20,00	2,00		1,50		1,50		1,50		1,00		2,50		2,50		
Celkem	100,00	F ₁	2,39	F ₂	2,33	F ₃	2,33	F ₄	1,45	F ₅	1,78	F ₆	1,83	F ₇	1,30	

Hodnocení metodou Pattern pro operaci 90 a 100 je opět jednotné a je provedeno v Tab. 11 Pro operaci 90 a 100 je nejvhodnější variantou multifunkční obráběcí centrum Mazak, což je jednou z použitelných variant i u operací 60 a 70.

Tab 11) Metoda Pattern pro proces volby stroje u operace 90 a 100 [vlastní zdroj]

Volba stroje, operace 90 a 100																
Kritérium	Váha	Varianty stroje														
		S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		
		Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH	
n	V	K		K		K		K		K		K		K		
Krit. 1	0,17	4,00	0,33	4,00	0,33	4,00	0,33	4,00	0,33	5,00	0,42	2,00	0,17	2,00	0,17	
	16,67	2,00		2,00		2,00		2,50		1,00		1,00				
Krit. 2	0,27	1,00	0,27	1,00	0,27	4,00	1,07	4,00	1,07	4,00	1,07	1,00	0,27	3,00	0,80	
	26,67	1,00		1,00		4,00		4,00		1,00		3,00				
Krit. 3	0,07	3,00	0,10	3,00	0,10	4,00	0,13	3,00	0,10	4,00	0,13	2,00	0,07	2,00	0,07	
	6,67	1,50		1,50		2,00		1,50		2,00		1,00		1,00		
Krit. 4	0,09	4,00	0,18	5,00	0,22	5,00	0,22	3,00	0,13	4,00	0,18	2,00	0,09	2,00	0,09	
	8,89	2,00		2,50		2,50		1,50		2,00		1,00		1,00		
Krit. 5	0,03	3,00	0,05	3,00	0,05	3,00	0,05	3,00	0,05	3,00	0,05	2,00	0,03	2,00	0,03	
	3,33	1,50		1,50		1,50		1,50		1,50		1,00		1,00		
Krit. 6	0,18	2,00	0,18	2,00	0,18	3,00	0,27	3,00	0,27	3,00	0,27	2,00	0,18	2,00	0,18	
	17,78	1,00		1,00		1,50		1,50		1,50		1,00		1,00		
Krit. 7	0,20	4,00	0,40	3,00	0,30	3,00	0,30	3,00	0,30	2,00	0,20	5,00	0,50	5,00	0,50	
	20,00	2,00		1,50		1,50		1,50		1,00		2,50		2,50		
Celkem	100,00	F ₁	1,51	F ₂	1,45	F ₃	2,37	F ₄	2,25	F ₅	2,31	F ₆	1,30	F ₇	1,83	

Po aplikování metody k jednotlivým operacím se jeví jako nejvhodnější využití multifunkčního obráběcího centra Mazak pro všechny čtyři operace. Velkou výhodou je úspora na přípravných časech. Technicko-ekonomické zhodnocení navrhnutého řešení je dále popsáno v kapitole 7.

6.2 Definování způsobu upnutí polotovaru

Definování způsobu upnutí polotovaru je opět náplní práce oddělení technologie. Důležitými vstupy do tohoto procesu jsou výrobní výkres, informace o zvoleném stroji a nástroji a informace o dostupných prostředcích pro upínání.

6.2.1 Mapování procesu definování způsobu upnutí polotovaru

Zvážení požadované stability a tuhosti upnutí je klíčové pro zamezení vibrací při obrábění. Vibrace snižují kvalitu obrábění, především texturu povrchu.

Pro snížení nákladů a doby výroby je vhodné definovat upnutí tak, aby bylo bez větších problémů realizovatelné na zvoleném stroji a nemělo negativní vliv na kvalitu obrábění.

Klíčovým faktorem je i přesnost upnutí. Větší přesnost doprovázejí větší náklady, je proto nutné zvolit kompromis, při kterém jsme schopni dodržet předepsané specifikace.

Plochy a místa, za které je vhodné součást upnout udává složitost a tvar součásti. Pro komplikované tvary bývá často jediným možným způsobem pro realizaci upnutí tvorba speciálního přípravku.

Při přesném obrábění je nutné hledět i na deformace vzniklé při upnutí. Upínací síla a plocha upnutí značně ovlivňují velikost deformace. Větší upínací síla přispívá k větší tuhosti upnutí, ale následný vznik deformací je problém, v krajních případech může dojít i k poškození povrchu a tvaru obrobku.

Z ekonomického hlediska je důležitá volba nejefektivnějšího a nejproduktivnějšího upnutí, pro snížení nutnosti manipulace s obrobkem.

Tab 12) SIPOC ke způsobu upnutí polotovaru [vlastní zdroj]

SIPOC k procesu:		Definování způsobu upnutí polotovaru		
Dodavatel S (supplier)	Vstup I (input)	Proces P (process)	Výstup O (output)	Zákazník C (customer)
Technolog postupář	Výrobní výkres, informace o zvoleném stroji a nástroji, prostředky pro upínání	Určení požadované stability a tuhosti upnutí		
		Přizpůsobení upnutí zvolenému stroji		
		Zvážení přesnosti upnutí		
		Přizpůsobení upnutí složitosti a tvaru dílce		
		Zvážení vzniku deformací při upínání		
		Volba nejefektivnějšího a nejproduktivnějšího upnutí	Předepsaný způsob upnutí ve výrobním postupu a seřizovacím programu	Výroba

6.2.2 FMEA analýza k definování způsobu upnutí polotovaru

Proces obsahuje tři činnosti s rizikem větším, než je kritické RPN, takže je nutné vytvořit metodu **Pattern**. Jako nejzávažnější se jeví zvážení nákladů na realizaci upnutí.

Tab 13) FMEA analýza procesu volby způsobu upnutí polotovaru [vlastní zdroj]

FMEA ANALÝZA PROCESU								
Proces:		Způsob upnutí polotovaru	Vstupy:	Výrobní výkres, informace o zvoleném stroji a nástroji, prostředky pro upínání				
Předchozí proces:		Volba nástroje	Výstupy:	Předepsaný způsob upnutí ve vyr. postupu a				
Následující proces:		Určení řez. podm. a strategie obrábění	Kritické RPN =	20				
Činnost	Potenciální problém	Příčina	Následek	Způsob verifikace činnosti	Závažnost	Pravděpodobnost	Detekovatelnost	RPN
Dosažení dostatečné stability a tuhosti upnutí	Vznik vibrací a nepřesností	Nevhodně (nedostatečně) popsán způsob upnutí, nedostatečné místo pro upnutí součástí	Snížení kvality obrábění	Ověřovací série, kontrola prvního kusu	4	3	2	24
Přizpůsobení upnutí zvolenému stroji	Vznik vibrací a nepřesností	Složitost dílce a velké nároky na přesnost	Zvýšení času výroby, snížení přesnosti	Ověřovací série, kontrola prvního kusu	3	2	2	12
Dosažení požadované přesnosti upnutí	Nedodržení rozměrových tolerancí	Nepřesný způsob upnutí, nepřesné upínací prostředky	Snížení kvality obrábění	Ověřovací série, kontrola prvního kusu	5	2	2	20
Přizpůsobení upnutí složitosti a tvaru dílce	Nevhodné plochy pro upnutí, vznik vibrací	Složitost dílce	Zvýšení času výroby, snížení přesnosti	Ověřovací série	2	3	2	12
Zvážení vzniku zatížení při upínání	Deformace obrobku	Příliš vysoká síla upnutí, nevhodně zvolený způsob upínání	Snížení kvality obrábění	Ověřovací série, kontrola prvního kusu	4	2	2	16
Volba nejproduktivnějšího upnutí	Nutnost manipulace s obrobkem	Složitost dílce	Zvýšení času výroby, snížení přesnosti	Ověřovací série	3	2	3	18
Zvážení nákladů na realizaci upnutí (materiál, čas...)	Příliš vysoké náklady	Zbytečně vysoké nároky na přesnost upnutí	Snížení zisků	Ekonomické zhodnocení	3	3	3	27

6.2.3 Metoda Pattern k definování způsobu upnutí polotovaru

Možné způsoby upnutí jsou popsány v Tab. 15.

Kritéria jsou hodnocena podle Tab. 14. Při přiřazování známek musí mít zpracovatel dostatečné znalosti ohledně možných způsobů upínání popsaných v kapitole 3.2.6.

Tab 14) Kritéria a hodnocení definování způsobu upnutí polotovaru [vlastní zdroj]

Označení	Zaměření kritéria	Otázka	Hodnocení
Krit. 1	Stabilita a tuhost upnutí	Je způsob upnutí vhodný pro dosažení dostatečné stability a tuhosti upnutí?	1 = špatná stabilita a tuhost upnutí 5 = velmi dobrá stabilita a tuhost upnutí
Krit. 2	Upínací možnosti stroje	Nabízí stroj možnosti upnutí, případně jsou na stroji snadno proveditelné způsoby upnutí pro daný dílec?	1 = vhodné upínací možnosti stroje pro dílec 5 = nevhodné upínací možnosti stroje pro dílec
Krit. 3	Přesnost upnutí	Je daný typ upnutí vhodný z hlediska přesnosti upnutí?	1 = velmi nízká přesnost upnutí 5 = vysoká přesnost upnutí
Krit. 4	Složitost a tvar dílce	Je způsob upnutí vhodný pro dílec z hlediska jeho složitosti a tvaru?	1 = nevhodný z hlediska složitosti a tvaru dílce 5 = nejvhodnější z hlediska složitosti a tvaru dílce
Krit. 5	Deformace při upnutí	Jak velké deformace vzniknou při daném typu upnutí?	1 = vznik velkých deformací vzhledem k přesnostem dílce 5 = vznik zanedbatelných deformací
Krit. 6	Efektivnost upnutí	Je způsob upnutí vhodný z hlediska efektivity a produktivity?	1 = neefektivní způsob upnutí 5 = velmi efektivní způsob upnutí
Krit. 7	Velikost nákladů	Jak jsou velké náklady vzniklé při realizaci upnutí, případně tvorbě přípravků?	1 = velmi vysoké náklady 5 = nízké náklady

Tab 15) Způsoby upnutí polotovaru [vlastní zdroj]

Označení	Způsoby upnutí polotovaru
ZP1	Speciální upínací přípravky
ZP2	Upínání pomocí nulových bodů
ZP3	Upínání do svěráku (sklíčidla)
ZP4	Upnutí do kleštin

Stejně jako u volby stroje je metoda **Pattern** aplikována dohromady na operace 60,70 a 90, 100.

Pro operace 60 a 70 je dle metody nejvhodnější způsob upnutí do svěráku (sklíčidla), viz Tab. 16. Při těchto operacích je nejvhodnější obrábět součást soustružením, volíme tedy upnutí do sklíčidla.

Pro operace 90 a 100 vychází jako nejvhodnější upnutí do sklíčidla dle Tab. 17. Použitelná varianta je i upnutí pomocí speciálních přípravků. Z důvodu efektivity a spojování operací však volíme upnutí do sklíčidla.

Tab 16) Metoda Pattern pro způsob upnutí polotovaru u operací 60 a 70 [vlastní zdroj]

Definování způsobu upnutí polotovaru, operace 60 a 70									
Kritérium	Váha	Způsoby upnutí polotovaru							
		ZP1		ZP2		ZP3		ZP4	
n	V	Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH
	%	K		K		K		K	
Krit. 1	0,19	5,00	0,93	4,00	0,74	4,00	0,74	1,00	0,19
	18,60	5,00		4,00		4,00		1,00	
Krit. 2	0,09	3,00	0,28	1,00	0,09	5,00	0,47	2,00	0,19
	9,30	3,00		1,00		5,00		2,00	
Krit. 3	0,16	4,00	0,21	5,00	0,26	4,00	0,21	3,00	0,16
	15,50	1,33		1,67		1,33		1,00	
Krit. 4	0,09	3,00	0,28	3,00	0,28	4,00	0,37	1,00	0,09
	9,30	3,00		3,00		4,00		1,00	
Krit. 5	0,12	4,00	0,17	3,00	0,12	3,00	0,12	4,00	0,17
	12,40	1,33		1,00		1,00		1,33	
Krit. 6	0,14	2,00	0,14	5,00	0,35	3,00	0,21	3,00	0,21
	13,95	1,00		2,50		1,50		1,50	
Krit. 7	0,21	3,00	0,21	4,00	0,28	5,00	0,35	4,00	0,28
	20,93	1,00		1,33		1,67		1,33	
Celkem	100,00	F ₁	2,21	F ₂	2,13	F ₃	2,47	F ₄	1,27

Tab 17) Metoda Pattern pro způsob upnutí polotovaru u operací 90 a 100 [vlastní zdroj]

Definování způsobu upnutí polotovaru, operace 90 a 100									
Kritérium	Váha	Způsoby upnutí polotovaru							
		ZP1		ZP2		ZP3		ZP4	
n	V	Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH
	%	K		K		K		K	
Krit. 1	0,19	5,00	0,93	4,00	0,74	4,00	0,74	1,00	0,19
	18,60	5,00		4,00		4,00		1,00	
Krit. 2	0,09	3,00	0,28	1,00	0,09	5,00	0,47	2,00	0,19
	9,30	3,00		1,00		5,00		2,00	
Krit. 3	0,16	4,00	0,21	5,00	0,26	3,00	0,16	3,00	0,16
	15,50	1,33		1,67		1,00		1,00	
Krit. 4	0,09	4,00	0,37	3,00	0,28	4,00	0,37	1,00	0,09
	9,30	4,00		3,00		4,00		1,00	
Krit. 5	0,12	4,00	0,17	3,00	0,12	3,00	0,12	4,00	0,17
	12,40	1,33		1,00		1,00		1,33	
Krit. 6	0,14	3,00	0,14	5,00	0,23	4,00	0,19	3,00	0,14
	13,95	1,00		1,67		1,33		1,00	
Krit. 7	0,21	3,00	0,21	4,00	0,28	5,00	0,35	4,00	0,28
	20,93	1,00		1,33		1,67		1,33	
Celkem	100,00	F ₁	2,30	F ₂	2,01	F ₃	2,40	F ₄	1,20

6.3 Určení řezných podmínek a strategie obrábění

Určení řezných podmínek a strategie obrábění definuje a programuje technolog. Do procesu vstupují informace o stroji, nástroji, materiálu a výrobní výkres.

6.3.1 Mapování procesu určení řezných podmínek a strategie obrábění

Jedním kritériem volby je pro programátora zvážení spotřeby nástroje, čímž může výrazně přispět ke snížení nákladů.

Dalším z důležitých kritérií je přizpůsobení podmínek tolerančním polím obráběné součásti.

Vlastnosti materiálu, především křehkost a tvrdost významně ovlivňují řeznou rychlost a hloubku záběru třísky. Je nutné mít k dispozici informace o obráběném materiálu ze zkušebního protokolu.

Řezné podmínky jsou významně omezeny výkonem stroje, z hlediska opotřebení není vhodné stroj neustále zatěžovat na plný výkon.

Další činností je zhodnocení vlastností nástroje. Technolog musí u této činnosti využívat katalogové informace.

Důležitým faktorem je i zvolený způsob upnutí, větší stabilita a tuhost upnutí dovoluje použít větší řezné rychlosti při obrábění.

Z ekonomického hlediska je důležitým ukazatelem i opotřebení stroje. Velikost opotřebení musí být přizpůsobena strategii firmy, která se v rámci práce odráží ve FMEA analýze pro určení řezných podmínek a strategie obrábění.

Tab 18) SIPOC k určení řezných podmínek a strategie obrábění [vlastní zdroj]

SIPOC k procesu:		Určení řezných podmínek a strategie obrábění		
Dodavatel S (supplier)	Vstup I (input)	Proces P (process)	Výstup O (output)	Zákazník C (customer)
Technolog postupář	Informace o stroji, nástroji a materiálu, výrobní výkres, programátor	Zvážení spotřeby nástroje		
		Určení řezných podmínek dle přesností tolerancí		
		Zvážení vlivu vlastností materiálu		
		Uzpůsobení řezných podmínek výkonu stroje		
		Uzpůsobení řezných podmínek vlastnostem nástroje		

		Přizpůsobení řezných podmínek způsobu upnutí polotovaru		
		Vliv řezných podmínek na opotřebení stroje		
		Zvážení produktivity strategie obrábění	Obráběcí a seřizovací program	Výroba

6.3.2 FMEA analýza k určení řezných podmínek a strategie obrábění

Problematickou činností je určení strategie obrábění dle přísnosti tolerancí. Za zmínku také stojí zvážení produktivity při volbě strategie, což se pře s problematickou činností a je nutno zvolit kompromis mezi nimi.

Tab 19) FMEA analýza k určení řezných podmínek a strategie obrábění [vlastní zdroj]

FMEA ANALÝZA PROCESU								
Proces:		Určení řez. podm. a strategie obrábění	Vstupy:	Informace o stroji, nástroji a materiálu, výrobní výkres, programátor				
Předchozí proces:		Způsob upnutí polotovaru	Výstupy:	Obráběcí a seřizovací program				
Následující proces:		Ověření obráběcího programu	Kritické RPN =	20				
Činnost	Potenciální problém	Příčina	Následek	Způsob verifikace činnosti	Závažnost	Pravděpodobnost	Detekovatelnost	RPN
Zvážení spotřeby nástroje	Vysoké opotřebení nástroje	Velká složitost dílců a velká různorodost	Vysoká spotřeba nástroje, snížení kvality obrábění	Ověřovací série, kontrola prvního kusu, ekonomické zhodnocení	2	2	2	8
Určení strategie obrábění dle přísnosti tolerancí	Poškození nástroje, nesplnění specifikací	Nedostatečné kompetence a informace poskytnuté programátorovi	Snížení kvality obrábění	Ověřovací série, kontrola prvního kusu	4	2	3	24
Zvážení vlivu vlastností materiálu	Špatná obrobitelnost, vysoká tvrdost a pevnost materiálu	Úroveň znalosti, dostupnosti a pravdivosti informací o materiálu	Snížení kvality obrábění, poškození nástroje (jiné části stroje)	Ověřovací série, kontrola materiálu	3	2	2	12
Uzpůsobení řezných podmínek výkonu stroje	Porucha, opotřebení stroje	Nadměrné zatížení stroje	Snížení kvality obrábění	Simulace, ověřovací série	4	1	1	4
Uzpůsobení řezných podmínek vlastnostem nástroje	Vyšší opotřebení nástrojů, dosahování menších přesností	Nedodržování informací od výrobce nástroje, nedostatky v informacích od výrobce	Vysoká spotřeba nástroje, snížení kvality obrábění	Ověřovací série, kontrola informací od výrobce	3	2	2	12
Přizpůsobení řezných podmínek způsobu upnutí polotovaru	Vznik vibrací při obrábění	Nedostatečná tuhost upnutí vůči řezným podmínkám	Snížení kvality obrábění	Ověřovací série, kontrola informací od výrobce	4	1	2	8
Zvážení vlivu řezných podmínek na opotřebení stroje	Velké opotřebení stroje	Vysoké řezné rychlosti a velká hloubka záběru	Vysoké opotřebení stroje	Ověřovací série, kontrola stroje	3	2	2	12
Zvážení produktivity při volbě strategie	Zbytečně nízká rychlost obrábění	Nevhodně zvolená strategie	Nízká produktivita	Ekonomické zhodnocení	3	3	2	18

6.3.3 Metoda Pattern k určení rezných podmínek a strategie obrábění

Varianty strategie obrábění jsou uvedeny v Tab. 21 a jsou blíže popsány v kapitole 3.2.7. Znamky jsou hodnoceny dle Tab. 20.

Tab 20) Kritéria a hodnocení pro strategie obrábění [vlastní zdroj]

Označení	Zaměření kritéria	Otázka	Hodnocení
Krit. 1	Spotřeba nástroje	Jak je velká spotřeba nástroje při použití dané strategie obrábění na dílci?	1 = velmi vysoká spotřeba 5 = nízká spotřeba
Krit. 2	Dodržení tolerancí	Je strategie vhodná k dodržení specifikací daných výkresem?	1 = nevhodná strategie z hlediska přesnosti 5 = velmi vhodná strategie z hlediska přesnosti
Krit. 3	Vliv materiálu	Jaká je úroveň vhodnosti strategie vzhledem k obráběnému materiálu?	1 = nevhodná k danému typu materiálu 5 = velmi vhodná k danému typu materiálu
Krit. 4	Výkon stroje	Je strategie vhodná vzhledem k parametrům (výkonu) stroje?	1 = nevhodný z hlediska složitosti a tvaru dílce 5 = nejvhodnější z hlediska složitosti a tvaru dílce
Krit. 5	Vlastnosti nástroje	Je strategie vhodná vůči použitelným nástrojům?	1 = vlastnosti nástroje nejsou vhodné pro strategii 5 = vlastnosti nástroje jsou velmi vhodné pro strategii
Krit. 6	Způsob upnutí	Je strategie vhodná k danému způsobu upnutí?	1 = nevhodné, nízká tuhost a přesnost upnutí 5 = vhodné, velmi dobrá tuhost a přesnost upnutí
Krit. 7	Opotřebení stroje	Jak velké je opotřebení stroje při použití dané strategie?	1 = při dané strategii dochází při obrábění dané součásti k velmi vysokému opotřebení stroje 5 = nízké opotřebení stroje při obrábění součásti
Krit. 8	Produktivita	Jak je velká produktivita stroje při použití dané strategie obrábění?	1 = nízká produktivita 5 = velmi vysoká produktivita

Tab 21) Možnosti strategií obrábění [vlastní zdroj]

Označení	Strategie obrábění
ST1	HFM – vysokoposuvová (šetření strojů, nižší záběr, větší posuv)
ST2	HSC – vysokorychlostní (vyšší produktivita, větší opotřebení strojů)
ST3	Konzervativní přístup (nižší rezné rychlosti, menší úběr třísky)
ST4	Ekonomický přístup (optimalizace nákladů)
ST5	Výkonnostní (max. produktivita)

Pro operaci 60 a 70 je metoda **Pattern** provedena v Tab. 22 a pro operaci 90 a 100 je metoda provedena v Tab. 23. U všech obráběcích operací je nejvhodnější strategií ST1, tedy vysokoposuvová strategie obrábění HFM.

Tab 22) Metoda Pattern pro určení strategie obrábění u operací 60 a 70 [vlastní zdroj]

Určení strategie obrábění, operace 60 a 70											
Kritérium	Váha	Varianty strategií obrábění									
		ST1		ST2		ST3		ST4		ST5	
n	V	Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH
	%	K		K		K		K		K	
Krit. 1	0,08	3,00	0,24	4,00	0,33	3,00	0,24	4,00	0,33	1,00	0,08
	8,16	3,00		4,00		3,00		4,00		1,00	
Krit. 2	0,24	5,00	0,61	4,00	0,49	5,00	0,61	4,00	0,49	2,00	0,24
	24,49	2,50		2,00		2,50		2,00		1,00	
Krit. 3	0,12	3,00	0,18	2,00	0,12	3,00	0,18	3,00	0,18	2,00	0,12
	12,24	1,50		1,00		1,50		1,50		1,00	
Krit. 4	0,04	4,00	0,08	3,00	0,06	4,00	0,08	4,00	0,08	2,00	0,04
	4,08	2,00		1,50		2,00		2,00		1,00	
Krit. 5	0,12	4,00	0,24	3,00	0,18	4,00	0,24	3,00	0,18	2,00	0,12
	12,24	2,00		1,50		2,00		1,50		1,00	
Krit. 6	0,08	3,00	0,12	2,00	0,08	4,00	0,16	4,00	0,16	2,00	0,08
	8,16	1,50		1,00		2,00		2,00		1,00	
Krit. 7	0,12	3,00	0,37	1,00	0,12	3,00	0,37	4,00	0,49	2,00	0,24
	12,24	3,00		1,00		3,00		4,00		2,00	
Krit. 8	0,18	3,00	0,55	4,00	0,73	2,00	0,37	1,00	0,18	5,00	0,92
	18,37	3,00		4,00		2,00		1,00		5,00	
Celkem	100,00	F ₁	2,41	F ₂	2,12	F ₃	2,27	F ₄	2,10	F ₅	1,86

Tab 23) Metoda Pattern pro určení strategie obrábění u operací 90 a 100 [vlastní zdroj]

Určení strategie obrábění, operace 90 a 100											
Kritérium	Váha	Varianty strategií obrábění									
		ST1		ST2		ST3		ST4		ST5	
n	V	Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH	Z	DH
	%	K		K		K		K		K	
Krit. 1	0,08	3,00	0,24	2,00	0,16	3,00	0,24	5,00	0,41	1,00	0,08
	8,16	3,00		2,00		3,00		5,00		1,00	
Krit. 2	0,24	4,00	0,49	5,00	0,61	4,00	0,49	3,00	0,37	2,00	0,24
	24,49	2,00		2,50		2,00		1,50		1,00	
Krit. 3	0,12	3,00	0,18	2,00	0,12	3,00	0,18	3,00	0,18	2,00	0,12
	12,24	1,50		1,00		1,50		1,50		1,00	
Krit. 4	0,04	4,00	0,08	2,00	0,04	4,00	0,08	4,00	0,08	2,00	0,04
	4,08	2,00		1,00		2,00		2,00		1,00	
Krit. 5	0,12	3,00	0,18	2,00	0,12	3,00	0,18	3,00	0,18	2,00	0,12
	12,24	1,50		1,00		1,50		1,50		1,00	
Krit. 6	0,08	3,00	0,12	2,00	0,08	4,00	0,16	4,00	0,16	2,00	0,08
	8,16	1,50		1,00		2,00		2,00		1,00	
Krit. 7	0,12	3,00	0,37	1,00	0,12	3,00	0,37	4,00	0,49	1,00	0,12
	12,24	3,00		1,00		3,00		4,00		1,00	
Krit. 8	0,18	3,00	0,55	4,00	0,73	2,00	0,37	1,00	0,18	5,00	0,92
	18,37	3,00		4,00		2,00		1,00		5,00	
Celkem	100,00	F ₁	2,22	F ₂	2,00	F ₃	2,08	F ₄	2,06	F ₅	1,73

6.4 Kontrola opotřebení nástroje

Kontrola opotřebení nástroje je prováděna obsluhou stroje před prováděním výrobních operací. Vstupy procesu jsou znázorněny v Tab. 24.

6.4.1 Mapování procesu kontroly opotřebení nástroje

Prvním krokem je již zmiňovaná kontrola prováděna pomocí lupy nebo na přípravném pracovišti. Při větších nárocích na přesnost součásti je předepsáno množství kusů, po kterých je nutné nástroj znovu zkontrolovat.

Na základě kontroly musí obsluha vyhodnotit nutnost výměny nebo úpravy nástroje. Na přípravném pracovišti je i možnost důkladně změřit nástroj a nahrát kompenzace do obráběcího stroje. Činnost je závislá na zkušenostech a dalších kompetencích obsluhy stroje. Mapa procesu je uvedena v Tab. 24.

Tab 24) SIPOC ke kontrole opotřebení nástroje [vlastní zdroj]

SIPOC k procesu:		Kontrola opotřebení nástroje		
Dodavatel S (supplier)	Vstup I (input)	Proces P (process)	Výstup O (output)	Zákazník C (customer)
Technologie	Výkres, průvodní dokumentace, obsluha stroje, lupa nebo seřizovací zařízení	Vizuální kontrola lupou, prováděna obsluhou stroje nebo kontrola na seřizovacím pracovišti		
		Úprava (výměna) nástroje nebo kompenzace naměřených hodnot	Nástroj způsobilý k obrábění	Obsluha stroje

6.4.2 FMEA analýza ke kontrole opotřebení nástroje

Žádná činnost při kontrole opotřebení nástroje nepřekročila hodnotu kritického RPN. V současné době tedy není nutné proces dále řešit, viz Tab. 25.

Tab 25) FMEA analýza procesu kontroly opotřebení nástroje [vlastní zdroj]

FMEA ANALÝZA PROCESU								
Proces:		Kontrola opotřebení nástroje	Vstupy:	Informace o stroji, nástroji, materiálu, výkres a množství obrobků, obsluha stroje				
Předchozí proces:		Příprava pracoviště	Výstupy:	Nástroj způsobilý k obrábění				
Následující proces:		Dodržování tech. Postupu	Kritické RPN =	20				
Činnost	Potenciální problém	Příčina	Následek	Způsob verifikace činnosti	Závažnost	Pravděpodobnost	Detekovatelnost	RPN
Vizuální kontrola nástroje (prováděna obsluhou stroje) nebo kontrola na předseřizovacím pracovišti	Použití opotřebovaného nástroje	Nedostatečné dovednosti obsluhy stroje	Snížení kvality obrobku	Kontrola prvního kusu	4	2	2	16
Úprava (výměna) nástroje nebo kompenzace naměřených hodnot	Použití nevhodného (opotřebovaného nástroje)	Nedostatečná identifikace ve skladu	Snížení kvality obrobku	Kontrola systému řízení ve skladu	3	1	1	3

6.5 Dodržování technologického postupu

Pod dodržováním technologického postupu je myšleno provádění operací tak, jak jsou definovány ve výrobní dokumentaci. Odchylkou mohou být nedostatečné znalosti a zkušenosti obsluhy stroje nebo nejednoznačně definované postupy pro výrobu, proto je nutné vždy provádět činnosti zmapované v kapitole 6.5.1.

6.5.1 Mapování procesu dodržování technologického postupu

Nejprve je nutné, aby se obsluha stroje důkladně seznámila s výrobním postupem a plně mu porozuměla.

Další činností, při které může nastat chyba je volba a použití správného programu. Rizikem může být změna ve výrobním postupu. Proto je nutné kontrolovat v aktuální průvodní dokumentaci definované identifikační číslo programu a číslo revize pro nastavení aktuálního a předepsaného programu.

Obsluha stroje je povinna řešit nejasnosti s technologem, případně s nadřízeným pracovníkem.

Mimo volbu správného programu je obsluha povinna plnit všechny další požadavky dle výrobního postupu.

Proces je kompletně zmapovaný v Tab. 26.

Tab 26) SIPOC k dodržování technologického postupu [vlastní zdroj]

SIPOC k procesu:		Dodržování technologického postupu		
Dodavatel S (supplier)	Vstup I (input)	Proces P (process)	Výstup O (output)	Zákazník C (customer)
Technologie	Informace o stroji, výrobní výkres, obsluha stroje, informace o nástrojích (přípravcích), technologický postup	Seznámení obsluhy s postupem		
		Volba a použití správného programu (dodržování postupu)		
		Řešení nejasností s technologem nebo nadřízeným		
		Plnění ostatních požadavků výrobního postupu	Obrobená součást	Kontrola obrobku

6.5.2 FMEA analýza k procesu dodržování technologického postupu

U dodržování technologického postupu opět nebyla identifikována činnost překračující kritické RPN, takže v současné situaci není nutné proces dále řešit, viz Tab. 27.

Tab 27) FMEA analýza k procesu dodržování technologického postupu [vlastní zdroj]

FMEA ANALÝZA PROCESU								
Proces:		Dodržování tech. Postupu	Vstupy:	Informace o stroji, obsluha, výkres, technologický postup, informace o nástrojích(přípravky)				
Předchozí proces:		Kontrola opotř. Nástroje	Výstupy:	Obrobená součást				
Následující proces:		Kontrola obrobku	Kritické RPN =	20				
Činnost	Potenciální problém	Příčina	Následek	Způsob verifikace činnosti	Závažnost	Pravděpodobnost	Detekovatelnost	RPN
Seznámení obsluhy s postupem	Nepochopení požadavků	Kompetence obsluhy, složitost výrobního postupu	Vyrobení neshodného kusu	Ověřovací série, kontrola prvního kusu	4	2	2	16
Volba a použití správného programu	Použití jiného programu (jiné verze)	Neefektivní systém řízení změn	Vyrobení neshodného kusu	Kontrola prvního kusu, kontrola mistrů	5	1	1	5
Řešení nejasností s technologem nebo nadřízeným	Nedostatečná komunikace, žádná komunikace	Firemní kultura, povědomí obsluhy stroje	Vyrobení neshodného kusu	Kontrola prvního kusu	4	2	2	16
Plnění ostatních požadavků výrobního postupu	Nedodržení předepsaných požadavků	Sabotáž, lidská chyba	Vyrobený neshodný kus	Kontrola prvního kusu	5	1	2	10

6.6 Shrnutí metody Pattern pro kritické procesy

Nové řešení pro kritické procesy je kompletně popsáno v Tab. 28. Porovnání starého a nového způsobu řešení je provedeno v kapitole 7.

Tab 28) Souhrn nového řešení pro výrobu tělesa statoru [vlastní zdroj]

Číslo operace	Volba stroje	Způsob upnutí	Strategie obrábění
Operace 60 a 70	MFOC Mazak	Sklíčidlo	HFM
Operace 90 a 100	MFOC Mazak	Sklíčidlo	HFM

7 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Technicko-ekonomické zhodnocení je rozděleno na dvě části. První částí je využívání metody **Pattern**, tedy přínos standardizovaného postupu při definování procesu obrábění. Druhá část je zaměřena na zhodnocení návrhu nového řešení, které vzniklo aplikováním metody pro konkrétní součást.

7.1 Zhodnocení metody Pattern

Proces obrábění je ovlivňován mnoha faktory, nejpodstatnější jsou definovány v kapitole 4. Pro správné rozhodování při tvorbě technologického postupu se jeví jako přínosná multikriteriální rozhodovací metoda, protože je aplikovatelná na všechny kritické části procesu obrábění. Pro snížení rizika chyb je tedy zaveden standardizovaný postup, který technologovi ulehčí tvorbu technologického postupu. Vzhledem k různorodosti obráběných dílů ve firmě je standardizace důležitá pro dodržování cílů firmy a požadované kvality.

Metoda Pattern snižuje pravděpodobnost výskytu rizika u všech kritických činností, po aplikování tedy žádná kritická činnost ve FMEA analýze nepřesahuje hodnotu **RPN**.

Po zaškolení může být metoda významnou časovou úsporou při rozhodování pro technologii. Výjimkou však mohou být zkušenosti technologové, jejichž kreativitu a myšlenky může tato metoda omezovat z hlediska nových nápadů i časově. Zároveň není požadována vysoká odbornost pracovníků technologie. Pro rozhodování by měly stačit pouze základní poznatky uvedené v kapitole 3. Významným přínosem standardizace je i zkrácení času na zaškolení nových lidí, což je v dnešní době výhodou vzhledem k vysoké fluktuaci.

Dalším pozitivem na přesně definované rozhodovací metodě je i možnost pro jednoduché řízení obrábění vedením firmy. Politika a cíle se u každé firmy postupem času mění, provádění změn je pro standardizovaný postup jednoduché a vedení tak může okamžitě a efektivně ovlivňovat proces obrábění podle aktuálních potřeb.

Nevýhodou při zavedení standardizovaného postupu může být například nedostatečná flexibilita. Postup podle metody Pattern by měl být aplikovatelný na většinu součástí, mohou však nastat případy, kdy postup nebude schopen správně zvolit nejvhodnější řešení, například u velmi složitých tvarů.

7.2 Zhodnocení návrhu nového řešení pro konkrétní díl

V této části je provedeno zhodnocení návrhu nového řešení k součásti popsané v kapitole 5.8. Jsou mezi sebou porovnávány všechny obráběcí operace kromě čtvrté, která je pouze přípravná pro zkoušku těsnosti. Aplikování metody **Pattern** by pro tuto operaci bylo časově nevýhodné z důvodu její jednoduchosti. Nové řešení by mělo být schopno vyrábět součást ve stejné kvalitě jako originální, jedná se ale pouze o domněnku, kterou jsme schopni plně ověřit pouze zavedením do výroby.

Způsoby řešení kritických částí procesu obrábění jsou srovnány v Tab. 29 pro všechny čtyři operace pro původní (OLD) postup a pro nový (NEW) postup.

Tab 29) Srovnání kritických procesů starého a nového způsobu výroby [vlastní zdroj]

Číslo operace	Volba stroje	Způsob upnutí	Strategie obrábění
Operace 60 a 70 (OLD)	CNC revolverový soustruh Mazak	Sklíčidlo	HFM
Operace 60 a 70 (NEW)	MFOC Mazak	Sklíčidlo	HFM
Operace 90 a 100 (OLD)	CNC pětiosá frézka Hermle	Speciální upínací přípravek	HFM
Operace 90 a 100 (NEW)	MFOC Mazak	Sklíčidlo	HFM

Návrh nového řešení se liší u všech operací ve volbě stroje. Podle způsobu používaného ve firmě se nejprve provádí soustružení na revolverovém soustruhu a poté frézování na pětiosé frézce. Dle nového způsobu vycházející z metody **Pattern** je nejlepší provést všechny čtyři operace na jednom stroji, a to v multifunkčním obráběcím centru Mazak, kde lze provádět jak soustružnické, tak i frézovací operace. Dalším rozdílem je způsob upnutí, podle nového způsobu je upnutí realizováno u všech operací pomocí sklíčidla. Mělo by tak dojít k významným úsporám na celkové době obrábění, protože bude výrazně snížen přípravný čas. Do přípravného času je zahrnut například i čas na přípravu nástrojů, čas na upnutí a čas na manipulaci. Při použití nového způsobu stačí provést pouze dvě upnutí, zatímco pro starý způsob bylo nutné provést upnutí čtyřikrát, další nevýhodou starého způsobu jsou i větší časy na manipulaci, výhodou však je větší rychlost provádění operací na pětiosé frézce než na multifunkčním obráběcím centru přibližně o 15 %. Časy spojené s výrobou součásti podle starého způsobu jsou uvedeny v Tab. 30.

Tab 30) Časy obrábění pro původní způsob [vlastní zdroj]

Původní způsob obrábění		
Číslo operace	Přípravný čas kusu [min]	Čas na obrábění kusu [min]
Operace 60	32	112,2
Operace 70	28	47,5
Operace 90	24	43
Operace 100	24	43
Celkem	108	245,7
Celková doba obrábění kusu je 353 minut a 42 sekund .		

Čas na výrobu součásti je uveden v Tab. 31. Jedná se o odhady vytvořené na základě zaznamenaných dat o časech obrábění a na základě zkušeností pracovníků technologie.

Tab 31) Časy obrábění pro nový způsob obrábění [vlastní zdroj]

Nový způsob obrábění		
Číslo operace	Přípravný čas kusu [min]	Čas na obrábění kusu [min]
Operace 60	32	112,2
Operace 70	28	47,5
Operace 90	0	49,45
Operace 100	0	49,45
Celkem	60	258,6
Celková doba obrábění kusu je 318 minut a 36 sekund .		

Nový způsob obrábění je rychlejší o **35 minut a 6 sekund** pro výrobu jedné součásti. Což je úspora **105 minut 18 sekund** na jednu technologickou dávku neboli nové řešení je o **9,9 %** kratší na výrobu jednoho dílu než původní.

Každá časová úspora je pro firmu přínosná, další důležitou otázkou je však změna nákladů na výrobu. Pokud by došlo k rapidním nárůstu nákladů na výrobu, nebylo by výhodné zavádět nové řešení. Pro srovnání nákladů na obrábění je vycházeno z hodinových sazeb stroje. Informace o hodinových sazbách mohou být však v práci uvedeny pouze jako procentuální hodnoty porovnané vůči sobě, viz Tab. 32. Ostatní náklady jsou zanedbávány, jelikož se mezi novým a starým řešením výrazně nemění.

Tab 32) Procentuální sazby použitých obráběcích strojů [vlastní zdroj]

Stroj	Hodinová sazba stroje (Stroj / tříosá frézka) · 100 %
CNC tříosá frézka Hermle	100,00 %
CNC pětiosá frézka Hermle	101,38 %
MFOC Mazak	98,94 %
CNC revolverový soustruh Mazak	93,13 %

Hodinové sazby stroje byly poskytnuty finančním oddělením, přesný výpočet a hodnoty hodinových sazeb nemohou být uvedeny. Procentuální hodnoty jsou však dostačující pro ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

Podle hodinové sazby stroje je ekonomicky hodnocen čas na výrobu kusu i přípravný čas na obrábění. **Náklady jsou součinem celkového času operace v hodinách a poměru hodinové sazby stroje.**

Tab 33) Srovnání nákladů pro starý a nový způsob [vlastní zdroj]

Číslo operace	Náklady (starý způsob)	Náklady (nový způsob)
Operace 60	2,24	2,38
Operace 70	1,17	1,25
Operace 90	1,13	0,82
Operace 100	1,13	0,82
Celkem	5,67	5,27
Rozdíl je 0,4. Tedy náklady jsou pro nový způsob o 7 % nižší.		

Čas na obrábění je podle nového způsobu o téměř **10 % kratší** a velikost nákladů z hlediska práce na stroji je o **7 % nižší**. V obou případech se tedy návrh nového řešení jeví jako vhodnější alternativa. Zavedení tohoto nového způsobu je téměř beznákladové, zabere pouze maximálně 45 minut času technologa na implementaci změny do výrobního postupu.

8 DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ ROZVOJ

Práci je možno rozvíjet v mnoha směrech. Představené nové řešení pokrývá velkou oblast firemních procesů, které lze blíže definovat a zajistit lepší výstupy v podobě informací a distribuci těchto informací, například o údržbě obráběcích strojů.

Jedním ze způsobů pro zlepšení je přísnější definování volby známky v metodě Pattern. K tomu je však potřeba zlepšit dostupnost a množství informací, než je v současné době. Subjektivita při volbě by tak byla značně omezena a rozhodování by bylo prováděno na základě dostupných vstupních informací, například o přesnosti stroje, o údržbě stroje a dalších.

Významnou časovou úsporou při využívání metody by mohlo být zautomatizování metody Pattern na základě poskytnutých dat. U většiny kritérií by automatické vyplnění známek nemělo být problémem. Pro některá kritéria však bude vhodnější subjektivní pohled technologa. Následné porovnání výsledků metody z jednotlivých operací by musí provádět pracovník technologie pro volbu nejefektivnějšího řešení. V budoucnu by však metoda měla být zcela automatická, technolog by měl pouze kontrolovat správnost a provádět úpravy při spolupráci s oddělením informačních technologií.

Vzhledem k nátlaku Evropské unie může být dalším doporučením do budoucna zavedení požadavků na ochranu životního prostředí do rozhodovacích procesů.

Dalším prostorem pro rozvoj může být rozšíření metody o broušení nebo lepší forma zpracování a využití programovacích jazyků pro tvorbu Patternu.

9 ZÁVĚR

V práci byl vytvořen standardizovaný postup pro definování procesu obrábění v leteckém průmyslu. Cílem je dosáhnout požadované úrovně kvality dílce za minimální náklady a nejkratší čas pomocí třískového obrábění. Metodika je univerzální, měla by být aplikovatelná na mnoho typů součástí, což je jedna z charakteristik, která ji činí vhodnou pro letecký průmysl a daný podnik, protože je zde vyráběno mnoho typů různých součástí. Vzhledem k tomu, že nové řešení vychází ze současných metod zajišťování kvality v podniku, tak by měla být metodou ošetřena slabá místa podniku.

Práce nejprve popisuje současný stav poznání řešené problematiky. Z důvodu obsáhlosti jsou uvedeny pouze základní informace, nutné pro účel diplomové práce. Zpracované informace jsou však klíčové pro vhodnou aplikaci na konkrétní typ problému.

V dalším kroku se povedlo provést systémový rozbor stabilizace kvality obrábění v leteckém průmyslu. Rozbor odhalil entity s největším vlivem na obrábění, zajistil jejich podrobný popis a představil vzájemné vazby v rámci celého systému. Výstupy v podobě informací ze systémového rozboru slouží jako důležité vstupy pro všechny ostatní kapitoly a pomáhají komplexněji řešit problematiku kvality obrábění.

Pátá kapitola je zaměřena na firmou používané metody pro zajištění kvality subtraktivního obrábění. Nejprve se podařilo popsat kontext organizace a obecné procesy firmy vztahující se ke všem entitám identifikovaným v systémovém rozboru. Dále byla zvolena součást, obecně zmapován proces obrábění a následně představen současný způsob výroby zvolené součásti, tedy tělesa statoru. Podle mapy procesu obrábění bylo metodou brainstormingu identifikováno pět kritických procesů, které byly dále řešeny v následující kapitole.

V šesté kapitole práce bylo vytvořeno nové řešení. Nejprve byly procesy důkladněji zmapovány pomocí metody SIPOC a následně byla prováděna identifikace a analýza rizik pomocí procesní FMEA analýzy. U třech z pěti procesů vyšla alespoň jedna činnost jako kritická, nové řešení je tedy tvořeno pouze k procesu volbě stroje, definování způsobu upnutí polotovaru a určení strategie obrábění. Vzhledem k tomu, že všechny identifikované procesy jsou složité rozhodovací procesy, tak se pro nové řešení jeví jako přínosná multikriteriální rozhodovací metoda. Pro účely práce byla zvolena metoda Pattern z důvodu její jednoduchosti, přehlednosti a jednoduchého provádění změn. Rozhodovací metoda by měla sloužit jako standardizovaný rozhodovací postup čímž snižuje pravděpodobnost výskytu chyb. Metodika je demonstrována na dílci tělesa statoru. Je nutné ji aplikovat zvlášť na každou obráběcí operaci, pokud je proces rozhodování jednoduchý, není nutné využívat Pattern. V rámci nového řešení vyšlo jako nejvhodnější využít pro všechny obráběcí operace multifunkční obráběcí centrum. Nové řešení pro způsob upnutí polotovaru a určení strategie obrábění potvrzuje správnost prováděného starého řešení (výsledky metody jsou stejné jako u prováděné praxe). Srovnání starého a nového způsobu postupu výroby součástí je popsán v Tab. 29.

Nový způsob výroby byl dále zhodnocen z technického a ekonomického hlediska, viz kapitola 7. Hlavním přínosem nové metodiky je výrazné snížení pravděpodobnosti chyby při rozhodovacích procesech. Z ekonomického hlediska je nový způsob výroby o 35 minut kratší na jednu součástku a náklady z hlediska hodinových sazeb stroje jsou pro nový způsob o 7 % nižší. Čas výroby je kratší především z výrazného snížení přípravného času na obrábění,

frézovací operace mají však na úkor toho delší čas na obrábění o 15 %. Z hlediska celkového času je nový způsob přínosný, ale z praktického hlediska je však vždy nutné hledět na úzká hrdla firmy, přípravný čas na obrábění může být v některých případech jednodušší pro hledání úspor než samotný čas obrábění, v tomto případě nemusí být nový způsob z hlediska časových úspor tak přínosný, jak se na první pohled může zdát. Naopak v případě nedostatku pracovníků obsluhujících obráběcí stroj je tento přínos větší, než na první pohled vyplývá z uvedených tabulek.

V poslední části jsou identifikovány doporučení pro další rozvoj, hlavní doporučení je provádění procesu rozhodování na základě dostupných informací a nedržet se za každou cenu konzervativních přístupů.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] NENADÁL, Jaroslav, Růžena PETŘÍKOVÁ, Jiří PLURA, Darja NOSKIEVIČOVÁ a Josef TOŠENOVSKÝ. *Moderní management jakosti*. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [2] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Systém managementu kvality - Základní principy a slovník*. Praha, 2016.
- [3] JANÍČEK, Přemysl, Jiří MAREK, Pavel MÁCHAL, Jan MAREČEK, Dana LINHARTOVÁ a Eva KRČÁLOVÁ. *Expertní inženýrství v systémovém pojetí* [online]. Praha: Grada Publishing, 2013 [cit. 2025-04-14]. ISBN 978-80-247-8196-9. Dostupné z: <https://www.makniha.cz/expertni-inzenyrstvi-v-systemovem-pojeti-6514.html>
- [4] *Zákon č. 505/1990 Sb.: Zákon o metrologii*. In: . 2021.
- [5] JURAN, Joseph M. a A. Blanton GODFREY. *Juran's Quality Handbook*. 5. United States of America: McGraw-Hill Companies, 1998. ISBN 0-07-034003-X.
- [6] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Systém managementu kvality - požadavky*. 5. 2016.
- [7] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Systémy managementu kvality - Požadavky pro organizace v letectví, kosmonautice a obraně*. 2018.
- [8] MONTGOMERY, Douglas C. *Introduction to Statistical Quality Control*. 6. United States of America: John Wiley & Sons, 2009. ISBN 978-0-470-16992-6.
- [9] JANKOVÝCH, Róbert a Michal HOLUB. *Statistické řízení procesu - Analýza procesu* [online]. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2024 [cit. 2025-04-19]. Dostupné z: <https://moodle.vut.cz>
- [10] Ishikawův diagram. WILMINGTON (DE). *ManagementMania.com* [online]. 2015, 22.07.2015 [cit. 2025-04-19]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/ishikawuv-diagram>
- [11] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Kvantitativní metody zlepšování procesu - Six Sigma - Část 2: Nástroje a postupy*. Praha, 2014.
- [12] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA a FMECA)*. 2. Praha, 2019.
- [13] HUMÁR, Anton. *Technologie obrábění - 1. část, studijní opory* [online]. 2003 [cit. 2025-04-28]. Dostupné z: <https://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>
- [14] MAREK, Jiří. *Vymezení pojmu CNC obráběcí stroj, GIS přednáškový cyklus 2023/2024* [online]. 2023 [cit. 2025-04-28]. Dostupné z: <https://moodle.vut.cz>

- [15] MAREK, Jiří. *Stavba a provoz CNC obráběcích strojů* [online]. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, VUT v Brně, FSI, Technická 2896/2, 616 69 Brno: MM Publishing, 2023 [cit. 2025-01-02]. ISBN 978-80-907452-4-7. Dostupné z: <https://www.os.fme.vutbr.cz/StavbaAProvoz/ev-1>
- [16] MORI SEIKI, uveřejněno v a Jiří MAREK. *Stavba a provoz CNC obráběcích strojů* [online]. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, VUT v Brně, FSI, Technická 2896/2, 616 69 Brno: MM Publishing, 2023 [cit. 2025-04-30]. ISBN 978-80-907452-4-7. Dostupné z: <https://www.os.fme.vutbr.cz/StavbaAProvoz/ev-1>
- [17] CROSS, CROSS HULLER, VOGTLAND, MAG, MORI SEIKI, KSK KUŘÍM, uveřejněno v a Jiří MAREK. *Stavba a provoz CNC obráběcích strojů* [online]. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, VUT v Brně, FSI, Technická 2896/2, 616 69 Brno: MM Publishing, 2023 [cit. 2025-04-30]. ISBN 978-80-907452-4-7. Dostupné z: <https://www.os.fme.vutbr.cz/StavbaAProvoz/ev-1>
- [18] Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. *JCGM Publications: Guides in Metrology* [online]. 2008, 1-134 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications/>
- [19] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Podmínky zkoušek pro obráběcí centra - Část 7: Přesnost dokončovaného zkušebního kusu*.
- [20] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Údržba - Terminologie údržby*. 2018.
- [21] ZUTH, Daniel. *Kurz spolehlivost a údržba technickým systémů - Provoz a údržba strojů* [online]. rok vydání není uveden [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://moodle.vut.cz>
- [22] KAMENICKÁ, Pavlína. *Způsoby upínání nástrojů a obrobků*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [23] FlowTech - upínací přípravky. *Flowtech.cz* [online]. není uvedeno [cit. 2025-05-02]. Dostupné z: <https://flowtech.cz/produkty/upinaci-pripravky/>
- [24] Přesný svěrák modulární pro CNC. *Zjp.cz* [online]. není uveden [cit. 2025-05-02]. Dostupné z: <https://www.zjp.cz/presny-sverak-modularni-pro-cnc-typ-6620/p11525>
- [25] High Feed Machining - Science of High Metal Removal. *Tungaloy.com* [online]. není uveden [cit. 2025-05-02]. Dostupné z: https://tungaloy.com/cz/whats-new/blogs_high-feed-machining/
- [26] What is high speed cutting? *Datron.com* [online]. není uveden [cit. 2025-05-02]. Dostupné z: <https://www.datron.com/resources/blog/what-is-high-speed-cutting/>
- [27] High performance machining. *Accuromm USA inc.* [online]. není uveden [cit. 2025-05-03]. Dostupné z: <https://www.accuromm.com/high-performance-machining>
- [28] ŠPLÍCHAL, Miroslav. *Part 21 - Oprávnění organizace k výrobě - školicí materiál* [online]. [cit. 2025-05-04].

- [29] SZWED, Daniel. Manufacturing Parts for the Aerospace Industry: Challenges, Innovations, and Future Trends. *Mechanical Power* [online]. 2024 [cit. 2025-05-04]. Dostupné z: https://www.mechanicalpower.net/blog/manufacturing-parts-for-the-aerospace-industry-challenges-innovations-and-future-trends/?srsltid=AfmBOooSfILjGs9oWHQERzhcsG9iupDj1USonTis_VRO24pQ8dM MpHIL
- [30] CHALOUPKA, Michal. *Zvyšování produktivity konstrukčního procesu*. Brno, 2023. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

11 SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ, A ZKRATEK

11.1 Seznam tabulek

Tab 1)	Tři základní procesy pro řízení kvality [5].....	21
Tab 2)	Symboly vývojového diagramu[1].....	28
Tab 3)	Ukázka procesní FMEA analýzy z normy [12]	31
Tab 4)	Vhodnost nástrojů kvality vůči krokům neustálého zlepšování [1]	33
Tab 5)	Kritéria pro hodnocení parametrů ve FMEA analýze [vlastní zdroj]	69
Tab 6)	SIPOC k volbě stroje [vlastní zdroj]	73
Tab 7)	FMEA analýza procesy volby stroje [vlastní zdroj]	74
Tab 8)	Kritéria a hodnocení volby stroje metodou Pattern	75
Tab 9)	Typy používaných strojů ve firmě	75
Tab 10)	Metoda Pattern pro proces volby stroje u operace 60 a 70 [vlastní zdroj]	76
Tab 11)	Metoda Pattern pro proces volby stroje u operace 90 a 100 [vlastní zdroj]	76
Tab 12)	SIPOC ke způsobu upnutí polotovaru [vlastní zdroj]	77
Tab 13)	FMEA analýza procesu volby způsobu upnutí polotovaru [vlastní zdroj]	78
Tab 14)	Kritéria a hodnocení definování způsobu upnutí polotovaru [vlastní zdroj]	79
Tab 15)	Způsoby upnutí polotovaru [vlastní zdroj]	79
Tab 16)	Metoda Pattern pro způsob upnutí polotovaru u operací 60 a 70 [vlastní zdroj]	80
Tab 17)	Metoda Pattern pro způsob upnutí polotovaru u operací 90 a 100 [vlastní zdroj]	80
Tab 18)	SIPOC k určení řezných podmínek a strategie obrábění [vlastní zdroj]	81
Tab 19)	FMEA analýza k určení řezných podmínek a strategie obrábění [vlastní zdroj]	82
Tab 20)	Kritéria a hodnocení pro strategie obrábění [vlastní zdroj]	83
Tab 21)	Možnosti strategií obrábění [vlastní zdroj]	83
Tab 22)	Metoda Pattern pro určení strategie obrábění u operací 60 a 70 [vlastní zdroj]	84
Tab 23)	Metoda Pattern pro určení strategie obrábění u operací 90 a 100 [vlastní zdroj]	84
Tab 24)	SIPOC ke kontrole opotřebení nástroje [vlastní zdroj]	85

Tab 25) FMEA analýza procesu kontroly opotřebení nástroje [vlastní zdroj]	86
Tab 26) SIPOC k dodržování technologického postupu [vlastní zdroj]	87
Tab 27) FMEA analýza k procesu dodržování technologického postupu [vlastní zdroj]	87
Tab 28) Souhrn nového řešení pro výrobu tělesa statoru [vlastní zdroj]	88
Tab 29) Srovnání kritických procesů starého a nového způsobu výroby [vlastní zdroj]	90
Tab 30) Časy obrábění pro původní způsob [vlastní zdroj]	90
Tab 31) Časy obrábění pro nový způsob obrábění [vlastní zdroj]	91
Tab 32) Procentuální sazby použitých obráběcích strojů [vlastní zdroj]	91
Tab 33) Srovnání nákladů pro starý a nový způsob [vlastní zdroj]	92

11.2 Seznam obrázků

Obr. 1) Schématické znázornění procesu [6]	23
Obr. 2) Struktura normy ČSN EN ISO 9001:2016 v cyklu PDCA [6]	23
Obr. 3) Příklad histogramu pro tloušťku podložky [9]	25
Obr. 4) Kontrolní záznamník pro sestavení motoru [9]	26
Obr. 5) Příklad Paretova diagramu [9]	27
Obr. 6) Příklad Ishikawova diagram [10]	28
Obr. 7) Příklad vývojového diagramu [1]	29
Obr. 8) Příklad lineární závislosti v bodovém diagramu [1]	29
Obr. 9) Příklad regulačního diagramu pro průměr [9]	30
Obr. 10) SIPOC diagram [11]	30
Obr. 11) Plochy obrobku [13]	34
Obr. 12) Pohyby při soustružení a frézování [13]	34
Obr. 13) Základní operace soustružení a frézování [14]	35
Obr. 14) Doplnkové obráběcí operace [14]	35
Obr. 15) Práce prováděné soustružením [13]	36
Obr. 16) Technologie frézování [13]	36
Obr. 17) Konvenční obráběcí stroje [15]	37
Obr. 18) Příklady obráběných dílů v letectví [15]	38
Obr. 19) Multifunkční obráběcí centrum NT [16]	39
Obr. 20) Frézovací obráběcí centrum NH [16]	39
Obr. 21) Oblast použití různých typů CNC strojů [17]	40
Obr. 22) Procesy realizace údržby [21]	41

Obr. 23) Tříčelistové sklíčidlo – zařízení pro upínání obrobku při soustružení [13].....	43
Obr. 24) Kleština – zařízení pro upínání obrobku při soustružení [13]	43
Obr. 25) Speciální upínací přípravek pro soustružení dílců leteckého motoru [23].....	44
Obr. 26) Upínací svěrák pro frézování [24]	44
Obr. 27) Způsob upnutí pomocí nulových bodů [15].....	45
Obr. 28) Speciální upínací přípravek pro upínání ojníc pro lodní motory [23].....	45
Obr. 29) Ilustrativní příklad [vlastní zdroj]	49
Obr. 30) Schéma pro vymezení entit a jejich množin [15]	50
Obr. 31) Entity ovlivňující kvalitu obrábění [vlastní zdroj]	50
Obr. 32) Vliv okolí objektu [15]	52
Obr. 33) Ishikawa diagram [vlastní zdroj]	53
Obr. 34) Vzájemné vazby mezi entitami [vlastní zdroj].....	54
Obr. 35) Blokový diagram pro postup vypracování diplomové práce [vlastní zdroj].....	55
Obr. 36) Vývojový diagram zajištění kvality materiálu [vlastní zdroj]	59
Obr. 37) Schéma systému řízení [vlastní zdroj]	63
Obr. 38) Výkres tělesa statoru [vlastní zdroj]	64
Obr. 39) Mapa procesu obrábění [vlastní zdroj]	66

11.3 Seznam zkratk

ČSN	česká technická norma
EN	evropská norma
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci
TQM	celkové řízení kvality
AS	letecký standard
PDCA	cyklus neustálého zlepšování (plánuj – dělej – kontroluj – jednej)
QMS	systém řízení kvality
8M	osm potenciálních příčin výrobního problému
SIPOC	metoda pro mapování procesu z metodiky Six Sigma
FMEA	analýza způsobů a důsledků poruch
CL	centrální přímka regulačních diagramů
UCL	horní regulační mez regulačních diagramů
LCL	dolní regulační mez regulačních diagramů
RPN	číslo priority rizika
CNC	počítačově řízený obráběcí stroj

PLC	mezičlánek mezi mechanickou částí a CNC řízením
MFOC	multifunkční obráběcí centrum
TPM	totálně produktivní údržba, filozofie údržby
HFM	vysokoposuvová strategie obrábění
HSC	vysokorychlostní strategie obrábění
EASA	agentura Evropské unie pro bezpečnost v letectví
ICAO	mezinárodní organizace pro bezpečnost v letectví
KPI	klíčové ukazatele výkonnosti
OTK	oddělení technické kontroly
P_i	hodnota i-tého podílu
n	počet činností vycházejících ze SIPOC v rámci jednoho procesu
RPN_i	hodnota i-tého RPN vycházející ze FMEA analýzy
K_{ij}	hodnota koeficientu i-tého kritéria pro j-tou variantu
Z_{ij}	hodnota známky i-tého kritéria pro j-tou variantu
Z_{imin}	nejnižší hodnota známky i-tého kritéria všech variant
DH_{ij}	hodnota dílčího hodnocení i-tého kritéria pro j-tou variantu
V_i	hodnota váhy i-tého kritéria
F_i	hodnotící funkce

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	FMEA analýza kritických procesů
Příloha 2	Metoda Pattern pro těleso statoru, op. 60 a 70
Příloha 3	Metoda Pattern pro těleso statoru, op. 90 a 100