



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

ÚSTAV MANAGEMENTU

INSTITUTE OF MANAGEMENT

VYUŽITÍ METODY FMEA VE STROJÍRENSKÉM PODNIKU

APPLICATION OF FMEA METHOD IN ENGINEERING COMPANY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Herynek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. et Ing. Pavel Juřica, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav managementu
Student:	Michal Herynek
Studijní program:	Procesní management
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. et Ing. Pavel Juřica, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává bakalářskou práci s názvem:

Využití metody FMEA ve strojírenském podniku

Charakteristika problematiky úkolu:

Úvod
Vymezení problému a cíle práce
Teoretická východiska práce
Analýza problému a současné situace
Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

Cíle, kterých má být dosaženo:

Cílem práce je vypracování procesní analýzy FMEA pro nový technologický proces výroby za účelem předcházení možných selhání procesu.

Základní literární prameny:

BLECHARZ, P. Základy moderního řízení kvality. Praha: Ekopress, 2011. ISBN 978-80-86929-75-0.

JUROVÁ, M. Výrobní procesy řízené logistikou. Brno: BizBooks, 2013. ISBN 978-80-265-0059-9.

Moderní plánování kvality produktu (APQP) a plán kontroly a řízení: referenční příručka. 2. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2009. ISBN 978-80-02-02142-1.

OAKLAND, J. S. Total quality management: the route to improving performance. 2nd ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 1995. ISBN 978-0750609937.

PLURA, J. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. Praha: Computer Press, 2001. Praxe manažera. ISBN 80-7226-543-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně dne 29.2.2020

L. S.

doc. Ing. Robert Zich, Ph.D.
ředitel

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Bakalářská práce se zaměřuje na využití kvalitativní metody FMEA v konkrétním strojírenském podniku a na konkrétním procesu, ve kterém dochází k inovaci a na základě aplikace metody je cílem předejít možné budoucí chybovosti.

Abstract

The bachelor's thesis focuses on the application of FMEA method in concrete engineering company on concrete process, which is going to be innovated and with using FMEA method is goal to prevent possible future failure.

Klíčová slova

FMEA, řízení kvality, řízení rizik, procesní řízení, strojírenský podnik, elektromotor

Key words

FMEA, quality management, risk management, process management, engineering company, electric motor

Bibliografická citace

HERYNEK, Michal. Využití metody FMEA ve strojírenském podniku [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127202>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav managementu. Vedoucí práce Pavel Juřica.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 12. května 2020

.....

podpis autora

Poděkování

Mé díky patří především mému vedoucímu, panu Ing. et Ing. Pavlu Juřicovi Ph.D., za jeho cenné rady a odborné vedení práce, Ing. Josefu Kuchlerovi konzultace a rady odborníka na danou problematiku, Ing. Michalu Průšovi a Ing. Jaroslavu Hamplovi za poskytnutí mnoha cenných dat z praxe.

Obsah:

1.	Teoretická východiska práce	10
1.1	Procesy a procesní řízení.....	10
1.2	Kvalita	12
1.2.1	Normy kvality	14
1.2.2	Řízení kvality	15
1.2.3	Plánování jakosti.....	16
1.2.4	Zlepšování kvality.....	22
1.3	Risk management	28
1.4	FMEA.....	31
1.4.1	Obecná definice FMEA	31
1.4.2	Postup modelování FMEA-P	32
2.	Analýza problému a současné situace	38
2.1.	Popis podniku.....	38
2.2.	Popis elektromotoru	41
2.2.1.	Obecná charakteristika elektromotoru	42
2.2.2.	Výčet základních částí elektromotoru.....	42
2.3.	Elektromotory v konkrétním podniku.....	43
2.4.	Technologický postup obrábění štítu elektromotoru.....	45
2.5.	Výchozí situace	47
2.5.1.	Data výchozí situace	47
2.5.2.	FMEA před zavedením nového stroje do provozu	48
3.	Vlastní návrhy řešení	52
3.1.	Nová procesní FMEA pro proces obrábění štítu novým strojem Heller.....	52
3.2.	Stanovení hranice RPN pro kritické vady	54
3.3.	Popis nové procesní FMEA a identifikovaných kritických možných vad.....	54

3.4. Přínos návrhů zlepšení	62
Závěr	65
Seznam použité literatury	66
Seznam použitých obrázků	68
Seznam použitých tabulek	69

Úvod

Téměř v každém středním či velkém podniku v dnešní době najdeme buď jednotlivé pracovníky, nebo celá oddělení, které se zabývají kvalitou a jejím řízením. Quality management, jak se mezinárodně toto odvětví označuje, tvoří speciálně vyškolení pracovníci využívající nenovější kvalitativní metody, normy a certifikáty. Může jít o prevenci, tedy vyhodnocení a předcházení rizik, souběžné kontroly procesů v průběhu aktivit (např. interní audity) či následné kontroly, vyhodnocování silných a slabých stránek a neustálé zlepšování kvality v podniku. K tomu všemu existuje (a v praxi se využívá) mnoho nástrojů a metodik, o kterých bude v této bakalářské práci minimálně zmínka, nicméně největší důraz bude kladen na metodu užívanou k prevenci, tedy identifikaci a předcházení možných rizik v procesu, a to na metodu „*Failure Mode and Effects Analysis*“, do češtiny překládané jako „analýza možného výskytu a vlivu vad“ a zkráceně FMEA. Konkrétně je z důvodu charakteru práce a specifických potřeb řešené problematiky vybrána procesní FMEA.

Bakalářská práce je rozdělena do tří hlavních částí, a to teoretická východiska práce jako část první, analýza současného stavu jako část jako druhá, a nakonec část praktická, tedy návrh vlastního řešení.

V části teoretických východisek obecně nastiňuji pozadí problematiky, z odborné literatury citované nezbytné informace, fakta a pojmy nezbytné k porozumění práci jako celku. V případě zaměření bakalářské práce na metodu procesní FMEA jsou tedy v teoretické části rozpracovány pojmy jako proces obecně, procesní řízení, kvalita, příslušné normy, plánování jakosti, zlepšování kvality a její metody, řízení rizik a konečně pojem FMEA z pohledu odborné literatury, tedy obecná definice a pravidla jejího modelování.

Analytická část následně popisuje a analyzuje výchozí situaci a kontext řešené problematiky a okolnosti s ní spojené. Zvolenou problematikou je změna výrobní technologie způsobená nákupem nového technického zařízení výrobní linky v podniku vyrábějící elektromotory. Konkrétně se jedná o nový obráběcí stroj, jež nahrazuje zastaralý stroj sloužící k obrábění štítů elektromotoru. Detailnější informace se nacházejí v příslušné části bakalářské práce, včetně popisu výrobku (v mém případě elektromotoru) v rozsahu potřebném pro orientaci a porozumění problematiky, základního popisu

podniku jako takového, technologického postupu obrábění štítu ve stávajících podmínkách a výchozí aplikace metody FMEA před uvedením nového stroje do provozu. V analytické části je tedy popsáno, co je řešeno, proč je to řešeno, jak a jaké jsou očekávané cíle.

A konečně v závěrečné části, tedy části s návrhem vlastního řešení, je vypracována a krok po kroku vysvětlena a popsána vlastní FMEA, kde tým, složený z odborníků z podniku a mě, přinášejícího pohled laického účastníka a zastupujícího hlas zákazníka, identifikuje rizika a tím předchází možným kvalitativním selháním. Vypracování procesní FMEA má ekonomický i kvalitativní dopad, který je v třetí části práce také uveden.

Vymezení problému a cíle práce

Řešeným problémem, v případě této bakalářské práce, je změna výrobního technologického postupu při obrábění štítu elektromotoru v podniku jejich produkcí se zabývajícím a s tím spojená tvorba nové procesní FMEA. Změna je z důvodu nahrazení starého obráběcího stroje novým na oddělení obrobny.

Za provozu starého stroje byla procesní FMEA také zpracována, ovšem pro účely nového stroje je nedostatečná jak z hlediska kvalitativního, tak i kvantitativního (rozsahem). Proto se tato práce zabývá tvorbou nové FMEA, která bude splňovat aktuální požadavky.

Cíle práce tedy jsou:

A) Hlavní

- vypracování nové procesní FMEA pro nový typ obráběcího stroje a uvedení do provozu, nalezení možných selhání procesu, identifikace nejrizikovějších možných vad a návrh jejich preventivních opatření

B) Dílčí

- porovnání výstupních dat provozu stroje starého (typ Emcoturn) a nového (typ Heller) s očekávaným výsledkem v podobě snížení zmetkovitosti a úspory jak časové, tak i finanční
- v průběhu vypracování FMEA dochází k procházení řešeného procesu od začátku až do konce, je možné se tedy zamýšlet nad logickou posloupností a technologickým řešením každé činnosti, zda je řešena nejoptimálnějším možným způsobem

1. Teoretická východiska práce

V následující části jsou dle odborné literatury vysvětleny a rozpracovány pojmy nezbytné pro komplexní porozumění problematice, na které je implementováno vlastní řešení.

1.1 Procesy a procesní řízení

Proces je obecně sled určitých činností, při nichž, za pomoci lidského faktoru, vzniká hodnota, ať už je to výrobek nebo služba. Obecnou definici procesu určuje norma ISO 9000, kde je proces charakterizován jako „soubor vzájemně souvisejících nebo vzájemně působících činností, který přeměňuje vstupy na výstupy“. V odborné literatuře můžeme nalézt mnoho různých dalších definic, z nichž bych, jako příklad, uvedl dva různé pohledy na proces.

„Procesní tok je sled kroků (činností, událostí, nebo interakcí), který představuje postupně rozvíjející se proces, zapojuje do spolupráce alespoň dvě osoby a vytváří určitou hodnotu pro zákazníka, jemuž má sloužit, nebo příspěvek pro podnik, v němž se uskutečňuje.“

(Svozilová, 2011, s. 15)

„Proces je série logicky souvisejících činností nebo úkolů, jejichž prostřednictvím – jsou-li postupně vykonány – má být vytvořen předem definovaný soubor výsledků.“

(Svozilová, 2011, s. 14)

První z definic se na proces dívá z pohledu vývoje v čase, zatímco druhá pracuje spíše s účelem procesu, tedy vytváření hodnot pro zákazníka.

Pokud se rozhodneme pracovat s procesy a popisovat je, musíme shromažďovat všechny informace o nich, jejich vzájemných vztazích a vazbách, parametrech (časové, výkonnostní, kvalitativní), podpůrných systémech nebo rolích. V případě zlepšování

procesů musíme brát v úvahu také informace v podobě požadavků na změny a implementačních plánů. Při takové práci, tedy zkoumání či popisování procesů, lze využít mnoha různých nástrojů, jako například:

- *diagramy*
- *popisné soubory*
- *simulační programy*
- *analytické a statistické nástroje*

(Svozilová, 2011, s. 14)

Dalším důležitým termínem je procesní řízení. To lze chápat jako souhrn činností k usměrňování procesních toků, kontrolu výkonosti a kvality, hodnocením a srovnáváním skutečných výsledků s plánem a případnou optimalizací procesu. Příklad možné definice procesního řízení z mnoha, uváděných v literatuře, může znít:

„Řízení procesu je činnost, která využívá znalostí, schopností, metod, nástrojů a systémů k tomu, aby identifikovala, popisovala, měřila, řídila, hodnotila a zlepšovala procesy se záměrem efektivního pokrytí potřeb zákazníka procesu.“

(Svozilová, 2011, s. 18)

Procesy ve výrobním podniku jsou řízeny výrobním managementem, který zajišťuje pro podnik ekonomicky optimální proces, tedy optimální vztah ke zhodnocení vstupů. Při tvorbě takového procesu se management musí věnovat několika podmínkám existence a úspěšnosti optimálního procesu, tedy:

- *Kvalitě výrobního managementu*
- *Stupni rozvoje techniky/ technologie*
- *Finančním možnostem podniku*
- *Omezením v pořízení či využívání produkčních faktorů*
- *Výkonům pracovní síly a výrobních zařízení*

- *Vlivu okolí (bezpečnostní předpisy, ochrana environmentu, legislativní předpisy atd.)*

(Jurová a kol., 2013, s. 17)

Cíle takového procesu, který je pro podnik ekonomicky výhodný, se dají rozdělit do tří kategorií:

- 1) Věcné cíle – zhotovení samotného produktu/ výrobu nebo poskytnutí služeb
- 2) Hodnotové cíle – naplnění potřebných hospodářských výsledků
- 3) Humánní cíle – průběh procesu za realizace podnikových a společenských snah

(Jurová a kol., 2013)

V definici řízení procesu byl použit pojem „zlepšování procesu“. To je činnost, zkoumající průběh procesů a odhalování příčin problémů s chodem, produktivitou nebo kvalitou procesů. Publikace, ze které byly použity definice uváděné v této kapitole, vykládá zlepšování procesů jako:

„Zlepšování podnikových procesů je činností zaměřenou na postupné zvyšování kvality, produktivity nebo doby zpracování podnikového procesu prostřednictvím eliminace neproduktivních činností a nákladů.“

(Svozilová, 2011, s. 19)

Z této definice je pro nás, vzhledem k charakteru práce, nejpodstatnější termín „zvyšování kvality“. Jemu, a pojmů s ním spojených se bude věnovat celá následující kapitola.

1.2 Kvalita

Obecná definice kvality je obsažena v mezinárodní normě ISO 9000, která uvádí, že: *„Kvalita (jakost) je stupeň splnění požadavků souborem inherentních znaků“*. Inherentní

znak v definici je znak takový, který tvoří reálnou podstatu výrobku, služby nebo procesu, kterou zákazník požaduje. Ostatní znaky jsou tzv. znaky přiřazené. Jiné běžně dostupné definice kvality ji vykládají jako míru, s jakou soubor vlastních charakteristik splňuje požadavky.

(Blecharz, 2011)

Jakost je technická, ekonomická a sociální veličina, která v sobě zahrnuje i morální aspekty:

- Technická veličina: produkt musí dosahovat optimálních hodnot svých technických parametrů, jedině tehdy bude plnit všechny požadované funkce po celou dobu užívání.
- Ekonomická veličina: zákazník, tedy konečný posuzovatel produktu hodnotí nejen kvalitu, respektive úroveň řešení jeho problému, ale také náklady spojené s pořízením a užíváním
- Sociální veličina: společenské potřeby se v čase mění. Dochází ke změně společenských podmínek a ekonomickému a společenskému vývoji. To vše se odráží v požadavcích zákazníka na kvalitu. Jakost lze tedy popisovat jako dynamickou veličinu, měnící se v závislosti na společensko-ekonomických podmínkách.
- Veličina s morálními aspekty: Výrobce by se měl snažit vyrábět produkty s parametry dosahující nominálních cílových hodnot. Nejlepším morálním a ekonomickým výstupem je nulový počet vad.

(Blecharz, 2011)

Kvalitu produktu posuzujeme na základě inherentních znaků, které se někdy mohou označovat jako charakteristiky nebo znaky kvality. Na jejich základě vyjadřujeme úroveň jakosti, kterou následně můžeme srovnávat s:

- *Standardy (např. závazné předpisy, podnikové normy)*
- *Požadavky zákazníka*
- *Konkurencí (hodnoty charakteristik konkurenčního podniku)*

(Blecharz, 2011, s. 10)

Charakteristiky mohou být jak měřitelné, tedy konkrétní vlastnosti jako teplota, tlak, váha atd., ale také neměřitelné, u kterých se používá subjektivní hodnocení, například estetické vlastnosti výrobku.

1.2.1 Normy kvality

Kvalita musí být zabezpečena ve všech fázích procesu, tedy v předvýrobních etapách, při samotné výrobě, při dokončení (výstupní kontrola), při užívání nebo i při likvidaci. K tomu se využívá systémový přístup, pojmenovaný jako TQC (total quality control), česky „celopodnikové řízení jakosti“. Z toho vyplývá celý směr managementu TQM (total quality management), tedy kompletní řízení jakosti. Původně americké myšlenky rozvíjené v 60. letech 20. století japonskými firmami jsou základem mezinárodních norem, které z nich byly koncem 80. let vypracovány a které dnes známe jako normy ISO řady 9000. Základní obecně uznávanou normou v oblasti kvality výroby a služeb je dnes EN ISO 9001. Normy jsou pravidelně, v určitých časových cyklech revidovány. Poslední revize proběhla v roce 2015, jejíž česká mutace vyšla v roce 2016

(Blecharz, 2011)

Česká republika přejímá mezinárodní normy ISO do vlastní normalizační soustavy ČSN. Základní normy kvality jsou v ní pod stejným číselným označením, tedy 9000, 9001 a 9004. Do názvu se přidává i EN, tedy evropská norma a rok vydání. Kompletní názvy základních jakostních norem dohledatelných v české normalizační soustavě zní ČSN EN ISO 9000:2016 (slovník pojmů), ČSN EN ISO 9001:2016 (je kritériální, probíhají podle ní certifikace) a ČSN EN ISO 9004:2016 (doporučující norma pro udržitelný rozvoj).

(Blecharz, 2011)

„Moderní přístup k managementu kvality je zejména v Evropě založen na normativním přístupu, kdy se zjišťuje, zda systém vyhovuje požadavkům dané normy. Tato shoda se ověřuje pomocí tzv. certifikačního auditu, který provádí nezávislá třetí strana

(certifikační orgán, který je pro tuto činnost akreditován. Druhou možností je přístup TQM (není certifikovaný).“

(Blecharz, 2011, s. 18)

1.2.2 Řízení kvality

Podle normy ČSN EN ISO 9000:2016 je pod termínem management kvality definováno, že je to „management s ohledem na kvalitu“. O něco obsáhlejší definici učinil Masao Umeda, prezident společnosti Nishisiba Electric Co Ltd. Ten management kvality definoval jako:

„Část celopodnikového řízení, která má garantovat maximální spokojenost a loajalitu zákazníků tím nejefektivnějším způsobem“

Moderní management kvality má podle Jaroslava Nenadála čtyři základní funkce, které uvádí ve své publikaci „Management kvality pro 21. století“. Těmito funkcemi jsou:

- 1) Maximalizovat spokojenost a loajalitu zákazníků (ale i dalších zainteresovaných stran)*
- 2) Minimalizovat výdaje s tím spojené*
- 3) Kultivovat prostředí podněcující neustálé zlepšování, inovace a změny*
- 4) Vytvářet bázi pro excelenci organizací*

(Nenadál, 2018, s. 18)

V dnešní době je několik možných přístupů k managementu kvality. V publikaci „Základy moderního řízení kvality“ Pavel Blecharz přístup dělí mezi tři možnosti, které ovšem, jak uvádí, se v praxi často užívají ve vzájemné kombinaci. Tři možné přístupy podle Blecharze jsou:

- 1) Ryze vlastní přístup – používají ho většinou velké nadnárodní firmy, které si lety praxe vybudovali svůj vlastní přístup, který se mnohdy prolíná s „učebnicovými“ definicemi TQM.
- 2) Systém na bázi standardů – standardy můžeme chápat široké spektrum dat, ať už jsou to mezinárodní normy ISO (např. ISO 9000) nebo třeba odvětvové normy v určitých odvětví (automobilový průmysl, potravinářský průmysl atd.).
- 3) Systém na bázi TQM či jiných forem komplexního řízení – přístup vychází z TQM (případně jeho evropského modelu EFQM). Tento přístup klade důraz na lidi v organizaci, ekonomiku kvality, ale také nezapomíná na neustálé zlepšování kvality.

(Blecharz, 2011)

1.2.3 Plánování jakosti

Dalším nezbytným procesem jakosti, při dosahování její požadované úrovně, je její plánování. Norma ISO 9000 definuje plánování jakosti jako „část managementu jakosti zaměřená na stanovení cílů jakosti a specifikaci nezbytných procesů a souvisejících zdrojů pro jejich splnění“.

Plánování jakosti je v dnešním světě důležité pro udržení konkurenceschopnosti firem. Význam souvisí s trendem posunu managementu jakosti od strategie detekce k strategii prevence, která je ekonomičtěji výhodnější, jelikož k neshodám nemusí vůbec docházet a nemusí být tak řešeny. Dalším trendem je přesun péče o jakost z fáze výroby, na což byl většinový důraz v dřívějších dobách, spíše do fáze vývoje a jiných předvýrobních etap, kde se vytváří hlavní koncepce výrobku a přijímají se podstatná rozhodnutí a které rozhodují, zda výrobek splní očekávání zákazníka, bude konkurenceschopný a bude firmě generovat zisk.

(Plura, 2001)

Výstupem procesu plánování jakosti, ve kterém jsou definovány cíle a metody, by měl být postup vhodný k jejich dosažení. Cílem jsou zde myšleny kvantifikované údaje o

znacích jakosti, které jsou k danému termínu vyžadovány. Měly by být srozumitelné, reálné, optimalizující celkový výsledek a ekonomické.

Dle Jiřího Plury, autora publikace „Plánování a neustále zlepšování kvality“ je plánování jakosti žádoucí zejména v těchto situacích:

- *V průběhu vývoje nových výrobků nebo procesů*
 - *Před změnami výrobků nebo procesů*
 - *Jako odezva po zjištění nedostatků v jakosti výrobků či procesů*
- (Plura, 2001, s. 3)

A důvody, proč plánovat kvalitu, shrnuje Plura do těchto bodů:

- *Plánování jakosti zásadním způsobem rozhoduje o spokojenosti zákazníků*
 - *Plánováním jakosti se předchází vzniku neshod při realizaci výrobku a jeho užívání*
 - *V předvýrobních etapách, ve kterých se plánování jakosti nejvíce realizuje, vzniká nejvíce chyb (neshod)*
 - *Odstraňování neshod v průběhu plánování jakosti výrobku vyžaduje jen zlomek nákladů nezbytných k odstraňování neshod v průběhu realizace a užívání výrobku*
 - *Uplatňováním metod a postupů plánování jakosti organizace prokazuje, že využila všech prostředků k prevenci nehod a dosažení spokojenosti zákazníků, a tak zvyšuje důvěru zákazníků ve výrobky organizace*
 - *Správná realizace plánování jakosti je důležitým atributem konkurenceschopnosti organizace*
- (Plura, 2001, s. 6-7)

V rámci plánování jakosti je obsaženo velmi široké spektrum různých aktivit, jejichž prostřednictvím se stanovují a dosahují cíle. Jako několik příkladů činností aktivit plánování jakosti lze uvést:

- *Stanovení cílů jakosti a jejich rozpracování v organizaci*
- *Plánování systému managementu jakosti*
- *Zpracování plánu jakosti pro určitou zakázku*
- *Plánování přípustných tolerancí znaků jakosti*
- *Plánování metod, které budou použity pro dosažení požadované jakosti výrobků*
- *Plánování preventivních opatření s cílem minimalizovat riziko vzniku problémů*
- *Plánování způsobu ověřování úspěšnosti jednotlivých fází životního cyklu výrobku*
- *Plánování informačních zdrojů a toku informací*
- *Plánování finančních zdrojů a kapacit*
- *Plánování personálního zabezpečení*
- *Plánování aktivit zlepšování jakosti*

(Plura, 2001, s. 4)

Jedním z výstupů plánování jakosti bývá i psaný report, v němž by mělo být definováno:

- Delegování odpovědnosti a řídicích pracovníků v různých fázích projektu
- Specifikování způsobů, metod a postupů, které budou aplikovány
- Vhodná kontrola, testování a způsoby provádění auditů pro všechny fáze
- Metody změn a úprav v plánu v průběhu projektu

(Oakland, 1995)

1.2.3.1 Plánování jakosti výrobků postupem APQP

Jednou z možností aplikace plánování kvality je metodika APQP, což je zkratka pro Advanced Product Quality Planing and Control Plan. Jedná se o „strukturovanou metodu

definování a zavedení kroků nutných k zabezpečení spokojenosti zákazníka s výrobkem“. Zmíněná struktura metodiky je rozdělena do pěti fází:

1) Plánování a definování programu

- Prvotní fáze plánování kvality výrobku, která má zajistit úplně pochopení a naplnění potřeb a požadavků zákazníka. Všechny aktivity v této fázi musí brát ohled na zákazníka a na cíl poskytnout mu výrobky a služby kvalitnější, než je tomu u konkurence. Výstupem této fáze jsou přesně definované měřitelné cíle.

2) Návrh a vývoj výrobku

- Ve druhém kroku by se měly zajistit veškeré technické požadavky výrobku s ohledem na všechny možné vlivy a faktory. Jako vstupy se využívají výstupy předchozí fáze a výstupy této konkrétní fáze jsou rozděleny na „výstupy útvarů odpovědných za návrh“, kam spadá například analýza možností vzniku vad a jejich následků (FMEA) či technologičnost návrhu a na „výstupy týmu plánování jakosti výrobku“, což mohou být požadavky na nová zařízení, nářadí, vybavení nebo měřících a zkušebních přístrojů.

3) Návrh a vývoj procesu

- Nyní se navrhuje hlavní znaky výrobního systému, který musí naplnit požadavky a očekávání zákazníka. Vstupy opět odpovídají výstupům fáze předchozí a výstupy mohou být vývojové diagramy, interní normy výroby nebo pracovní instrukce.

4) Validace výrobku a procesu

- Validace se provádí na základě vyhodnocení ověření výroby, kdy dochází ke kontrole procesu a správnosti jeho průběhu tak, jak byl navrhnut, k ověření kontrol dle kontrolních plánů atd. Vstupy, jako obvykle, jsou výstupy předešlého kroku a výstupy mohou být různá vyhodnocení (např. systému měření), studie nebo validační zkoušky.

5) Vyhodnocení zpětné vazby a nápravná opatření

- Poslední fáze plánování jakosti podle APQP již zasahuje do výrobní fáze výrobku, kdy bývají sledovány výstupy procesu při působení všech

možných vlivů a zároveň může být hodnocena efektivnost plánování jakosti výrobku s využitím dat z reálné výroby.

(Plura, 2001)

Tento postup ale většinou nebývá realizován postupně, spíše se jednotlivé kroky vzájemně překrývají, například s vývojem nového výrobku často probíhá souběžně navrhování s ním spojeného procesu.

Hlavní přínosy metodiky APQP vidí Plura v těchto čtyřech bodech:

- *Orientuje zdroje na uspokojování zákazníka*
- *Podporuje včasné odhalení potřebných změn (koncepte včasné výstrahy)*
- *Předchází pozdějším změnám*
- *Pomáhá vytvářet výrobky dobré jakosti včas a s nejnižšími náklady*

(Plura, 2001, s. 17)

1.2.3.2 Metody plánování jakosti

Metod, jak zlepšovat kvalitu v podniku je hned celá řada. Stěžejní metodou, kterou se tato bakalářská práce zabývá je metoda FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). Ta, kvůli svému významu pro práci, bude hlouběji vysvětlena a rozpracována v samostatné kapitole. Tato podkapitola slouží k prezentaci a stručnému popisu několika vybraných metod, které lze taktéž použít k plánování jakosti. Příklady metod jsou převzaty z publikace „Plánování a neustálé zlepšování jakosti“ od Jiřího Plury.

- QFD (Quality Function Deployment) - Metoda využívající principu maticového diagramu, která spojuje souvislosti mezi tím, „CO“ je potřeba udělat a „JAK“ je to potřeba udělat. Postupně pomáhá transformovat požadavky zákazníků do konkrétních znaků jakosti, ty pak do znaky jakosti dílů, znaky jakosti dílů do parametrů procesu, ty se následně transformují do výrobních instrukcí atd.

- Analýza stromu poruchových stavů – Metoda FTA (Fault Tree Analysis) - Metoda využívaná pro analýzu spolehlivosti složitých systémů. Logickým rozkladem potenciálně nebezpečné události, například poruchy, na menší, tzv. elementární události a odhadem pravděpodobností výskytu těchto elementárních událostí je možné dojít k pravděpodobnosti výskytu nebezpečné události a díky tomu upravit proces tak, aby se pravděpodobnost výskytu této události co nejvíce snížila.
- Afinitní diagram – Někdy také „diagram příbuznosti“ nebo „shlukový diagram“. Využívá se k uspořádávání velkého množství informací o určitém problému. Ty se s využitím afinitního diagramu třídí do přirozených skupin a objasňuje strukturu řešených problémů. Nejdříve se musí jednoznačně vymezit problém, ke kterému sestavený tým pomocí brainstormingu přináší náměty, které mohou přispět k řešení problému. Čím více námětů, tím větší pravděpodobnost, že se mezi nimi vyskytuje relevantní varianta řešení. Takto získané náměty se následně rozšiřují o další potřebné informace nebo například připomínky odborníků. Kompletní náměty se v dalším kroku seskupují do skupin, které se v závislosti na společných znacích relevantně pojmenují tak, aby je název výstižně charakterizoval. Afinitní diagram pak všechny náměty roztržené do skupin přehledně zobrazuje, současně s jejich vzájemnými vazbami. Takový diagram je živým záznamem, který je připraven k dalším úpravám a doplňování o nově zjištěné náměty. Tato metoda pomáhá k hlubšímu pochopení řešeného problému.
- Diagram vzájemných vztahů – Tento model, někdy také zvaný relační diagram, identifikuje logické nebo příčinné souvislosti mezi jednotlivými náměty přispívající k řešení problému. Využití najde zejména u složitých problémů, charakterizovaných logickými a příčinnými vazbami. Jako výchozí údaje mohou posloužit například náměty vytvořené při tvorbě afinitního diagramu, proto je dobré tuto metodu aplikovat v kombinaci právě se zmíněným diagramem. Pro urychlení se využívá spíše pouze skupin, které byly v afinitním diagramu vytvořeny než samotných jednotlivých námětů. V průběhu diagramu vzájemných vztahů ale samozřejmě lze přidávat do skupin další náměty. Cílem metody je

zaznamenávat logické či příčinné souvislosti mezi jednotlivými náměty (skupinami) navzájem, nebo mezi náměty a řešeným problémem. To se dá vizuálně zobrazit například nakreslenými šipkami od příčiny k následku v případě příčinné vazby, nebo od východiska k následku v případě logické. Podobně vizuálně lze zobrazit i vztah k řešenému problému. Všechny šipky vystupující z námětu nebo do něho vstupující se potom spočítají pro každý námět zvlášť. Tím se zjistí, kolikrát byl konkrétní námět východiskem, příčinou nebo následkem ve vztahu s ostatními (nebo řešeným problémem). Námět, od kterého vede nejvíce šipek pak představuje klíčové východisko nebo příčinu. Současně jsou viditelné všechny náměty úzce spjaté s klíčovým východiskem (příčinou).

- Další využívané metody plánování jakosti jsou například „maticový diagram“, „síťový diagram“, „systematický diagram“ nebo „diagram PDPC“

(Plura, 2001)

1.2.4 Zlepšování kvality

Zlepšování kvality je jedno další velké téma, které je potřeba zmínit vždy, když je řeč o kvalitě v podniku. Norma ČSN ISO 9004 tuto oblast definuje jako „Opatření prováděná v celé organizaci s cílem zvýšit efektivnost a účinnost činností a procesů a poskytnout zvýšený prospěch jak organizaci, tak jejím zákazníkům“. Proces zlepšování jakosti lze obecně rozdělit do dvou možností:

- a) Plynulý proces zlepšování, jehož podstatou jsou drobné, pozvolné a neustálé změny, které vedou k efektům v dlouhodobém pohledu*
- b) Zlepšování tzv. „skoky“, při nichž dochází k viditelnému, radikálnímu zvýšení kvality a zpravidla i k okamžitému efektu*

(Plášková, 1999, s. 4)

V praxi však často dochází ke kombinaci obou směrů, kdy vytrvalým a pravidelným konáním malých kroků se dosahuje velkých změn.

Důvody, proč zlepšovat kvalitu, mohou přicházet jak zvenčí, v podobě stížností a reklamací zákazníků, státní či politické zásahy, hospodářské podmínky, tak i zevnitř podniku, kdy se impulsy rodí v oblasti vstupů nebo výstupů procesů atd.

(Plášková, 1999)

Již zmíněná norma ČSN ISO 9004 předpokládá osm základních kroků procesu zlepšování procesů, které uvádí i Alena Plášková ve své publikaci „Metody a techniky analýzy a zlepšování kvality“:

- 1) Zainteresování celé organizace – vybudování povědomí o kvalitě napříč celou organizací, zavedení motivačních nástrojů podporující ochotu zlepšovat. Nutností úspěchu je poskytnutí dostatečného prostoru (pravomoci, odpovědnosti, prostředky) a potřebných informací.
- 2) Podněty k zahájení projektů nebo činností spojených se zlepšováním kvality – zlepšování musí mít řád a posloupnost, nelze vše zlepšovat najednou. To, v jakém pořadí bude zlepšování v organizaci probíhat, závisí na vnitropodnikovém srovnáním priorit. K tomu je potřeba přesně definovat prokazatelné argumenty (jako jsou například konkrétní čísla: ztráty, reklamace atd.), popsat objekt zlepšování, stanovit cíl, prostředky, odpovědnosti a časový plán.
- 3) Vyšetřování možných příčin – řešené situace jsou vždy vyústěním souboru daných příčin. Proto je nutné shromáždit a podle předem daných pravidel utřídit všechny potřebné informace a data. Díky správnému provedení tohoto kroku lze maximalizovat žádoucí efekt všech následných rozhodnutí.
- 4) Zjišťování souvislostí příčina – následek – Správné opatření lze stanovit pouze za předpokladu důkladného porozumění a pochopení objektu zlepšování a uspořádání získaných informací ve vzájemných souvislostech.
- 5) Přijímání preventivních opatření nebo opatření k nápravě – Zjištěné příčiny mohou být odstraněny zavedením nápravných nebo preventivních opatření.

- a. *Nápravné opatření – opatření vykonané k odstranění příčin existující neshody, vady nebo jiné nežádoucí situace za účelem zabránění výskytu*
- b. *Preventivní opatření – opatření vykonané k odstranění příčin potenciální neshody, vady nebo jiné nežádoucí situace za účelem zabránění výskytu*

Tyto opatření vyplívají z analýzy situace. Pro zvolená opatření je nutné nastolit potřebné podmínky a zpracovat dokumentaci.

- 6) **Potvrzování zlepšení** – Všechny údaje z průběhu zlepšovacího procesu je důležité shromažďovat a analyzovat, jelikož na základě nich je pak možné potvrdit dosažení námi stanovených cílů. V případě, že informace vyvracejí naše předpoklady nebo signalizují jiné negativní dopady, je potřeba proces začít znovu, opět definovat objekt zlepšování a navrhnout i následné kroky.
- 7) **Zachování přínosů** – Pokud nám informace potvrdí dosažení plánovaného záměru, je nutné udělat vše pro zachování stavu, aby proces opět neupadl do výchozího stavu. Předpokladem pro to je trvalá změna dokumentace a postupů organizace, zapracování všech zainteresovaných stran atd.
- 8) **Pokračování ve zlepšování** – Dosažení cíle v podobě zlepšení jednoho konkrétního objektu zájmu zlepšování kvality nekončí. Pro každý podnik je důležité mít na mysli princip neustálého zlepšování.

(Plášková, 1999)

1.2.4.1 Metody zlepšování kvality

Přestože to není hlavní náplní této bakalářské práce, bylo by dobré uvést alespoň nějaké metody, které se využívají při zlepšování kvality. Proto bych na následujících řádcích představil alespoň dvě, které jsou v dnešní době podniky hojně využívány, a to metodu Kaizen a Six sigma.

1) Kaizen

Kaizen je kvalitativní metoda. Slovo pochází z japonštiny a znamená „zlepšení“ nebo „změna k lepšímu“. Používá se při zlepšování procesů, a to hlavně ve strojírenském

průmyslu. Poprvé byla metoda použita v právě japonských firmách po 2. světové válce. Kaizen vychází z japonské firemní kultury, kde na prvním místě není zisk, ale kvalita.

Pět základních elementů Kaizenu:

- Týmová práce
- Osobní disciplína
- Vysoká morálka
- Kroužky kvality
- Zlepšovací návrhy

(Scott, 2019)

Při použití metodiky Kaizen je nutné sestavit Kaizen tým, který přístupem PDCA využívají všechny dostupné nástroje, data, informace, znalosti, odborné dovednosti a osobní schopnosti, které by se měly uvnitř týmu vzájemně doplňovat.

(Bauer, 2012)

Jedním ze základních pilířů Kaizen je odstranění plýtvání, v japonštině je to označováno slovem MUDA. To nám pomáhá identifikovat ztráty ve výrobním procesu. Kaizen zná 7 základních MUDA typů plýtvání:

- *Čekání*
- *Zásoby*
- *Transport*
- *Zmetky*
- *Chyby ve výrobě*
- *Nadprodukce*
- *Zbytečné pohyby*

(Bauer, 2012)

Když najdeme v procesu některé z těchto plýtvání, našli jsme i možnost snížit náklady a tím i zvýšit zisk.

S metodou Kaizen je úzce spojena metoda 5S. Jde o systém k dodržování pracovních standardů. Metoda, původně využívaná americkou armádou, později převzatá japonskými firmami, kde se stala součástí metody Kaizen, se skládá z pěti kroků, tedy pěti „S“, kde pro každé z nich je jeden japonský výraz. V českém překladu metoda figuruje jako 5U. Zmíněné výrazy jsou:

1. Seiri (Utřídit) – Třídění věcí na pracovišti na věci používané a zbytečné, přesněji na základě využívání na věci každodenně využívané, využívané občas a nepotřebné. Na základě, do jaké kategorie daná věc spadá se případně rozhoduje o jejím odstranění či ponechání na pracovišti.
2. Seiton (Uspořádat) – Tento krok je zaměřený na nastavení pravidel uspořádání, aby cesta k potřebným věcem trvala, pokud možno, co nejméně času. Tím dochází k zefektivnění práce.
3. Seiso (Udržovat pořádek) – Každý pracovník by měl být sám odpovědný za udržování pořádku ve svém pracovním prostředí. K tomu mohou být využity pomůcky v podobě nafocení pracoviště před a po úklidu.
4. Seiketsu (Určit pravidla) – Po dosažení kýženého stavu pomocí předchozích fází je potřeba stanovit pravidla pro udržení takového stavu. Pro co nejvyšší efektivitu pravidel by se na jejich stanovování měli podílet pracovníci i management společně. Pravidla musí být pochopitelné, srozumitelné a názorné.
5. Shitsuke (Upevňovat a zlepšovat) – Poslední krok je princip pravidelné kontroly, vyhodnocování a neustálého zlepšování. Díky tomu si pracovníci osvojí vhodné pracovní návyky, pracují systematictěji, efektivněji a odpovědněji.

(Bauer, 2012)

2) Six sigma

Původně americká metoda zlepšování kvality, umožňující společnostem zlepšit jejich úroveň pomocí plánování a kontroly každodenních aktivit, čímž dají minimalizovat náklady, průběžná doba výroby a výskyt neshod a zároveň maximalizovat spokojenost zákazníků. Je to metoda, která se orientuje na zapojení především vrcholového managementu a v podnikové hierarchii je zaváděna „shora dolů“.

Principem celé metody je dosažení způsobilosti procesů, kdy střední hodnota vybraného znaku jakosti je vzdálena minimálně šest směrodatných odchylek od nejbližší toleranční meze. Předpokladem pro to je pečlivé shromažďování údajů a statistická analýza. Cyklus získávání informací má přesně stanovený průběh, a to:

- 1) *Poznání*
- 2) *Definování*
- 3) *Měření*
- 4) *Analýza*
- 5) *Zlepšení*
- 6) *Kontrola*
- 7) *Standardizace*
- 8) *Integrace*

(Plura, 2001, s. 44)

Mezi základní charakteristické rysy strategie Six Sigma patří:

- *používání počtu vad na jednotku (dpu) a počtu vad na milion příležitostí (dpmo) jako standardního měřitelného ukazatele pro jakékoliv podnikání*
- *intenzivní výcvik pracovníků, na který navazuje ustavení projektových týmů orientovaných na zlepšování rentability, a odstraňování činností, které nepřinášejí přidanou hodnotu*
- *orientace na pracovníky organizace (garanty), kteří odpovídají za práci týmu*

- *příprava vysoce kvalifikovaných expertů na zlepšování procesů organizace, kteří umí využívat nástroje zlepšování (držitelé zeleného pásu, černého pásu nebo mistrovského černého pásu)*
- *pověřování kvalifikovaných expertů na zlepšování vedením projektových týmů (na plný úvazek)*
- *stanovení vhodných ukazatelů pro posuzování úspěšnosti změn*
(Plura, 2001, s. 43-44)

Ve výčtu charakteristických znaků je zmíněno označení expertů strategie Six sigma. Je to speciální hierarchie, kdy se jednotlivé kvalifikační úrovně označují podobnou hierarchií, jako je tomu v judu. Tyto úrovně jsou: šampion, držitel mistrovského černého pásu, držitel černého pásu, držitel zeleného pásu. Nejvyšší možný stupeň, tedy šampion, většinou drží garanti a propagátoři strategie v podniku.

Six sigma je strategie uplatnitelná na všech úrovních organizace (s různou délkou trvání). Od krátkodobých intervalů na úrovni jednotlivých procesů až po několikaleté strategie na celopodnikové úrovni.

(Plura, 2001)

1.3 Risk management

Plánování kvality by se neobešlo bez řízení rizik. Obecně se dá říct, že rizikem se rozumí pravděpodobnost výskytu události a s tím spojené nebezpečí vzniku škody, ovšem pojem riziko může být interpretováno v každé situaci každou osobou jinak. V publikaci „Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích“ od autorského dua Vladimír Smejkal a Karel Rais nabízí hned několik možných variant vysvětlení pojmu riziko. Jsou to například:

- *Pravděpodobnost či možnost vzniku ztráty obecně nezdaru*
- *Variabilita možných výsledků nebo nejistota jejich dosažení*
- *Odchýlení skutečných a očekávaných výsledků*

- *Pravděpodobnost jakéhokoliv výsledku, odlišného od výsledku očekávaného*
- *Situace kdy kvantitativní rozsah určitého jevu podléhá jistému rozdělení pravděpodobnosti*
- *Nebezpečí negativní odchylky od cíle (tzv. čisté riziko)*
- *Nebezpečí chybného rozhodnutí*
- *Možnost vzniku ztráty nebo zisku (tzv. spekulativní riziko)*
- *Neurčitost spojená s vývojem hodnoty aktiva (tzv. investiční riziko)*
- *Střední hodnota ztrátové funkce*
- *Možnost, že specifická hrozba využije specifickou zranitelnost systému*
- *Kombinace pravděpodobnosti události a jejího následku*
(Smejkal, Rais, 2013, s. 90)

S rizikem jsou vždy spojeny minimálně dvě varianty neurčitého výsledku. V praxi to znamená, že pokud jistě víme, že dojde např. ke ztrátě, nelze tak hovořit o riziku. Navíc, aby riziko naplňovalo podstatu svého významu, musí být minimálně jeden z možných výsledků nežádoucí.

Podnikatelské riziko můžeme rozdělit do dvou kategorií, a to pozitivní, kdy je naděje např. vyššího zisku a negativní, kdy naopak hrozí horší hospodářské výsledky. K těm může mít podnikatel či manažer, který má na starost řízení rizik v podniku, tři různé přístupy:

- *Averze – manažer či podnikatel s tímto přístupem se obecně rizikům vyhýbá a vyhledává spíše příležitosti, které zaručují jisté výsledky.*
- *Sklon k riziku – opak prvního přístupu, takový subjekt naopak vyhledává rizikovější příležitosti, kde je sice možno dosáhnout většího zisku, ale také může dojít k větší ztrátě*
- *Neutrální postoj – střední cesta mezi averzí a sklonem k riziku, oba přístupy jsou v rovnováze.*
(Smejkal, Rais, 2013)

Důležitým (a zároveň jedním z prvních) krokem při řízení rizik jako takových je jejich analýza (někdy také identifikace rizik). To bývá chápáno jako proces, při kterém se hrozby nejen definují, ale také se vyjádří pravděpodobnost výskytu a míra jejich dopadu na aktiva. Tento proces obsahuje:

- 1) *Identifikaci aktiv – vymezení posuzovaného subjektu a popis aktiv, které vlastní*
- 2) *Stanovení hodnoty aktiv – určení hodnoty aktiv a jejich význam pro subjekt, ohodnocení možného dopadu jejich ztráty, změny či poškození na existenci či chování subjektu*
- 3) *Identifikaci hrozeb a slabin (zranitelnosti) – určení druhů událostí a akcí, které mohou ovlivnit negativně hodnotu aktiv, určení slabých míst subjektu, která mohou umožnit působení hrozeb*
- 4) *Stanovení závažnosti hrozeb a míry zranitelnosti – určení pravděpodobnosti výskytu hrozby a míry zranitelnosti subjektu vůči dané hrozbě*
(Smejkal, Rais, 2013, s. 95)

Hned v návaznosti na tento proces je nasnadě vyhodnocení identifikace rizik. To zahrnuje:

- 1) *Posoudit dopady naplnění hrozeb na konkrétní aktiva a na činnost organizace jako takové.*
- 2) *Stanovit úroveň rizik.*
- 3) *Rozhodnout, zda jsou rizika vzhledem ke svým úrovním akceptovatelná, či nikoliv.*
(Smejkal, Rais, 2013, s. 96)

Po vysvětlení pojmu riziko je ještě potřeba nastínit pojem „řízení rizik“. Obecně se jedná o proces, při němž se subjekt odpovědný za řízení rizik snaží zabránit působení buď již existujících, nebo možných budoucích faktorů. V závislosti na nich, na důkladné analýze rizik a na zvážení dalších faktorů (ekonomických, technických, politických, právních atd.) pak navrhuje taková opatření (preventivní nebo regulační), která snižují dopady nežádoucích vlivů, a naopak umocňují dopady vlivů pozitivních.

Management k řízení rizik využívá buď princip zpětné vazby (reaktivní strategie) nebo predikační vazby (proaktivní strategie).

(Smejkal, Rais, 2013)

Jednou z metod predikační vazby řízení rizik je i tzv. „Failure Mode and Effects Analysis“, do češtiny překládané jako „analýza možného výskytu a vlivu vad“ a zkráceně FMEA. Té se bude věnovat následující kapitola.

1.4 FMEA

1.4.1 Obecná definice FMEA

Failure Mode and Effects Analysis, tedy „analýza možného výskytu vad“, je metoda k analýze, prevenci a návrhu možnosti řešení rizik vzniku vad. Od roku 1992 je metoda převzata do souboru českých norem ČSN IEC 812. V rámci ní se vady nejen odhalují, definují a hledají jejich příčiny, ale také dochází k číselnému ohodnocení významu, pravděpodobnosti výskytu a míry dopadu. Pomoci korektně číselně ohodnotit tyto oblasti pomáhají tabulky, které udávají, v jakých konkrétních situacích použít dané číslo. Zpracované tabulky v podobě, v jaké se běžně používají, jsou součástí této kapitoly. Na definování rizika a příslušné číselné ohodnocení navazují návrhy a realizace nápravných opatření s cílem takovému riziku předejít.

(Plášková, 1999)

Charakteristické rysy metody:

- *Systémový přístup – sledovaný objekt, jímž je zpravidla produkt nebo proces, považuje za ucelený a přesně ohraničený funkční systém s jasně definovanými vnitřními vazbami i vztahy k okolí*
- *Induktivní charakter – rozkládá sledovaný objekt na elementární prvky – díly operace, které podrobuje analýze a její výsledky pak vztahuje k funkcím celého systému*

- *Preventivní charakter – umožní odhalit a zkoumat stávající i potenciální vady, zjistit jejich příčiny a předem omezit možnosti jejich výskytu v následných procesech a používání produktů*

(Plášková, 1999, s. 67)

Existují tři běžně používané druhy FMEA, a to FMEA konstrukce (FMEA-K), procesu (FMEA-P) a výrobku (FMEA-V). Ačkoliv spolu uvedené druhy metodicky úzce souvisí, každá z nich má drobné odlišnosti při modelování, proto se s ohledem k charakteru bakalářské práce a řešené problematiky budu věnovat hlavně FMEA procesu, která zkoumá a odhaluje vady, jejichž příčina spočívá v daném procesu a poukazuje na slabá nebo riziková místa v procesu. V následující podkapitole je popsán postup modelování FMEA procesu

(Plášková, 1999)

1.4.2 Postup modelování FMEA-P

Následující metody a postupy modelování procesní FMEA zmíněné v této podkapitole je čerpáno z publikace „Plánování a neustálé zlepšování jakosti“ od Jiřího Plury z roku 2001.

Jako první se provádí analýza a hodnocení současného stavu, kdy se postupně prochází jednotlivé dílčí kroky procesu tak, jak následují za sebou. V tomto kroku je potřeba stanovit všechny možné vady, které se mohou v průběhu procesu vyskytnout. K těmto vadám se přiřazují možná selhání, které mohou vést k tomu, že vyráběný produkt bude nekvalitní. Taktéž se analyzují následky, kterými případná vada působí na vnitřního (následující operace či pracoviště) nebo vnějšího zákazníka (koncový uživatel).

Ke každé ze zjištěných vad je v následném kroku potřeba zjistit všechny potenciální příčiny (nedostatky procesu), které by je mohly vyvolat.

U analyzovaných vad se také zjišťuje, jaké nástroje nebo kontrolní postupy se aktuálně používají k jejich odhalení (detekci) ještě před opuštěním výrobku konkrétní pracoviště výroby nebo montáže.

Po provedené analýze následuje číselné ohodnocení (v rozmezí 1 až 10) současného stavu tří následujících hledisek, přičemž hodnocení probíhá podle tabulek konkrétního hlediska (tabulky 1, 2 a 3):

- Význam vady
- Očekávaný výskyt vady
- Odhalitelnost vady

Podle tabulky číslo 1 se význam vady ohodnocuje závažnost následků možných vad pro zákazníka. Například v případě závažné vady, která by mohla vést až k ohrožení bezpečnosti, se volí vysoké hodnocení (10 nebo 9), naopak v případě minimálního dopadu možné vady je hodnocení nízké.

Následek vady	Význam vady	Hodnocení
Nebezpečný – bez výstrahy	Může ohrozit pracovníka obsluhy zařízení nebo montáže. Vada nastane bez výstrahy a ohrožuje bezpečnost nebo dodržení zákonných požadavků.	10
Nebezpečný – s výstrahou	Může ohrozit pracovníka obsluhy zařízení nebo montáže. Vada nastane s výstrahou a ohrožuje bezpečnost nebo dodržení zákonných požadavků.	9
Velmi vysoký	Významná porucha na výrobní lince, 100 % výrobků neshodných. Výrobek nefunkční se ztrátou hlavní funkce. Zákazník velmi nespokojen.	8
Vysoký	Menší porucha na výrobní lince, méně než 100 % neshodných výrobků, výrobky musí být vytríděny. Výrobek funkční, ale s omezením. Zákazník nespokojen.	7
Střední	Menší porucha na výrobní lince, část výrobků se musí vyřadit (bez třídění). Výrobek je funkční, ale části zajišťující pohodlí jsou nefunkční. Zákazník pociťuje nepohodlí.	6
Nízký	Menší porucha na výrobní lince, 100 % výrobků musí být přepracováno. Výrobek je funkční, ale části zajišťující pohodlí mají sníženou úroveň. Zákazník pociťuje určité neuspokojení.	5
Velmi nízký	Menší porucha na výrobní lince výrobek musí být tříděn a část (méně než 100 %) pak přepracována. Ozdobné a tlumící prvky neodpovídají. Vadu zaznamená většina zákazníků.	4
Malý	Menší porucha na výrobní lince, část výrobků (méně než 100 %) bude muset být přepracována, ale mimo výrobní cyklus. Ozdobné a tlumící prvky neodpovídají. Vadu zaznamená průměrný zákazník.	3
Velmi malý	Menší porucha na výrobní lince, část výrobků (méně než 100 %) bude muset být přepracována, ale bez narušení výrobního cyklu. Ozdobné a tlumící prvky neodpovídají. Vadu znamená náročný zákazník.	2
Žádný	Žádný následek.	1

Tabulka 1: Hodnocení významu vady při modelování FMEA procesu (zdroj: vlastní zpracování dle: Plura, 2001, s. 88)

Tabulka číslo 2 je klíčem k hodnocení procesu z hlediska výskytu možné vady. Příslušné ohodnocení se uděluje na základě pravděpodobnosti, že v průběhu procesu vinou dané vady dojde k selhání procesu, což je přímo vázané na pravděpodobnost výskytu neshodného výrobku.

Pravděpodobnost výskytu vady	Možný výskyt vady	Hodnocení
Velmi vysoká: vada je téměř nevyhnutelná	≥ 1 z 2	10
	1 z 3	9
Vysoká: odpovídajícím podobným předcházejícím procesům, u nichž často předcházelo k výskytu vad	1 z 8	8
	1 z 20	7
Průměrná: odpovídající podobným předcházejícím procesům, u kterých se občas vada vyskytla, ale ne ve významném rozsahu	1 z 80	6
	1 z 400	5
	1 z 2000	4
Nízká: u podobných procesů se vyskytovaly pouze ojedinělé vady	1 z 15 000	3
Velmi nízká: u téměř identických procesů se vyskytovaly pouze ojedinělé vady	1 z 150 000	2
Vzdálená: u téměř identických procesů nebyla nikdy vada znamenána	≤ 1 z 1 500 000	1

Tabulka 2: Hodnocení očekávaného výskytu vady při modelování FMEA procesu (zdroj: vlastní zpracování dle: Plura, 2001, s. 90)

Posledním faktorem, který se při sestavování procesní FMEA číselně ohodnocuje je odhalitelnost. Ta se opět hodnotí dle příslušné tabulky (tabulka č. 3) a posuzuje se dle účinnosti stávajících kontrolních postupů k odhalení možné vady nebo jejich příčin.

Odhaltelnost	Pravděpodobnost, že vada nebo její příčina budou odhaleny před další operací nebo předtím, než její součást opustí místo výroby nebo montáže.	Hodnocení
Absolutně nemožná	K odhalení vady nejsou k dispozici žádné známé kontroly.	10
Velmi vzdálená	Velmi vzdálená pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	9
Vzdálená	Vzdálená pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	8
Velmi malá	Velmi malá pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	7
Malá	Malá pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	6
Průměrná	Průměrná pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	5
Mírně nadprůměrná	Mírně nadprůměrná pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	4
Vysoká	Vysoká pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	3
Velmi vysoká	Velmi vysoká pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	2
Téměř jistá	Stávající kontroly téměř jistě vadu odhalí. U podobných procesů jsou známy spolehlivé kontroly.	1

Tabulka 3: Hodnocení odhaltelnosti vady při modelování FMEA procesu (zdroj: vlastní zpracování dle: Plura, 2001, s. 91)

Všechny uvedené číselné ohodnocení jsou pro sestavování procesní FMEA důležitá, jelikož jejím součinem dojdeme k tzv. „rizikovému číslu“ označovanému RPN (Risk Priority Number), což je hlavním výstupem analýzy, jelikož právě toto číslo ukazuje, které vady jsou pro proces klíčové (z hlediska jejich předejití a odstranění). Vzorec pro výpočet RPN tedy zní:

$$\text{Rizikové číslo} = \text{Význam} \times \text{Výskyt} \times \text{Odhalitelnost}$$

Pro všechny možné vady s rizikovým číslem vyšším, než je podnikem zvolená (nebo pravidly modelování FMEA udávaná) hranice, tedy kritické vady, navrhuje tým FMEA nápravná opatření s cílem snížení rizika těchto vad. Obecně by měla mít přednost opatření snižující pravděpodobnost výskytu vady. Odpovědný pracovník k navrženým opatřením deleguje odpovědnosti a termíny realizace. Po aplikaci opatření tým srovnává plány opatření s realitou a znovu vyhodnocuje rizika příslušných možných vad.

(Plura, 2001)

2. Analýza problému a současné situace

V rámci této části bakalářská práce je nastíněno pozadí řešené problematiky, konkrétně aplikace metody FMEA při změně technologického postupu související s pořízením nového technického vybavení výrobní linky obrábějící štíty elektromotoru. Inovace spočívá v nahrazení starého obráběcího stoje novým. V analytické části práce je tedy rozebrán kontext nezbytný pro porozumění problematice, jako je představení podniku, stručný popis typického elektromotoru v rozsahu nutném pro účely práce, nastíněn technologický postup obrábění štítu a zhodnocena výchozí situace, nejdříve z hlediska parametrů a výstupů z činnosti (časová náročnost, zmetkovitost, nákladovost) a posléze z hlediska rozsahu zpracování procesní FMEA v době před uvedením nového stroje do provozu. Zdrojem informací mi byla většinou osobní komunikace s předními představiteli podniku, případně různé interní dokumenty, které mi byly poskytnuty.

2.1. Popis podniku

2.1.1. Obecná charakteristika

Vybraná problematika je řešena v největším evropském závodě vyrábějícím nízkonapěťové asynchronní motory různých osových výšek, od 63 mm do 200 mm podle IEC normy. Denně z výrobní linky podniku sjede více jak 3 tisíce nových elektromotorů v přibližně 68 tisíc variantách, které se můžou lišit počtem fází (jednofázové, trojfázové), počtem pólů, materiálu, ze které je vyrobena kostra (používá se litina nebo hliník), dle výkonu nebo stavbou kostry (patkové či přírubové). Mezi největší přednosti podniku patří důraz na vysokou kvalitu, krátké dodací lhůty a zákaznický servis téměř kdekoliv na světě, v Evropě navíc během 24 hodin.

Podnik je významným zaměstnavatelem regionu, se svými téměř 2 tisíci zaměstnanci a rozloze 36 ha se řadí mezi největší výrobní podniky ve svém okolí. Výroba elektromotorů v závodě má již více jak stoletou tradici, přičemž z bývalého státního strojírenského podniku se v roce 1994 přímým odkoupením stává odštěpný závod německé nadnárodní elektrotechnické společnosti a v roce 2010 se vytváří česká divize firmy, pod kterou spadá vybraný závod dodnes.

2.1.2. Vize a hodnoty

Podnik má v rámci interních dokumentů spravovány vlastní vize, které chce jakožto lídr v oboru na evropském trhu naplnit.

- *Rozhodujícím způsobem určovat trend vývoje elektromotorů*
- *Zákazníkům nabízet spolehlivé dodávky v požadovaných termínech a poskytovat perfektní servis*
- *Dodávat výrobky s vysokou kvalitou, technickou úrovní splňující ekologické požadavky*
- *Trvalým zlepšováním procesů a spoluprací s dodavateli a zákazníky udržet vedoucí pozici na trhu*

Podnik si také uvědomuje odpovědnost za své chování a důsledky, proto pečlivě dodržuje přísný etický kodex, ekologické normy a právní předpisy. Mimo jiné se podílí na rozvoji regionu, ve kterém působí, ať už například podporou kulturních akcí, vzdělání nebo charitativních činností.

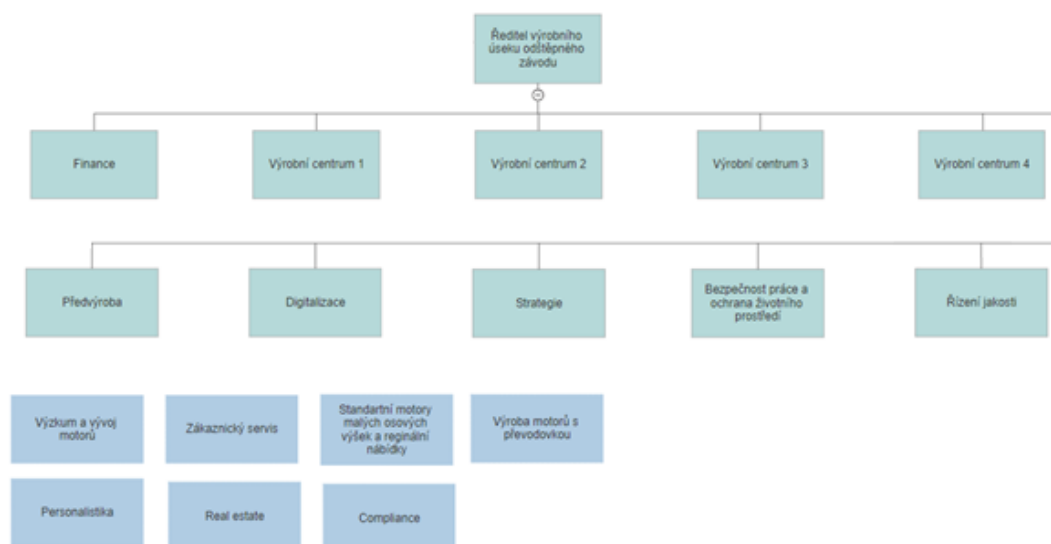
2.1.3. Právní forma

Právní forma podniku je s.r.o. a do obchodního rejstříku byla zapsána 25. října 2010. V předmětu podnikání jsou uvedené následující body:

- výroba, instalace, opravy elektrických strojů a přístrojů, elektronických a telekomunikačních zařízení
- montáž, opravy, revize a zkoušky elektrických zařízení
- výroba, obchod a služby neuvedené v přílohách 1 až 3 živnostenského zákona
- zámečnictví, nástrojářství
- obráběčství
- slévárenství, modelářství

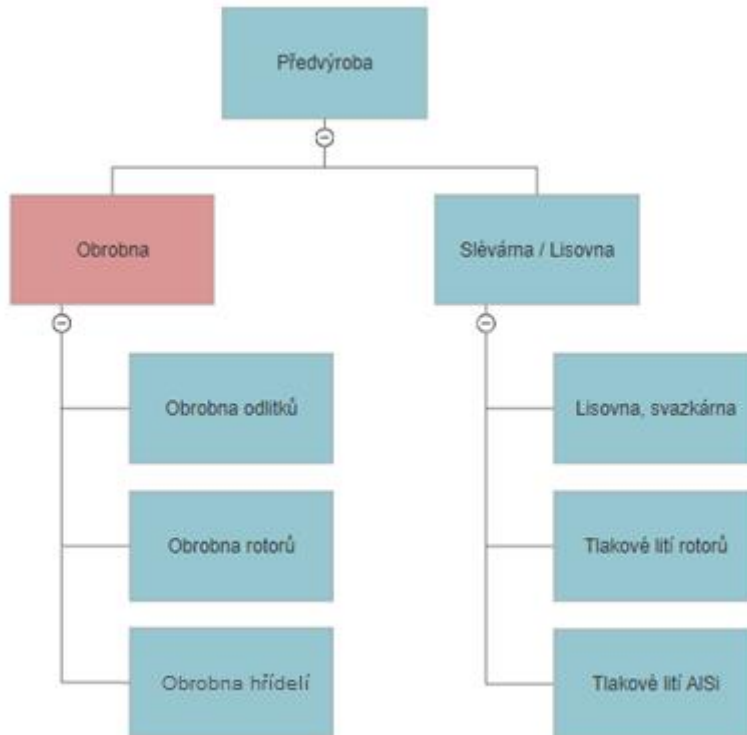
2.1.4. Organizační struktura

V následujícím schématu je stručně načrtnuta základní organizační struktura podniku. Pro potřeby bakalářské práce je vyobrazen pouze výrobní úsek, proto ve struktuře nejsou oddělení jako nákup, zásobování a skladování, logistika nebo zpracování zakázek. To vše spadá v podniku pod úsek ekonomický. V diagramu jsou tedy zobrazena všechna výrobní oddělení, které se následně ještě člení na konkrétní pracoviště. Pro účely práce je rozčleněno na nižší úrovně pouze oddělení předvýroby, ve kterém se nachází pracoviště obrobny, kde dochází, mimo jiné, k činnosti, na kterou je tato práce zaměřena, tedy obrábění štítů elektromotoru.



Obrázek 1: Organizační struktura výrobního úseku podniku (zdroj: interní dokumentace podniku)

Zeleně jsou v organizační struktuře zobrazeny výrobní oddělení, které se přímo zodpovídají ředitelství konkrétního závodu. Modře podbarvená oddělení ve schématu jsou taková, která se sice fyzicky nachází v areálu podniku a podílejí se na podnikových procesech, nicméně z pohledu organizace se zodpovídají buď vedení celorepublikové divize, nebo přímo vedení mateřské společnosti nacházející se v Německu.



Obrázek 2: Detailní organizační struktura oddělení předvýroby (zdroj: interní dokumentace podniku)

Na obrázku č. 2 je rozpracována organizační struktura oddělení předvýroby. Štítů elektromotoru jsou obráběny na pracovišti obrobny (znázorněno červeně), kde se mimo štítů obrábí ještě další drobné součásti elektromotoru. Pracoviště se ještě dále člení na další tři samostatné pracoviště, a to obrobnu odlitků a obrobnu rotorů a obrobnu hřídelí, které se následně na dalších pracovištích zalisovávají do rotorů. Tyto pracoviště stojí samostatně kvůli množství obráběných výrobků.

2.2. Popis elektromotoru

V následujících kapitolách je obecně popsán elektromotor jako takový, princip jeho fungování a možné rozdělení. Posléze je v podkapitolách zmínka o základních částech zařízení.

2.2.1. Obecná charakteristika elektromotoru

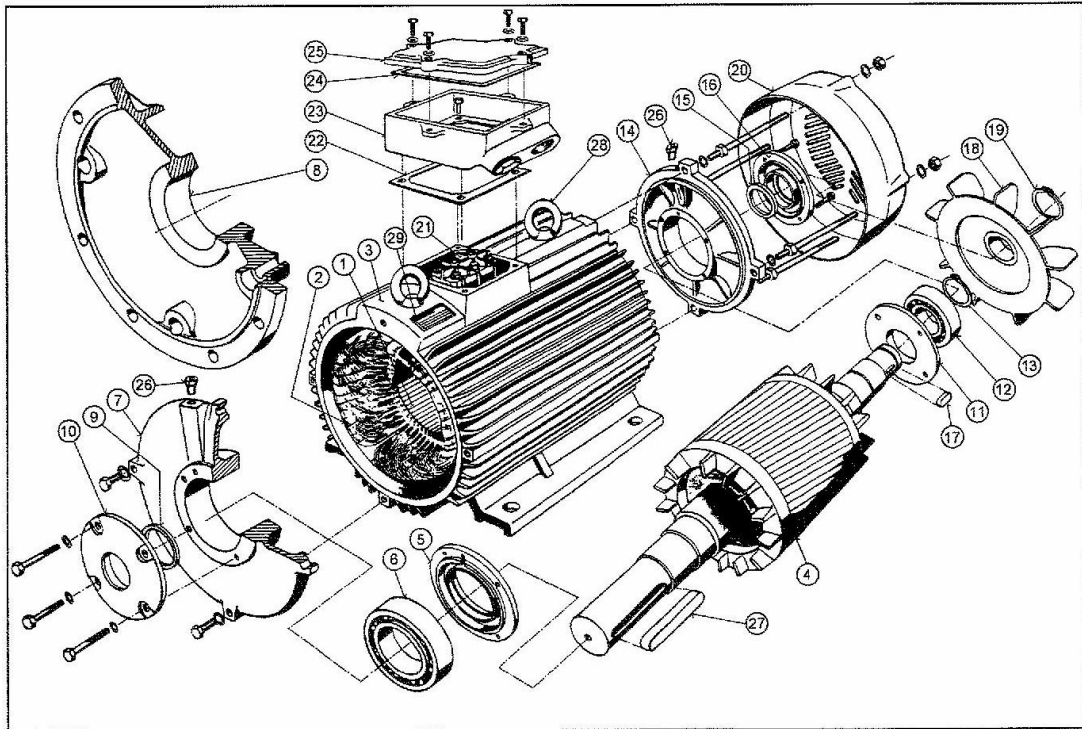
Elektromotor je obecně zařízení, které přeměňuje elektrickou energii na mechanickou a jehož účinnost se pohybuje mezi 75–90 %. Skládá se ze statoru, což je nepohyblivá část a rotoru, tedy pohyblivé části otáčející se uvnitř statoru. Principem každého elektromotoru je vzájemné působení dvou magnetických polí (vytvořených díky průchodu elektrického proudu) a ty díky přitažlivým a odpuzivým silám uvádějí rotor do pohybu.

Elektromotory se rozdělují podle mnoha aspektů, například:

- 1) Podle druhu proudu na elektromotory:
 - a) Stejnoseměrné
 - b) Střídavé
 - 2) Podle zapojení vinutí statoru a rotoru (stejnoseměrné elektromotory):
 - a) Sériové
 - b) Derivační
 - 3) Podle druhu napájecího proudu (střídavé elektromotory):
 - a) Jednofázové
 - b) Třífázové
 - 4) Podle vzájemného působení magnetických polí (střídavé elektromotory):
 - a) Synchronní
 - b) Asynchronní
- (Králová, 2009)

2.2.2. Výčet základních částí elektromotoru

Na následujícím obrázku (č. 3) je popsáno složení standardního asynchronního elektromotoru:



Obrázek 3: Složení asynchronního elektromotoru (zdroj: Chmelík, 2001)

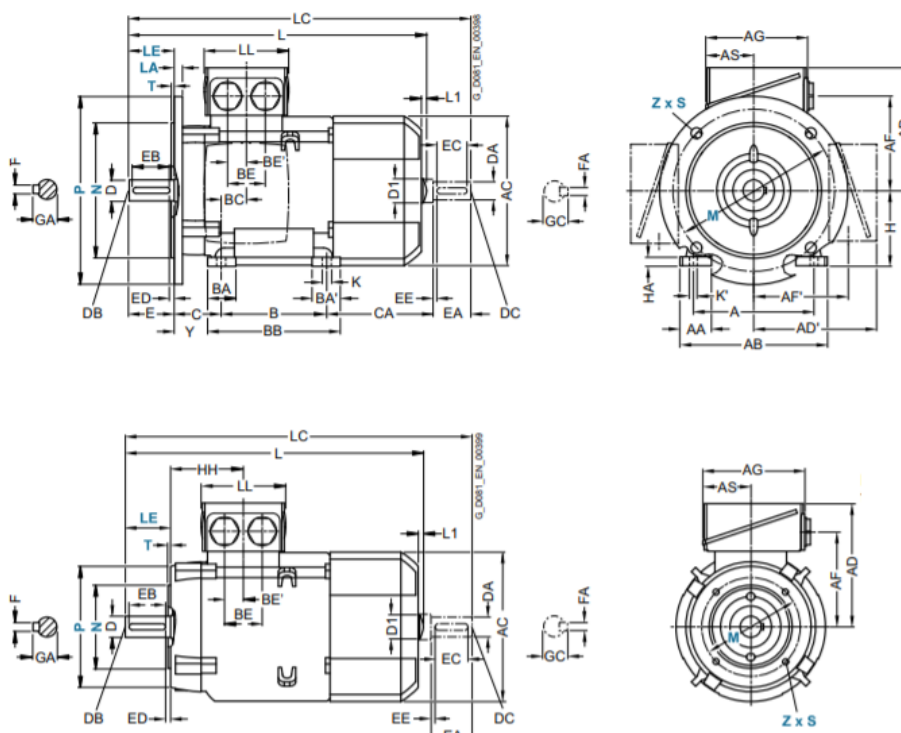
1 - magnetický obvod statoru, 2 - vinutí statoru, 3 - kostra motoru, 4 - magnetický obvod rotoru s klecí nakrátko nalisovaný na hřídeli, 5 - ložiskové víčko zadní vnitřní, 6 - ložisko zadní, 7 - ložiskový štít zadní, 8 - přírubový ložiskový štít, 10 - ložiskové víčko zadní vnější, 11 - ložiskové víčko přední vnitřní, 12 - ložisko přední, 14 - ložiskový štít přední, 16 - ložiskové víčko přední vnější, 18 - ventilátor, 20 - kryt ventilátoru, 21 - svorkovnice, 23 - kryt svorkovnice, 24 - těsnění pod víko svorkovnice, 25 - víko svorkovnice, 26 - maznice, 27 - klín pro volný konec hřídele, 28 - závěsné oko, 29 – štítek

(Chmelík, 2001)

2.3. Elektromotory v konkrétním podniku

Jak bylo již zmíněno v kapitole věnující se popisu podniku, závod nabízí svým zákazníkům více jak 68 tisíc různých variant elektromotorů. V této kapitole jsou přiblíženy různá dělení typů a také znázorněn výkres skutečně podnikem vyráběného elektromotoru.

Typy elektromotorů se můžou lišit v mnoha faktorech. Například počtem fází, které napájí elektrické napětí. Mohou být jak jednofázové, tak i trojfázové. Dalším hlediskem dělení může být i počet pólů, které určují počet otáček rotoru. Póly jsou vždy v sudých počtech (2 až 8) a platí čím méně pólů, tím vyšší počet otáček. Dalším (a jedním z nejdůležitějších) členění je dle osové výšky. Klasifikace elektromotoru podle osové výšky je předkládána i zákazníkům v podnikovém portfoliu. Rozpětí osových výšek výrobků je od 63 do 200 mm. Jako další faktory rozdělení bych zmínil materiál kostry (litinový nebo hliníkový), výkon (od 0,06 do 35 kW) nebo tvar kostry (patkové nebo přírubové). Mimo celou tuto paletu dělení jsou pak speciální zakázkové elektromotory mimořádně upravené dle přání a potřeb konkrétního zákazníka (se zvýšeným výkonem nebo rychlostí, plynově izolované, s brzdou atd.).



Obrázek 4. Výkresová dokumentace patkového elektromotoru (se svorkovnicí) (zdroj: interní materiály podniku)

Na obrázku číslo 4 lze vidět ukázkou výkresu elektromotoru vyráběného v podniku, bez zakótovaných rozměrů. Na konkrétním výkresu je standardní patkový elektromotor se svorkovnicí umístěnou na horní části kostry.

2.4. Technologický postup obrábění štítu elektromotoru

Technologický postup obrábění štítu elektromotoru se skládá z několika navazujících operací, přičemž každá se skládá z několika dalších činností. V tabulce číslo 4 je tento seznam činností vypsán a každá operace rozčleněna na příslušné činnosti.

	Číslo kroku	Číslo činnosti	Popis operace nebo činnosti
První operace	1		Seřízení
		1.1	Seřízení obráběcího stroje
	2		První upnutí
		2.1	Upnutí obrobku do stroje
	3		Soustružení + vrtání (CNC)
		3.1	Hrubování čela
		3.2	Hrubování příruby
		3.3	Hrubování vnitřních průměrů
		3.4	Zápich v průměru ložiska
		3.5	Šlichtování čela
		3.6	Šlichtování příruby
		3.7	Šlichtování vnitřních průměrů
		3.8	Vrtání průchozích děr
	4		Soustružení + vrtání (vrtačka)
		4.1	Opracování příruby
		4.2	Sražení hran
		4.3	Vrtání montážních otvorů
		4.4	Vrtání otvorů příruby
	4.5	Řezání závitu příruby	
	4.6	Sražení hran otvorů příruby	
Druhá operace	5		Seřízení
		5.1	Seřízení obráběcího stroje
	6		Druhé upnutí
		6.1	Upnutí obrobku do stroje
	7		Dodatečné opracování
		7.1	Vrtání průchozích otvorů
		7.2	Vrtání neprůchozích otvorů
		7.3	Sražení hran se závitem
		7.4	Řezání závitu
		7.5	Odjehlení hran obrobených ploch
	8		Dokončovací operace
		8.1	Odmaštění a zatírání Zn barvou
	9		Balení a manipulace
		9.1	Balení obrobku
		9.2	Manipulace s obrobky

Tabulka 4: Seznam činností v technologickém postupu obrábění štítu elektromotoru (zdroj: vlastní zpracování autora dle interních dokumentů podniku)

Technologický postup obrábění štítu se člení na dvě hlavní operace o celkových devíti hlavních krocích, přičemž některé z nich jsou ještě dále složeny z více různých činností a dvěma seřizeními mezi operacemi. Po prvním seřizení začíná první operace a to upnutím, kdy dochází k pouhému upnutí obrobku do obráběcího stroje. Další, v pořadí třetí, krok, tedy soustružení a vrtání s využitím CNC stroje, je již komplexnější. Jednotlivé části štítu jsou v tomto kroku nejdříve obráběny hrubě (hrubování) a následně jemně a přesně (šlichtování). Obdobný čtvrtý krok se s využitím vrtačky zaměřuje hlavně na tvorbu potřebných otvorů, tedy vrtání, tvorby závitů a srážení hran těchto otvorů. Tím končí první operace a následuje další seřizení, aby byl stroj nachystán na operaci druhou. Ta opět začíná upnutím obrobku do stroje a štít je připraven na další krok, již sedmý, kdy se již dělají jen dodatečné práce, například tvorba několika posledních (neprůchozích) otvorů, které nebyly vytvořeny ve čtvrtém kroku nebo třeba odjehlení hran. Na závěr zbývá obrobek odmastit, zatřít příslušné části zinkovou barvou a obrábění štítu je dokončeno. Výrobek je již jen balen a předán dalšímu pracovišti (např. na oddělení montáže za účelem kompletace elektromotoru z jednotlivých dílů).

2.5. Výchozí situace

2.5.1. Data výchozí situace

V této kapitole jsou uvedeny základní časové a finanční parametry procesu obrábění štítu elektromotoru ve výchozím stavu, kdy obrábění součástky zajišťoval stroj Emcoturn. Uvedené údaje jsou hodnoty procesu obrábění vybraného vzorového štítu AH80, tedy štítu k elektromotoru o osově výšce 80 mm.

Chybovost stroje Emcoturn je bohužel na velice vysoké úrovni, a i to je jeden z důvodů potřeby jeho nehrazení. Podle statistik vedených oddělením kvality je chybovost stroje samotného stanovena na 10,2 %. Stroj navíc nedisponuje vlastními automatickými měřicími senzory, takže kontrola kvality obrobků musí být provedena pracovníkem na náhodně vybraných vzorcích výrobků. V tomto případě se ale musí brát v potaz možné lidské selhání, kdy pracovník, ať už z nepozornosti nebo nedostatečného proškolení,

vyhodnotí kvalitu vzorku chybně. Z tohoto důvodu se zmetkovitost posunuje na průměrně 14,5 %.

Jednotkové náklady na obrobení jednoho výrobku jsou technologickým oddělením podniku počítány na 627,18 Kč.

Současná časová náročnost samotného výrobního procesu (bez seřizování) je stanovena na 13 minut, se seřizováním pak činí 68 min. Podrobnější informace jsou v tabulce č. 5.

	Čas [min]
Seřízení celkem	55
První operace	10
Druhá operace	3
Celkem bez seřizování	13
Celkem se seřizováním	68

Tabulka 5: Výchozí seřizovací a výrobní časy v procesu obrábění štítu elektromotoru osově výšky 80 mm při provozu stroje Emcoturn (zdroj: vlastní zpracování na základě dat poskytnutých podnikem)

2.5.2. FMEA před zavedením nového stroje do provozu

V další kapitole zhodnocení současného stavu je popsána procesní FMEA na obrábění štítů elektromotoru tak, jak je v podnikové dokumentaci zpracována pro provoz pracoviště s původním obráběcím strojem Emcoturn, který je nahrazován novým strojem Heller.

V první fázi jsou definováni členové týmu zpracovávající FMEA analýzu. U této konkrétní byly členy zástupci těchto oddělení engineeringu, konstrukce, technologie, řízení jakosti, nástrojárny a průmyslového inženýrství, po jedné osobě z každého útvaru.

V této verzi procesní FMEA analýzy jsou identifikovány možné vady u 7 různých činností procesu (obrázek č. 5). Konkrétně se jedná o:

1. Soustružení
2. Vrtání a závitování CNC
3. Vrtání a závitování vrtačka

4. Válečkování
5. Balení
6. Zatírání zinkovou barvou
7. Odmaštění

1	2	3	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1									Aktuální stav				Navrhovaný stav			
	Pos.	P - operace - funkce procesu / požadavky	Možná vada (Typ selhání, funkční poruchy)	Následek vady	S - význam	Příčina vady	O - výskyt	Preventivní opatření	Detekce	Dodržitelnost	RPN	P / D	Doporučený postup / opatření	Odpovědnost		
	2															
	3	1	SOUSTRUŽENÍ	Nedodržení rozměru průměru ložiska	Havárie motoru, hluk, nemožnost montáže motoru	9	TVRDOTA MATERIALU (NESTÁLOST z hlediska struktury a tvrdosti)	9		Dodržení KP, TP	2	162	Neustálý tlak na dodržování požadované kvality - SQM / PT- projekt Optimalizace nakladu na obrábění sede litiny			
+	71	2	VRTÁNÍ A ZÁVITOVÁNÍ CNC	špatně vrtaná rozteč děr ke kostře	nemožnost smontování motoru	7	ovlivnění programu a nástroje obsluhou	4		KP,TP,3D	2	56				
+	102	3	VRTÁNÍ A ZÁVITOVÁNÍ VRTAČKA	špatně vrtaná rozteč zák. otvorů	Reklamacie zákazníka	8	chyba upnutí a polohování	3		KP,TP	2	48				
+	115	4	VÁLEČKOVÁNÍ	Nedodržení rozměru průměru ložiska	Havárie motoru, hluk	9	Chyba obsluhy korekce nástroje	3		KP,TP,3D	3	81				
+	122	5	BALENÍ	Záměna dílce	Reklamacie zákazníka	6	chyba pracovníka (prohození průvodek na dvou paletách)	3		BP	9	162	Zavést návrh - předepsané polepování barevnými symboly (PROD)			
+	127	6	ZÁTÍRÁNÍ ZINKOVOU BARVOU	špatný zátěr ZN barvou	Reklamacie zákazníka (koroze motoru)	6	nedostatečně zatřené plochy (nedotřeno)	4		TP	3	72				
+	137	7	ODMAŠTĚNÍ	Koroze, oxidace	ŠPATNÁ PŘILNAVOST BARVY	7	chyba pracovníka (nedodržení poměru odmašťovačla, pasivátoru)	5		TP	2	70				
+	140											0				

Obrázek 5: Zpracovaná FMEA při provozu stroje Emcoturn (zdroj: vnitropodniková dokumentace)

U těchto sedmi činností se pak povedlo týmu identifikovat 24 možných vad a jejich následků. Příčin těchto vad je ale mnohem více, jelikož jedna vada může být způsobena hned několika různými příčinami. Těch je v procesu identifikováno 127. Z toho tedy vyplývá, že procesní FMEA vypracovaná pro provoz stroje Emcoturn čítá 127 řádků, každý reprezentující jednu potenciální příčinu chyby v procesu.

Každé vadě byl následně přiděleny hodnoty významu, výskytu a odhalitelnosti dle zásad FMEA analýzy (v obrázku 5 jsou to sloupce „E“, „G“ a „J“) a z těchto veličin byl posléze vypočítán koeficient RPN (rizikové číslo), který se porovnal s kritickým koeficientem stanoveným podnikem, a tak byly identifikovány nejkritičtější možnosti vad. Na základě této identifikace byly definována nápravná opatření.

3. Vlastní návrhy řešení

3.1. Nová procesní FMEA pro proces obrábění štítu novým strojem Heller

Tvorba procesní FMEA je záležitost složitá a velmi obsáhlá, tudíž na jejím vypracování spolupracoval několikačlenný tým sloužený z předních odborníků podniku z různých odvětví, ať už to byli zástupci oddělení technologie konkrétní operace, technologie následných operací, řízení kvality (jejíž zástupce byl zároveň iniciátorem a moderátorem FMEA brainstormingů), konstrukce, vývoje, logistiky, ale i samotné výroby, kdy tito zástupci mohli zhodnotit postupy z hlediska praxe. Moje pozice byla zástupce laické veřejnosti, kdy jsem svým, řekněme neodborným či laickým, pohledem mohl proces hodnotit ze stejně laického přístupu zákazníka a vnášel užitečné otázky, které odborníkům přišly tak samozřejmé, že je nenapadlo se nad těmito věcmi pozastavovat, ale i u naprosto banálních věcí hrozí rizika, která jsou určitě nutná v procesní FMEA zahrnout a řešit. Výstupem celkem 14 schůzí třináctičlenného týmu je nová procesní FMEA nahrazující starší, pro nové účely (nový stroj) nevyhovující. Tato nová verze čítá celkem 349 řádků, tedy 349 variant možných selhání procesu, z toho 232 jsou selhání označená jako kritická (nastavení hodnocení hranice RPN je popsáno v příslušné podkapitole). Definovaných vad je celkem 93, jelikož, jak již bylo zmíněno při popisu staré verze dokumentu, jedna vada může mít více různých příčin nebo následků a do analýzy byla každá varianta možné vady uvedena zvlášť.

Operace procesu, jimiž se tým zabýval, jsou v souladu s technologickým postupem obrábění štítu. Konkrétní operace a činnosti, které jsou v nové procesní FMEA řešeny:

- 1) Upnutí obrobku
- 2) Soustružení + vrtání (1. operace)
 - a. Hrubování čela a průměr falce
 - b. Hrubování zákaznické strany (příruby)
 - c. Hrubování vnitřních průměrů (lož. Průměr, průchozí otvor, hloubka ložiska, odlehčení pod ložiskem)

- d. Zápich v průměru ložiska – pro segerovku
 - e. Šlichtování čela a průměr falce
 - f. Šlichtování zákaznické strany (příruby)
 - g. Šlichtování vnitřních průměrů (lož. Průměr, průchozí otvor, hloubka ložiska, odlehčení pod ložiskem)
 - h. Vrtání průchozích děr (pro připojení ke kostře)
- 3) Soustružení + vrtání (2. operace)
- a. Opracování zákaznické strany (dosedací plocha gamma ringu) – soustružení
 - b. Sražení hran
 - c. Nedodržení hrany průchozího otvoru pro hřídel
 - d. Vrtání montážních otvorů
 - e. Vrtání otvorů v zákaznické strany
 - f. Řezání závitu zákaznické strany (B14)
 - g. Sražení hran – otvorů zákaznické strany
- 4) Vrtání, řezání závitů a sražení hran (dodatečné opracování – čidla, odtok apod.) - jiný stroj
- a. Upnutí obrobku do stroje
 - b. Vrtání průchozích otvorů (domazávání, odtokové otvory - např. opce L19, L23 atd.)
 - c. Vrtání neprůchozích otvorů (teploměr, čidlo - např. opce Q72 atd.)
 - d. Sražení hran se závitem
 - e. Řezání závitu
 - f. Odjehlení hran obrobených ploch
- 5) Dokončovací operace
- a. Zatírání Zn barvou
- 6) Balení a manipulace
- a. Balení obrobku – interní
 - b. Manipulace s obrobky
- 7) Různé
- a. vady odlitku

3.2. Stanovení hranice RPN pro kritické vady

Tým FMEA stanovil za kritické možné vady takové, které splní alespoň jedno z následujících kritérií:

- 1) Rizikové číslo (součin číselných hodnocení významu, pravděpodobnosti výskytu a odhalitelnosti) je větší jak 124
- 2) Význam je ohodnocen číslem 8 a více
- 3) Pravděpodobnost výskytu je ohodnocena číslem 8 a více

První kritérium, tedy hranice rizikového čísla, nad které součin významu, výskytu a odhalitelnosti značí kritickou vadu, je volitelné a každý podnik, který si FMEA zpracovává, si může tuto hranici určit sám pro své potřeby, případně po domluvě se zákazníkem/ dodavatelem. V tomto konkrétním případě je hranice pro kritické vady (125 a více) dána směrnicí nadřazené organizační jednotky, tedy německé mateřské společnosti, pod níž předmětný podnik této práce spadá.

Zbývá dvě zmíněná kritéria, tedy hodnocení 8 a více u významu a pravděpodobnosti výskytu vady, vychází ze základních pravidel a metodik modelování procesní FMEA.

3.3. Popis nové procesní FMEA a identifikovaných kritických možných vad

V této části práce přiblížím možné vady, které byly identifikovány jako kritické a důvody, proč tomu tak je. Z důvodu velkého množství takových vad (232) se ale primárně zaměřím na možná selhání, které byly označeny jako kritická kvůli překročení stanovené hranice rizikového čísla a z ostatních, které byly označeny jako kritické z důvodu splnění kritéria hodnocení významu či pravděpodobnosti výskytu vyšší jak 8, se budu věnovat jen výběru nejpodstatnějších vad, jejich příčin a následků z nich.

Možných vad, které byly identifikovány jako kritické, z důvodu překročení stanovené hranice rizikového čísla je v nově vytvořené procesní FMEA celkem 8 (viz. obrázek číslo 6). Z naprosté většiny (7 z 8 případů) je však takto vysoké číslo zapříčiněno maximálním možným hodnocením faktoru odhalitelnosti, tedy stupněm 10 (absolutně nemožná) a zbylé hodnocené faktory u těchto vad ani nedosáhly hodnocení 8 nebo více, potřebné pro označení vady za kritickou v případě nepřekročení stanoveného limitu. Pouze v jednom jediném případě je překročení stanovené hranice RPN způsobeno vysokým hodnocením jiného faktoru než odhalitelnosti, konkrétně se jedná o vadu na řádku 344 z obrázku číslo 6, tedy možné poškození dílce pádem při manipulaci zapříčiněno nepozorností pracovníka, kdy je význam hodnocen nejvyšším možným stupněm 10, a to nejen z důvodu možného nenávratného poškození výrobku, ale také z důvodu hrozícího ohrožení bezpečnosti a zdraví při práci. Vadě se dá předejít zvýšenou obezřetností pracovníků při manipulaci s výrobky a kdykoliv se stane, že dílec upadne na zem, musí být ihned odeslán na příslušné pracoviště 3D měření.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	FMEA_Process of production of Exd IIC motors from FS71-200						Aktuální stav						Navrhovaný stav				Zlepšený stav		
2	Pos.	D - Prvek - dílec/ Funkce - Požadavek P - operace - funkce procesu / požadavky	Možná vada (Typ selhání, funkční poruchy)	Následek vady	S - význam	Příčina vady	O - výskyt	Preventivní opatření	Detekce	D - odhalitelnost	RPN	P / D	Doporučený postup / opatření	Odpověd nost	Termin	Uskutečněné opatření	O - výskyt	D - odhalitelnost	RPN
15	1.012	Upnutí obrodku	nevhodně temperovaný vstupní materiál	znehodnocený díl (vícenáklady)	7	nedostatečná doba temperování	4	žádné	žádné	10	280	V	měření teploty před obrobením - prvního kusu (teploměr) + vybavení pracoviště teploměrem - na teplotu okolí	Diblík S.	30.05.				
322	5.001	Zatírání Zn barvou	špatný nátěr Zn barvou	Reklamacie zákazníka (koroze motoru)	6	nedostatečně natřené plochy (nedostatečná vrstva)	3	není pro zatírání obrobených ploch	není definovaný kontrolní postup a technologický postup	10	180	V	Doplnění do výkresu tloušťku nátěru (opravy) Zn barvou (na hrubovaných dílcích /odlitcích je, ale nikoli na následně opracovaných plochách)	Pavlík F.	31.08.				
323	5.002	Zatírání Zn barvou	špatný nátěr Zn barvou	Reklamacie zákazníka (koroze motoru)	6	nedostatečně natřené plochy (nedostatečná vrstva)	3	není pro zatírání obrobených ploch	není definovaný kontrolní postup a technologický postup	10	180	V	Doplnění na základě výkresové dokumentace do TP obrobná (natírání obráběných ploch Zn barvou) a (doplnit do TP obrobná - oprava poškozeného Zn povlaku)	Průša M.	31.08.				
324	5.003	Zatírání Zn barvou	špatný nátěr Zn barvou	Reklamacie zákazníka (koroze motoru)	6	poškození nátěru manipulací	3	není pro zatírání obrobených ploch	není definovaný kontrolní postup a technologický postup	10	180	V	viz opatření ř.322 a 323	Pavlík F., Průša M.	31.08.				
325	5.004	Zatírání Zn barvou	špatný nátěr Zn barvou	Reklamacie zákazníka (koroze motoru)	6	poškození nátěru - nevhodný způsob vytvrzení barvy (stlačený vzduch, horkovzdušná pistole)	3	není pro zatírání obrobených ploch	není definovaný kontrolní postup a technologický postup	10	180	V	viz opatření ř.322 a 323	Pavlík F., Průša M.	31.08.				
326	5.005	Zatírání Zn barvou	špatný nátěr Zn barvou	Reklamacie zákazníka (koroze motoru)	6	špatná viskozita zátěru	3	není pro zatírání obrobených ploch	není definovaný kontrolní postup a technologický postup	10	180	V	viz opatření ř.322 a 323	Pavlík F., Průša M.	31.08.				
327	5.006	Zatírání Zn barvou	špatný nátěr Zn barvou	Reklamacie zákazníka (koroze motoru)	6	nevytvrzení barvy - nedodržení doby schnutí (ložně doby)	3	není pro zatírání obrobených ploch	není definovaný kontrolní postup a technologický postup	10	180	V	viz opatření ř.322 a 323	Pavlík F., Průša M.	31.08.				
344	6.008	manipulace s obrodky / manipulation with workpiece's	poškození dílu při manipulaci	pád dílce (bez viditelného poškození)	10	nepozornost pracovníka	2	bezpečnost	3D měření	8	160	V	Dílec který spadne bez viditelného poškození se musí dát přeměřit na 3D	Průša M.	31.08.				

Obrázek 6: Identifikované možné vady označené jako kritické z důvodu překročení stanovené hranice RPN (zdroj: zpracování vnitropodnikových materiálů)

Pokud bychom se podívali na zbylé vady vyhodnocené jako kritické, zjišťujeme, že 6 z nich se váže k jedné a téže operaci, kterou je „zatírání Zn barvou“. Vady z této jsou jen velmi obtížně odhalitelné, některé není možné odhalit vůbec. To zapříčiňuje přítomnost tolika možných vad vážící se k této operaci mezi vadami kritickými. Preventivním opatřením v těchto případech bylo stanoveno doplnění informací do technické dokumentace, jako například tloušťku nátěru a podobně.

Zbýlých 224 možných vad bylo identifikováno napříč téměř všemi operacemi procesu, s výjimkou tří operací: „hrubování zákaznické strany (příruby)“, „sražení hran se závitem“ a „balení obrobku – interní“. U těchto tří operací nebyla identifikována žádná kritická vada, jak ani kvůli překročení stanovené hranice RPN, tak ani hodnocením některého z faktorů významu a pravděpodobnosti výskytu vady vyšším jak 8. U těchto tří operací se jedná dohromady o 11 vad (viz. obrázek č. 7).

1 FMEA_Process of production of Exd IIC motors from FS71-200										Aktuální stav			Navrhovaný stav		
2	Pos.	D - Prvek - dílec/ Funkce - Požadavek P - operace - funkce procesu / požadavky	Možná vada (Typ selhání, funkční poruchy)	Následek vady	S - Význam	Příčina vady	O - Vyskyt	Preventivní opatření	Detekce	Dodržetelnost	RPN	P / D	Doporučený postup / opatření	Odpověd nost	Termín
29	2.013	Hrubování zákaznické strany (přiruby)	Nedodržení rozměrů (menší)	znehodnocený díl (vícenáklady)	7	chyba pracovníka	2	kontrolní postup	měřicí kontrola u stroje	3	42				
30	2.014	Hrubování zákaznické strany (přiruby)	Nedodržení rozměrů (menší)	znehodnocený díl (vícenáklady)	7	chyba programu	2	100% měření 1. kusu	měřicí kontrola u stroje	3	42				
31	2.015	Hrubování zákaznické strany (přiruby)	Nedodržení rozměrů (větší)	větší opotřebení nástroje	4	chyba pracovníka	2	kontrolní postup	měřicí kontrola u stroje	3	24				
32	2.016	Hrubování zákaznické strany (přiruby)	Nedodržení rozměrů (větší)	větší opotřebení nástroje	4	chyba programu	2	100% měření 1. kusu	měřicí kontrola u stroje	3	24				
306	4.035	sražení hran se závitem	větší sražení hrany	snížení únosnosti závitů	5	chyba pracovníka	3	kontrolní postup	měřicí kontrola u stroje	2	30				
307	4.036	sražení hran se závitem	menší sražení hrany	ztižená montáž	4	chyba pracovníka	3	kontrolní postup	měřicí kontrola u stroje	2	24				
308	4.037	sražení hran se závitem	chybějící sražení hrany	ztižená montáž	5	chyba pracovníka	3	kontrolní postup	měřicí kontrola u stroje	2	30				
337	6.001	Balení obrobku - interní	nedodržení interního balení TP013	korozie (nedodržení LT)	7	nedodržení TP	2	obežetnost, dodržení TP	vizuální kontrola	6	84				
338	6.002	Balení obrobku - interní	poškození dílce z důvodu nevhodného BP	poškození dílce	7	chybně definovaný balicí předpis	2	řešení BP v týmu mezi jednotlivými útvary (PT, QM, RD, atd.)	vizuální kontrola	6	84				
339	6.003	Balení obrobku - interní	poškození dílce z důvodu nevhodného BP	nedodržení LT (pozdní dodávka zákazníkovi-finanční ztráta)	7	chybně definovaný balicí předpis	2	řešení BP v týmu mezi jednotlivými útvary (PT, QM, RD, atd.)	vizuální kontrola	6	84				
340	6.004	Balení obrobku - interní	záměna za deklarované materiálové číslo	nedodržení LT (dodávka zákazníkovi-finanční ztráta)	7	chyba pracovníka	3	obežetnost	měření 3D, montáž	5	105				
351															
352															

Obrázek 7: Seznam možných vad operací, u kterých nebyla ani jedna vada vyhodnocena jako kritická (zdroj: zpracování vnitropodnikových materiálů)

Jak bylo již zmíněno, mimo 8 kritických vad, které byly již popsány výše, jich bylo v rámci procesní FMEA identifikováno dalších 224 u 22 operací. Tyto byly vyhodnoceny jako kritické z důvodu dosažení hodnocení významu nebo pravděpodobnosti výskytu 8 a více. Jelikož by bylo mimo možnosti této práce popisovat každou vadu zvlášť, rozhodl jsem se na následujících obrázcích 8 a 9 vytřídit možné vady s nejvyšším RPN od každé z 22 operací s takto identifikovanými vadami a ty následně obecně popsat.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	FMEA_Process of production of Exd IIC motors from FS71-200						Aktuální stav				Navrhovaný stav				Zlepšený stav				
	Pos.	D - Prvek - dílec/ Funkce - Požadavek P - operace - funkce procesu / požadavky	Možná vada (Typ selhání, funkční poruchy)	Následek vady	s - význam	Příčina vady	O - výskyt	Preventivní opatření	Detekce	O - dohlednost	RPN	P / D	Doporučený postup / opatření	Odpověd nost	Termín	Uskutečněné opatření	O - výskyt	O - dohlednost	RPN
4	1.001	Upnutí obrobku	nehodné upnutí obrobku	destrukce stroje (poškození)	8	špatné předhrubování obrobku	2	SPC při vstupní kontrolě hrubovaných dílů	detekce měřením (ruční/3D)	3	48								
19	2.003	Hrubování čela a průměr falce	Nedodržení rozměrů průměru (menší)	výbuch motoru	10	chyba pracovníka	2	kontrolní postup	měřicí kontrola u stroje	3	60								
58	2.042	Hrubování vnitřních průměrů (lož. Průměr, průchází otvor, hloubka ložiska, odlehčení pod ložiskem)	Nedodržení opraování průchozího otvoru - větší	nedodržení těsnící spáry - riziko výbuchu	10	chyba programu	2	100% měření 1. kusu	měřicí kontrola u stroje	3	60								
65	2.049	Zápich v průměru ložiska - pro segerovku	nedodržení šířky zápichu - širší	volná segerovka/zničení segerovky - destrukce motoru	10	chyba pracovníka	2	kontrolní postup	měřicí kontrola u stroje	3	60								
73	2.057	Šichtování čela a průměr falce	nedodržení rozměru falce	havárie motoru/výbuch motoru	10	TVRDOT MATERIÁLU (NESTÁLOST z hlediska struktury a tvrdosti)	2	SPC při vstupní kontrolě hrubovaných dílů	měření tvrdosti v laboratoři dle KP	5	100								
102	2.086	Šichtování zákaznické strany (příruby)	Nedodržení úchylek tvaru a polohy	havárie motoru (defektae ložisek)	8	TVRDOT MATERIÁLU (NESTÁLOST z hlediska struktury a tvrdosti)	2	SPC při vstupní kontrolě hrubovaných dílů	měření tvrdosti v laboratoři dle KP	5	80								
134	2.118	Šichtování vnitřních průměrů (lož. Průměr, průchází otvor, hloubka ložiska, odlehčení pod ložiskem)	Nedodržení opraování průchozího otvoru - větší	výbuch motoru	10	TVRDOT MATERIÁLU (NESTÁLOST z hlediska struktury a tvrdosti)	2	SPC při vstupní kontrolě hrubovaných dílů	měření tvrdosti v laboratoři dle KP	5	100								
173	2.157	Vrství průchazích děr (pro připojení ke kostře)	špatný průměr vrtaných děr (větší)	nedodržení pevného závěru	10	ovlivnění programu a nástroje obsluhou	2	nástrojový plán + TP	vizuální kontrola, dodržení KP	2	40								
179	3.001	Opracování zákaznické strany (dosedací plocha gamma ringu) - soustružení	Nedodržení rozměru pro gamma kroužek	Protečení oleje nebo vody do prostoru motoru, krytí motoru IP ...	9	TVRDOT MATERIÁLU (NESTÁLOST z hlediska struktury a tvrdosti)	2	SPC při vstupní kontrolě hrubovaných dílů	měření tvrdosti v laboratoři dle KP	5	90								
209	3.031	Sražení hran	chybějící sražení	nebezpečí zranění při montáži	10	nedodržení TP, nedbalost pracovníka	2	kontrolní postup	měřicí kontrola u stroje	3	60								

Obrázek 8: Možná vada s nejvyšším RPN od každé operace, obsahující vadu identifikovanou jako kritickou na základě parametrů významu vady a pravděpodobnosti výskytu, část 1. (zdroj: zpracování vnitropodnikových materiálů)

16	3.038	Nedodržení hrany průchozího otvoru pro hřídele	Špatné obrobení hrany - průchozího otvoru hřídele (žádná)	poranění pracovníka při montáži	10	chyba pracovníka	2	kontrolní postup	měřicí kontrola u stroje	3	60						
18	3.040	Vrtání montážních otvorů	špatně vrtaná rozteč montážních otvorů	nemožnost smontování motoru	8	ovlivnění programu a nástroje obsluhou	2	nástrojový plán + TP	vizuální kontrola, dodržení KP	2	32						
38	3.060	Vrtání otvorů v zákaznické straně	špatně vrtaná rozteč otvorů na zákaznické straně	nemožnost připojení motoru k zákaznickému použití	8	ovlivnění programu a nástroje obsluhou	2	nástrojový plán + TP	vizuální kontrola, dodržení KP	2	32						
62	3.084	Fezání závitu zákaznické strany (B14)	poškozený závit (potřhaný)	nelze připojit zákaznické zařízení	9	tupý nástroj, nedostatečné chlazení	2	nástrojový plán + TP	vizuální kontrola, dodržení KP	2	36						
70	3.092	sražení hran - otvorů zákaznické strany	nedodržení sražení - chybějící sražení	riziko zranění při následné operaci	10	nedodržení dokumentace, chyba pracovníka	2	nástrojový plán + TP	vizuální kontrola, dodržení KP	2	40						
77	4.006	upnutí obrábku do stroje	poškození obrobených dosedacích ploch - velké utažení matice	havárie motoru	9	chyba pracovníka	2	kontrolní postup	měřicí kontrola u stroje	3	54						
89	4.018	vrtání průchozích otvorů (domazávání, odtokové otvory - např. opce L19, L23, atd.)	špatný úhel vrtání	možný výbuch motoru - zeslabení stěny štítu	10	chyba pracovníka	2	kontrolní postup	následující operace - tlaková zkouška	4	80						
102	4.031	vrtání neprůchozích otvorů (teploměr, čidlo - např. opce Q72, atd.)	špatný úhel vrtání	zkreslené hodnoty měřených veličin pro zákazníka	8	chyba pracovníka	2	kontrolní postup	pozná se při dodatečných kontrolách	6	96						
112	4.041	Fezání závitu	špatně stoupání závitu + špatný průměr závitu	nelze připojit zákaznické zařízení	8	výběr špatného nástroje	2	kontrolní postup	měřicí kontrola u stroje (špatně použitý kalibr - již se nikde neobjeví)	7	112						
120	4.049	odjehlení hran obrobených ploch	chybějící odjehlení	poranění pracovníka při	10	chyba pracovníka (nedbalost)	1	proškolení z TP	vizuální kontrola	2	20						
142	6.006	manipulace s obrábky / manipulation with workpiece's	poškození dílu při manipulaci	korozí dílu	8	agresivní pot	3	manipulace v rukavicích	vizuální kontrola	2	48						
149	7.002	vady odlitku	vnitřní vady odlitku	výbuch motoru	10	slévárenské vady	1	prohlášení o shodě 2.1	odhalitelnost na TLZK	2	20						

Obrázek 9: Možná vada s nejvyšším RPN od každé operace, obsahující vadu identifikovanou jako kritickou na základě parametrů významu vady a pravděpodobnosti výskytu, část 2. (zdroj: zpracování vnitropodnikových materiálů)

Z uvedených obrázků č. 8 a 9 je patrné, že všechny vady s nejvyšším dosaženým RPN oznámených 22 operací, jsou hodnoceny jako kritické, díky vysokému ohodnocení významu vady (8 až 10). Jedná se o možné vady, které mají potenciál být extrémně nebezpečné jak pro průběh procesu a kvalitu výrobků, ale také mohou ohrožovat pracovníky na zdraví. Mnohokrát si můžeme povšimnout identifikované vady, jejímž následkem může být až výbuch motoru. Příčinou takové vady je často chyba pracovníka a nedodržení výrobního postupu dle technické dokumentace, kdy může dojít k oslabení materiálu elektromotoru s hrozcím možným následkem v podobě výbuchu. Pravděpodobnost výskytu je však v takových případech skutečně malá, u uvedených případů najdeme hodnocení vyšší jak 2 jen jednou, u zbytku se střídá pouze hodnocení 1 (vzdálená pravděpodobnost, výskyt vady u méně jak 1 výrobku z 1 500 000) a 2 (velmi nízká, vada u jednoho výrobku z 150 000). Hodnocení pravděpodobnosti výskytu stupněm 3 najdeme v uvedených případech jen jednou, a to u možné vady v podobě poškození dílu při manipulaci s výrobkem. Nejčastěji zastoupené příčiny jsou nedodržení technologického postupu, slabost materiálu, chyby pracovníků a opotřebené nástroje.

3.4. Přínos návrhů zlepšení

V současné době se tedy k obrábění předmětné součástky, tedy štítu elektromotoru, v podniku využívá stroj Heller. S jeho příchodem se očekávalo (samozřejmě předem zalkulované) zrychlení procesu, snížení nákladů, zefektivnění výroby, a hlavně snížení vysoké zmetkovitosti, k čemuž pomáhá i vytvořená procesní FMEA.

Chybovost se – díky nejmodernější technologii a s důrazem na dodržování opatření proti výskytu vad definovaných ve vytvořené procesní FMEA – povedla snížit z původních 14,5 % na nynějších 0,02 %. Stroj navíc každou obrobenou plochu zkontroluje sám pomocí sond a není tak třeba kontroly pracovníkem, Díky tomu odpadá riziko lidského selhání. Je tedy zřejmé, že snížení zmetkovitosti je skutečně rapidní a změna technologie v podobě nového stroje a sestavení FMEA k předcházení selhání splnila svůj účel. Uvedená data jsou na základě sledování a statistik oddělení kvality.

Dále je možné uvést srovnání dalších sledovaných veličin z analytické části práce, tedy jednotkové náklady a výrobní čas u konkrétního štítu elektromotoru osově výšky 80 mm.

	Čas [min]
Seřízení celkem	55
První operace	5
Druhá operace	2
Celkem bez seřízení	7
Celkem se seřízením	62

Tabulka 6: Nové seřizovací a výrobní časy v procesu obrábění štítu elektromotoru osově výšky 80 mm při provozu stroje Heller (zdroj: vlastní zpracování na základě dat poskytnutých podnikem)

Jak je z tabulky patrné, při změně technologie došlo k výrazné úspoře času, kdy se čas obrábění štítu u první operace snížil na polovinu a u druhé operace o jednu třetinu.

Ještě výraznější pokles však zaznamenaly jednotkové náklady, kdy se uspořila také přibližně třetina (205,96 Kč) na každém jednotlivém kusu a nové náklady obrobění štítu elektromotoru činí pouze 421,22 Kč.

Tyto úspory však ještě nejsou jediným přínosem změny technologie a s ní vypracované procesní FMEA. Při revizi procesu se zjistilo, že při operaci vrtání otvorů je nově možné použít jeden stejný nástroj místo dvou, čímž dochází k úspoře jak času, tak i financí. K zjištění byl ihned podán zlepšovací návrh na příslušné oddělení podnik a bez prodlení byla změna zanesena do technické dokumentace.

V následující tabulce je přehledné srovnání některých skutečností a rozdílů mezi původním strojem Emcoturn a novým Heller. Některé z uvedených údajů již byly v práci zmíněny a rozpracovány, jiné jsou uvedeny pouze v této finální tabulce srovnání.

	Emcoturn	Heller
Druh	3 osý obráběcí soustruh	5 osý CNC s revolverem
Logistika	Nezvládne všechny operace sám, u některých je potřeba obrobek ručně přenášet a upínat do jiného stroje, (včetně interního balení, které musí probíhat jinde)	Všechny činnosti procesu zvládne sám, včetně interního balení
Chybovost	Chybovost samotného stroje 10,2 %	0,02 %, automatická kontrola každé obrobené plochy pomocí sond
	S možností lidské chyby až 14,5 %	
Jednotkové náklady	627,18 Kč	421,22 Kč
Výrobní čas 1 ks (pouze výrobní operace)	13 minut	7 minut
Výrobní čas 1 ks (včetně seřízení)	68 minut	62 minut
Odmaštění	+3 % k nákladům	Není potřeba

Tabulka 7: Srovnání výstupů stroje Emcoturn a Heller u obrobku AH80 (zdroj: vlastní zpracování na základě dat poskytnutých podnikem)

Moderní CNC Heller je v mnoha ohledech lepší než jeho předchůdce Emcoturn. Z údajů, které jsou uvedeny v tabulce, ale ještě nebyly v práci zmíněny, bych se rád věnoval v první řadě hledisku logistiky. Emcoturn nedisponoval takovou kapacitou a tolika funkcemi, jako je tomu u stroje Heller, takže nezvládl všechny operace zcela sám a na některé tedy bylo nutné obrobek ručně vyjmout a operaci provést na jiném stroji, kvůli čemu se prodlužoval výrobní čas. Oproti tomu Heller všechny činnosti procesu zastane zcela sám. Jako druhý faktor z tabulky, zatím nezminěný v práci, je odmaštění. Pro správný průběh procesu bylo kvůli technologickým požadavkům stroje Emcoturn nutné každý obrobek odmastit, což u vzorového štítu elektromotoru o osové výšce 80 mm činilo 3 % navíc k nákladům. Stroj Heller však nic takového nevyžaduje.

Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na vypracování procesní FMEA ve strojírenském podniku zabývajícím se výrobou elektromotorů různých druhů. Příležitostí pro tuto záležitost byla změna technologického postupu, ke kterému zrovna v podniku docházelo. Konkrétně se jednalo o inovaci pracoviště obrábění štítu elektromotoru, kde byl starý, nevyhovující stroj měněn za nový.

První část práce ale byla nejdříve zaměřena na teoretické pozadí problematiky, aby byly srozumitelné všechny pojmy a termíny, kterých bylo v práci využito. S využitím odborné literatury byly objasněny pojmy jako například proces, kvalita, zlepšování a řízení kvality, nebo FMEA samotná.

Další, analytická, část byla zaměřena na realie situace podniku, ať už ze širokého obecného pohledu, nebo z bližšího na konkrétní proces. Byla také stručně představena výchozí FMEA a uvedeny hodnoty základních výrobních a ekonomických veličin procesu.

V poslední, závěrečné části již byla popisována nově vypracovaná procesní FMEA k novému stroji, na které jsem se podílel společně s předními odborníky svých oblastí v podniku. Nová FMEA je značně rozsáhlá, proto byla pozornost zaměřena hlavně na nejdůležitější výstupy, které z této analýzy vzešly.

Inovace i vypracování procesní FMEA mělo pozitivní dopad na proces, který se odrazil nejen ve zlepšení sledovaných hodnot, ale také zefektivnění procesu v podobě úspory nástroje, což se ve finále samozřejmě také podílí na úspoře jak času, tak i financí.

Pro mě osobně byla práce velkým přínosem, jelikož jsem měl možnost si na vlastní kůži vyzkoušet práci na důležitém projektu (modelování procesní FMEA) ve velkém týmu odborníků v nadnárodní korporaci a také jsem se toho mnoho dozvěděl o způsobech a metodikách řízení kvality v takovém podniku.

Seznam použité literatury

1. BAUER, Miroslav. Kaizen: cesta ke štíhlé a flexibilní firmě. Brno: BizBooks, 2012. ISBN 8026500296.
2. BLECHARZ, Pavel. Základy moderního řízení kvality. Praha: Ekopress, 2011. ISBN 9788086929750.
3. HNÁTEK, Jan, Otakar HRUDKA, Ondřej HYKŠ, Miroslav JEDLIČKA, Miroslav STANĚK, Elena STIBŮRKOVÁ, Marie ŠEBESTOVÁ a Milan TRČKA. Komentované vydání normy ČSN EN ISO 9001:2016: systémy managementu kvality – Požadavky. Praha: Česká společnost pro jakost, 2016. ISBN 978-80-02-02642-6.
4. CHMELÍK, Karel. Asynchronní a synchronní elektrická zařízení [online]. Ostrava, VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Fakulta elektrotechniky a informatiky., 2001 [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://home1.vsb.cz/~ber30/stroje/AMaSMstroje.pdf>
5. JUROVÁ, Marie. Výrobní procesy řízené logistikou. Brno: BizBooks, 2013. ISBN 978-80-265-0059-9.
6. KRÁLOVÁ, Magda. Elektromotory. Techmania [online]. 2009 [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/elektromagneticka-indukce/elektromotory>
7. NENADÁL, Jaroslav. Management kvality pro 21. století. Praha: Management Press, 2018. ISBN 9788072615612.
8. Norma ČSN EN ISO 9000. Systémy managementu kvality – základní principy a slovník, Praha, ČNI, 2006
9. Norma ČSN EN ISO 9004. Management kvality – Kvalita organizace – Návod k dosažení udržitelného úspěchu, Praha, ČNI, 2019
10. OAKLAND, John S. Total quality management: the route to improving performance. 2nd ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 1995. ISBN 978-0750609937
11. PLÁŠKOVÁ, Alena. Metody a techniky analýzy a zlepšování kvality. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1999. ISBN 8070791195.

12. PLURA, Jiří. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. Praha: Computer Press, 2001. Business books (Computer Press). ISBN 8072265431.
13. SCOTT, Douglas Clary. Kaizen: Mastering Eastern Business Philosophy [online]. 27.7.2019 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://roioverflow.com/kaizen-mastering-eastern-business-philosophy>
14. SMEJKAL, Vladimír a Karel RAIS. Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích. 4., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4644-9.
15. SVOZILOVÁ, Alena. Zlepšování podnikových procesů. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 9788024739380

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Organizační struktura výrobního úseku podniku	40
Obrázek 2: Detailní organizační struktura oddělení předvýroby	41
Obrázek 3: Složení asynchronního elektromotoru.....	43
Obrázek 4. Výkresová dokumentace patkového elektromotoru.....	44
Obrázek 5: Zpracovaná FMEA při provozu stroje Emcoturn.....	50
Obrázek 6: Identifikované možné vady označené jako kritické z důvodu překročení stanovené hranice RPN	56
Obrázek 7: Seznam možných vad operací, u kterých nebyla ani jedna vada vyhodnocena jako kritická	58
Obrázek 8: Možná vada s nejvyšším RPN od každé operace, obsahující vadu identifikovanou jako kritickou na základě parametrů významu vady a pravděpodobnosti výskytu, část 1.....	60
Obrázek 9: Možná vada s nejvyšším RPN od každé operace, obsahující vadu identifikovanou jako kritickou na základě parametrů významu vady a pravděpodobnosti výskytu, část 2.	61

Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Hodnocení významu vady při modelování FMEA procesu	34
Tabulka 2: Hodnocení očekávaného výskytu vady při modelování FMEA procesu	35
Tabulka 3: Hodnocení odhalitelnosti vady při modelování FMEA procesu	36
Tabulka 4: Seznam činností v technologickém postupu obrábění štítu elektromotoru ..	46
Tabulka 5: Výchozí seřizovací a výrobní časy v procesu obrábění štítu elektromotoru osově výšky 80 mm při provozu stroje Emcoturn	48
Tabulka 6: Nové seřizovací a výrobní časy v procesu obrábění štítu elektromotoru osově výšky 80 mm při provozu stroje Heller	63
Tabulka 7: Srovnání výstupů stroje Emcoturn a Heller u obrobku AH80.....	64