



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

METODY ANALÝZY SPOLEHLIVOSTI

METHODS FOR RELIABILITY ANALYSIS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ludmila Ptáčková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Hana Opočenská

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka: **Ludmila Ptáčková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce: **Ing. Hana Opočenská**
Akademický rok: 2016/17

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

Metody analýzy spolehlivosti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době nabývá na významu problematika spolehlivosti, která je nedílnou součástí kvality produktu. Spolehlivost tedy bývá jedním z podstatných činitelů konkurenceschopnosti produktu, neboť produkt provází po celou dobu jeho životního cyklu.

Cíle bakalářské práce:

Zpracujte rešerši z dané oblasti. Soustřeďte se na nejčastěji využívané metody analýzy spolehlivosti. Jednu z těchto metod podrobně rozeberte a aplikujte ji na konkrétní příklad ze strojírenské praxe.

Seznam literatury:

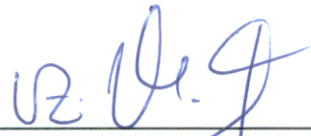
ČSN EN 60300-1. Management spolehlivosti: Část 1: Systémy managementu spolehlivosti. Praha: Český normalizační institut, 2004.

MYKISKA, Antonín. Bezpečnost a spolehlivost technických systémů. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2006, 206 s. Učební texty ČVUT v Praze. Fakulta strojní. ISBN 80-01-02868-2.

NOVÁK, Mirko, Václav ŠEBESTA a Zdeněk VOTRUBA. Bezpečnost a spolehlivost systémů. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 150 s. ISBN 80-010-2331-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 20. 10. 2016

 _____		 _____
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu		doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá metodami analýzy spolehlivosti. V teoretické části práce jsou popsány nejčastěji využívané metody analýzy spolehlivosti. Následně byla vybrána jedna z těchto metod, konkrétně metoda FMEA, a uplatněna v praxi. V rámci praktické části práce byla ve firmě SCHOTT CR, s.r.o. v Lanškrouně provedena aktualizace PFMEA na proces vrtání u konkrétního výrobku. V závěru práce je uvedena možnost využití programu APIS IQ pro tvorbu zápisu PFMEA.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with methods of reliability analysis. The theoretical part of the thesis describes the most frequently used methods of reliability analysis. Subsequently, one of these methods was selected, namely the FMEA method, and applied in practice. As part of the practical part of the work, SCHOTT CR, s.r.o. In Lanskroun, PFMEA has been updated to the drilling process for a specific product. At the end of the thesis is mentioned the possibility of using APIS IQ program for creation of PFMEA writing.

KLÍČOVÁ SLOVA

Spolehlivost, Analýza způsobů a důsledků poruch, Analýza stromu poruch/ poruchových stavů, Analýza stromu událostí, Analýza blokového diagramu bezporuchovosti, Markovova analýza.

KEYWORDS

Reliability, Failure/Fault Modes and Effects Analysis, Fault/failure tree analysis, Event Tree Analysis, Reliability Block Diagramme, Markov analysis.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Ptáčková, L. *Metody analýzy spolehlivosti*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 67 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Hana Opočenská.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucí práce Ing. Haně Opočenské za věcné připomínky, vstřícnost, cenné rady a ochotu při vytváření této bakalářské práce.

Dále bych také ráda poděkovala všem zaměstnancům firmy SCHOTT CR, s.r.o. v Lanškrouně, za možnost vypracování této práce ve firmě, za poskytnuté informace a odborné rady během zpracovávání.

V neposlední řadě děkuji mé rodině za podporu během celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Hany Opočenské a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26.5.2017

.....
Ptáčková Ludmila

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE	17
3	SPOLEHLIVOST	19
3.1	Historie spolehlivosti	19
3.2	Druhy spolehlivosti.....	19
4	METODY ANALÝZY SPOLEHLIVOSTI.....	21
4.1	Analýza stromu poruch/poruchových stavů (FTA)	22
4.1.1	Historie.....	22
4.1.2	Postup aplikace metody	22
4.1.3	Využitelnost metody	23
4.2	Analýza stromu událostí (ETA).....	23
4.2.1	Historie.....	23
4.2.2	Postup metody	24
4.2.3	Vztah metody ETA k jiným metodám analýz	24
4.2.4	Dokumentace.....	25
4.2.5	Cíl metody	25
4.3	Blokový diagram bezporuchovosti (RBD).....	25
4.3.1	Rozdělení blokového diagramu bezporuchovosti.....	25
4.3.2	Využití metody	27
4.4	Markovova analýza (MA)	27
4.4.1	Vyhodnocení analýzy.....	28
4.4.2	Dokumentace analýzy.....	28
4.5	Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA)	29
4.5.1	Historie.....	29
4.5.2	Rozdělení FMEA	29
4.5.3	Postup metody	30
4.5.4	FMEA a rizika	35
4.5.5	Použití analýzy	35
5	PRAKTICKÁ ČÁST	37
5.1	SCHOTT CR, s.r.o.....	37
5.2	Vrtačka	38
5.3	Flow Chart.....	38
5.4	Kontrolní plán.....	41
5.4.1	Kontrolní plán firmy SCHOTT CR, s.r.o. na vrtání	41
5.5	Prováděcí předpis FMEA firmy SCHOTT CR, s.r.o.	42
5.5.1	Hodnotící tabulky	47
5.6	Aktualizovaná PFMEA a její zhodnocení.....	49
5.7	Program APIS IQ.....	54
5.7.1	Strom vytvoření v programu APIS IQ	54
5.7.2	Ukázka zapsání PFMEA v programu APIS IQ	55
6	ZÁVĚR	57
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	59
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	61
8.1	Seznam tabulek.....	61

8.2	Seznam obrázků.....	61
8.3	Seznam zkratek.....	62
9	SEZNAM PŘÍLOH.....	63
10	PŘÍLOHY.....	65

1 ÚVOD

Spolehlivost je nedílnou součástí jak lidského, tak především firemního života. Prošla složitým historickým vývojem zejména v leteckém průmyslu, kdy se poprvé začal užívat pojem spolehlivost objektů. V posledních 30 letech se tento pojem začal rozvíjet v oblasti teorie a došlo k vývoji metod analýz spolehlivosti.

Se spolehlivostí se můžeme setkat v mnoha oblastech, a to jak v oblasti matematiky a bezpečnosti, tak v problematice kvality.

V mnoha firmách po celém světě se můžeme setkat zejména se spolehlivostí v podobě prediktivních analýz spolehlivosti, tzn. na základě pozorování a zkušeností se pomocí analýz předvídá budoucí stav či chování objektu. Mezi nejrozšířenější metody analýz spolehlivosti patří Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA) a Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch (FMECA). Mezi další používané metody patří Blokový diagram bezporuchovosti (RBD), Markovova metoda, ale i metody Analýza stromu poruch/poruchových stavů (FTA) a Analýza stromu událostí (ETA).

Výše uvedené metody se využívají k přezkoumání, získávání a uspořádávání informací o ukazatelích bezporuchovosti, pohotovosti a udržitelnosti, dále také k přezkoumání bezpečnostních systémů. Hlavním důvodem, proč v dnešní době firmy provádějí analýzu spolehlivosti je udržení konkurenceschopnosti, což souvisí s oblastí identifikace možných rizik, zjišťování příčin jejich vzniku a pomocí vhodných metod jejich minimalizace.

Všechny analýzy spolehlivosti musí být vedené podle předem stanovených pravidel a postupů, které jsou uvedeny například v mezinárodních normách. Firmy si tyto předpisy mohou upravit podle svých potřeb a směrnic.

Teoretická část práce se zabývá popisem jednotlivých metod analýzy spolehlivosti, které jsou v dnešní době nejvíce využívány. Klíčovou metodou pro tuto práci je metoda PFMEA, proto je na tuto metodu kladen větší důraz.

Praktická část práce se soustředí právě na metodu PFMEA. Dle požadavku firmy došlo k přezkoumání stávající PFMEA na proces vrtání u výrobků s označením 16.781.006 a 16.786.006, tj. bylo provedeno přezkoumání všech možných způsobů poruch, případně jejich doplnění a přehodnocení. V závěru práce je uveden program pro vytváření PFMEA analýzy.

2 MOTIVACE

Podstatná část bakalářské práce je soustředěna na analýzu PFMEA. Jedná se o jednu z nejrozšířenějších a nejpoužívanějších metod pro zjišťování vad a rizik skoro ve všech odvětvích průmyslu. Je to pružná metoda, která díky pracovním listům umožňuje přehledně zapisovat možné způsoby poruch.

Praktická část bakalářské práce byla prováděna v mezinárodní firmě SCHOTT CR, s.r.o. v Lanškrouně, která má dlouhodobou tradici ve výrobě speciálních materiálů, jako například skleněné trubice a skla pro mikroskopii.

V této firmě se PFMEA aktualizuje jednou za půl roku nebo při reklamaci a je tak živým dokumentem pro celou firmu. To je i důvod aktualizace PFMEA na vrtání v této bakalářské práci. V současné době je PFMEA vkládána do excelu, což je v dnešní době, kdy je vyráběno mnoho součástek, nedostačující. Vedení této firmy tak uvažuje o koupi programu, který by celou práci s PFMEA analýzou usnadnil. Byla by přehlednější a zaměstnanci v jednotlivých úsecích výrobního procesu by měli přístup k nahlédnutí do analýzy pro daný výrobek, jak v české, tak v anglické verzi (nyní mají zaměstnanci na intranetu přístup pouze k verzi anglické). Návrh programu, který by společnost mohla zakoupit je na konci praktické části bakalářské práce.

V bakalářské práci bude uvedena část PFMEA analýzy jednoho výrobku – proces vrtání, která bude porovnána se stávající PFMEA analýzou.

3 SPOLEHLIVOST

Spolehlivost je nedílná vlastnost produktu, se kterou se setkáváme v každodenním životě.

V normě ČSN IEC 50 (191) - Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spolehlivost a jakost služeb je spolehlivost definována jako: „*souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují: bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost údržby*“ [1].

3.1 Historie spolehlivosti

Pojem spolehlivost objektů se začal používat s vývojem nových a poměrně složitých zbraňových systémů, kdy se jednalo zejména o techniku raketovou, která se vyvíjela v Německu. Tradiční postupy vývoje raketové techniky nezaručovaly efektivní bojové nasazení. Nezaručovaly správnou funkci rakety (zásah cíle s vysokou pravděpodobností). Tyto informace přiměly projektanty, aby se na vědeckém základě zabývali systematicky spolehlivostí raket. Tímto byly definovány první zákony spolehlivosti funkce, a to sériových a paralelních systémů. První definice spolehlivosti zní: „*Spolehlivost jako pravděpodobnost, s jakou bude objekt schopen plnit bez poruchy požadovanou funkci po stanovenou dobu a v daných provozních podmínkách*“ [1]. Podruhé můžeme spolehlivost definovat: „*jako obecnou schopnost výrobku plnit požadované funkce po stanovenou dobu a v daných podmínkách, která se vyjadřuje dílčími vlastnostmi, jako jsou bezporuchovost, životnost, opravitelnost, pohotovost apod.*“ [1]. Jedná se o spolehlivost v širším pojetí, která je znázorněna na obr. č. 1. Druhá definice vznikla později, neboť první definice při aplikaci nevystihuje dobře spolehlivost složitých opravovaných systémů, které se mohou nacházet v různých opravovaných stavech v daném okamžiku. V této definici se obecně hovoří o schopnosti plnit požadovanou funkci, a ne o její pravděpodobnosti, jako je tomu u první definice. Dalším rozdílem je, že u druhé definice bereme v úvahu i další vlastnosti systému, ne pouze bezporuchovost. [1]

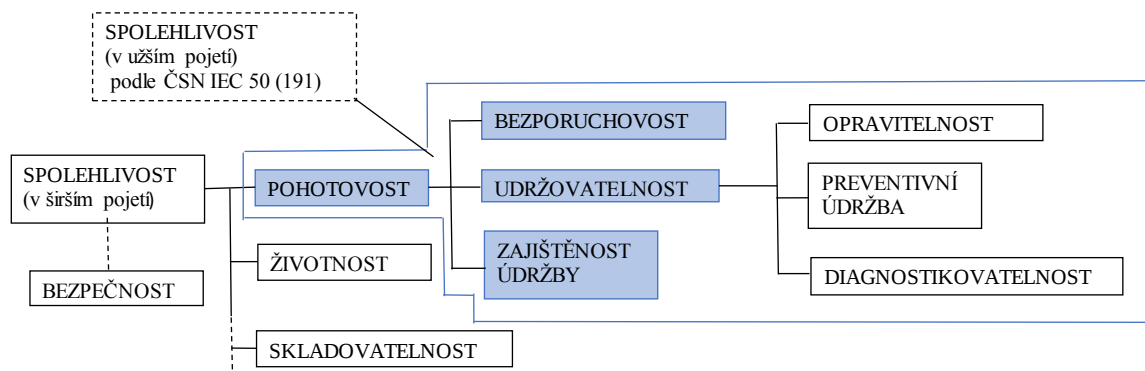
V posledních 30 letech došlo k zásadnímu rozvoji spolehlivosti objektů, a to především díky intenzitě výzkumu v oblasti teorie spolehlivosti. Dále došlo i k vývoji metod analýz spolehlivosti, metod zkoušek spolehlivosti, výpočetních modelů a dalších nástrojů, které mohou ovlivňovat (nebo je ovlivňují) spolehlivost objektů. [1]

3.2 Druhy spolehlivosti

Pro technickou praxi jsou důležité tyto tři druhy spolehlivosti: [1]

- Inherentní spolehlivost – jedná se o tzv. spolehlivost vloženou, která se do objektu vkládá během jeho návrhu a výroby. Vlivy, které zhoršují provozní podmínky (nebo podmínky prostředí, způsobu údržby či lidského faktoru) nejsou zahrnuty.
- Provozní spolehlivost – tato spolehlivost bere v úvahu provozní a jiné podmínky.
- Odhadovaná neboli predikovaná spolehlivost – jedná se o spolehlivost projektovaného objektu, která je výsledkem analýz, výpočtů a různých prognóz spolehlivosti. Jedná se o výsledek na základě použitých metod odhadu, různých vstupních informací o spolehlivosti daných prvků, použitého výpočtového modelu spolehlivosti systému, možností a schopností analytika, který daný odhad provádí.

Spolehlivost můžeme vnímat v širším a užším významu na obr. 1 jako vědu o nesprávné nebo naopak správné funkci objektu, který tyto podmínky zkoumá a zjišťuje možnosti jejich ovlivňování, ověřování a měření. Zaměřuje se také na zkoumání příčin a důsledků nesprávné funkce. [1]



Obr. 1) Spolehlivost v širším a užším pojetí [2]

Popis obr. 1: [2]

Spolehlivost v širším pojetí – po stanovenou dobu a za daných podmínek užívání je objekt brán jako stálá užívaná vlastnost, například funkčnost, ekologie atd. Vyjadřuje se také jako životnost, skladovatelnost atd. a jejich kombinací v konkrétních případech.

- Spolehlivost v užším pojetí – v normách ČSN EN ISO 9000 a ČSN IEC 50 (191) je popsána jako termín, který je užíván pro popis pohotovosti a činitelů, jenž ji dále ovlivňuje, jako je například bezporuchovost, zajištěnost údržby a udržovatelnost.
- Bezpečnost – je to určitá vlastnost objektu, která plněním daných funkcí je ve stavu, v němž jsou rizika omezená na přijatelnou úroveň. Jsou to rizika ohrožení zdraví a života osob, životního prostředí či poškození majetku.
- Životnost – jedná se o plnění požadovaných funkcí objektu v daných podmínkách užívání a údržby až do mezního stavu, který je charakterizován ukončením života objektu z technického, ekonomického či jiného důvodu.
- Pohotovost – za předpokladu, že jsou zajištěny všechny požadované prostředky, může objekt vykonávat požadovanou funkci v daných podmínkách a daném časovém okamžiku.
- Bezporuchovost – objekt má schopnost plnit bez poruchy danou funkci za určitých podmínek a v daném časovém intervalu.
- Udržovatelnost – v daných podmínkách užívání má objekt schopnost setrvat ve stavu (nebo se do něj navrátit), kde může plnit požadovanou funkci, a to za předpokladu, že se údržba provádí za určitých podmínek a používají se stanovené prostředky a postupy.
- Zajištěnost údržby – určitá schopnost organizace, která poskytuje údržbářské služby, zajistit podle požadavků údržbu objektu za daných podmínek a potřebnými prostředky.

4 METODY ANALÝZY SPOLEHLIVOSTI

Spolehlivostní model systému se používá pro vymezení spolehlivosti, a to znázorněním grafickým, matematickým či popisem struktury systému. Tyto systémy vyjadřují vztah mezi vlastnostmi spolehlivosti a strukturou systému za daných podmínek užívání. Analýza poruchy systému se provádí dvěma způsoby. A to: [2]

- deduktivně – při řešení analýzy postupujeme shora dolů, deduktivní postup řešení využívá například metoda FTA,
- induktivně – při řešení analýzy postupujeme zdola nahoru, tento způsob využívá například FMEA metoda.

Tyto postupy se ve většině případů mohou kombinovat. [2]

V tabulce č. 1 je přehled použití jednotlivých metod v analýze spolehlivosti.

Tab 1) Použití vybraných metod analýzy spolehlivosti [2]

Název a označení metod	Rozvržení požadavků na spolehlivost	Kvalitativní analýza	Kvantitativní analýza	Přezkoumání a doporučení	Norma IEC
Analýza stromu poruch/ poruchových stavů - FTA	Použitelná, není-li chování systémů silně závislé na čase nebo pořadí	Kombinace poruchových stavů	Výpočet bezporuchovosti a pohotovosti systémů a relativních příspěvků podsystémů k nepohotovosti systému	Použitelná	IEC 61025
Analýza stromu událostí - ETA	Možná	Posloupnosti poruch	Výpočet intenzit poruch	Použitelná	
Analýza blokového diagramu bezporuchovosti - RBD	Použitelná pro systémy s nezávislými bloky	Cesty úspěchu (dosažení funkceschopného stavu)	Výpočet bezporuchovosti a poruchovosti systému	Použitelná	IEC 61078
Markovova analýza - MA	Použitelná	Posloupnosti poruch	Výpočet bezporuchovosti a pohotovosti systémů	Použitelná	IEC 61165
Analýza způsobů a důsledků poruch (kritičnosti) - FMEA (FMECA)	Použitelná pro systémy, v nichž převládají jednotlivé nezávislé poruchy	Důsledky poruch		Použitelná	IEC 60812
Analýza Petriho sítí	Použitelná	Posloupnosti poruch	Pro poskytování popisu systému pro Markovovu analýzu	Použitelná	IEC 62551
Studie HAZOP	Podpůrná	Příčiny a důsledky odchylek	Nepoužitelná	Podpůrná	IEC 61078
Analýza bezporuchové činnosti člověka - HRA	Podpůrná	Dopad výkonnosti člověka na provoz systému	Výpočet pravděpodobnosti chyb při plnění úkolů člověkem	Podpůrná	

4.1 Analýza stromu poruch/poruchových stavů (FTA)

Tato metoda se užívá v kvalitativní i kvantitativní analýze spolehlivosti a bezpečnosti systémů. Jedná se o metodu deduktivní, řeší se tedy shora dolů. FTA se zaměřuje na zjišťování příčin či kombinaci příčin, kde následkem může být tzv. vrcholová událost. Je vhodná pro analýzu složených systémů, které jsou složené z funkčně závislých či vázaných podsystémů, které dále slouží k určování plnění funkcí, například komunikační systém, technologická výrobní linka nebo elektrárna. [2][3]

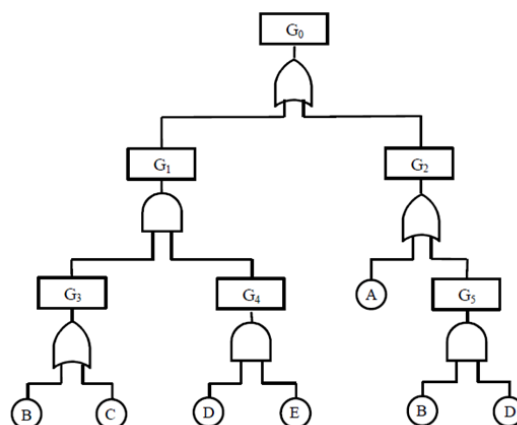
4.1.1 Historie

Tuto metodu vyvinula a následně použila firma Bell Telephone Laboratories v roce 1962 a to v souvislosti s vývojem bezpečnostního systému startovací rakety Minuteman. Firmou Boeing byla později zdokonalena a byly navrženy první programy pro výpočet kvalitativního a kvantitativního vyhodnocení stromu poruch. Rychle se rozšiřovala například v jaderné energetice, kde jsou předmětem analýzy složené technické systémy. [2]

4.1.2 Postup aplikace metody

Postup aplikace metody můžeme rámcově charakterizovat ve čtyřech skupinách činností.

- 1) Definujeme analyzovanou vrcholovou událost neboli top event, dále se zjišťují možné příčiny či druhy poruchových stavů, a to na nejbližší nižší funkční systémové úrovni. Vše se vymezuje po vyjasnění vyžadovaných funkcí, získání podrobných informací o návrhu a provozních podmínkách systému.
- 2) Následně se postupně rozvíjí vrcholová událost, a to k dalším jevům nižší úrovně. Během rozvíjení se hledají a posuzují veškeré možné příčiny vzniku poruchového nadřazeného jevu.
- 3) Popis důvodů kteréhokoli identifikovatelného jevu na všech úrovních by měl mít odpověď na otázky: Kde? Kdy? Co? Proč? V podobě stromu poruch/poruchových stavů se zobrazují výsledky analýzy. Ty se nakreslí pomocí standartního označení neboli symbolů, ukázkou symbolů lze nalézt v tabulce č. 2.
- 4) V závislosti na cílech analýzy se provádí kvantitativní nebo kvalitativní analýza (možno použít oba způsoby) a to vždy na základě sestaveného stromu poruch/poruchových stavů. Výstupem analýzy je pravděpodobnost, s jakou nežádoucí vrcholová událost může nastat v provozu během určeného časového intervalu, a přehled kombinací poruch prvků, faktorů provozních podmínek, chyba lidského faktoru či podmínek prostředí. [2]



Obr. 2) Strom poruchových stavů [1]

Tab 2) Výběr často používaných značek pro znázornění stromu poruch/poruchových stavů [3]

Doporučená značka	Název	Název a popis
	TOP EVENT (vrcholová událost)	Blok s názvem nebo popisem vrcholové události.
		Blok s názvem nebo popisem události (jevu), případně s uvedením pravděpodobnosti výskytu (pokud se to požaduje).
	BASIC EVENT (základní událost)	Událost na nejnižší úrovni, pro kterou jsou k dispozici pravděpodobnosti výskytu nebo informace o bezporuchovosti.
	UNDEVELOPED (nerozvíjená událost)	Primární událost, která reprezentuje část systému, která dosud nebyla rozvíjena.
	Hradlo AND	Hradlo AND (a) - událost nastane pouze tehdy, když současně nastanou všechny vstupní události.
	Hradlo OR	Hradlo OR (nebo) - událost nastane tehdy, když nastane kterákoliv vstupní událost, nebo jejich libovolná kombinace.

Kombinace poruch prvků a poruchových jevů ilustruje sestavený strom poruch na obr. 2, kde G_i znamená pravděpodobnost jevu. Tento strom má formu logického diagramu a má znázorňovat logické vztahy mezi jevy (tedy potenciální vrcholovou událostí). Mezi hlavní výhody tvorby stromu patří to, že tvůrce (analytik poruch) si musí představit a poté i znázornit logiku a rozvoj poruchy v systému. Musí zjistit všechny vazby mezi jednotlivými prvky, a to až do zvoleného stupně složitosti systému. Důsledkem je možnost včasného odhalení slabých míst v systému už během návrhu a vývoje systému. [3]

4.1.3 Využitelnost metody

Aplikace této metody umožňuje prošetřovat a zaznamenávat logické postupy poruch od specifikovaných důsledků zpátky k původním příčinám, vyhledávat možné příčiny konečných dopadů, které nebylo možné předpovídat, zjišťovat příčiny poruch atd. Využití této metody má i svá omezení, protože je zaměřena na analýzu poruch, tudíž se nezabývá údržbou a opravou. Metoda může vést k rozsáhlým stromům z důsledku rozšiřování analýzy do hloubky (jedna událost se může objevit i vícekrát v různých částech stromu), což znamená, že může vést k chybným úvahám. [2]

4.2 Analýza stromu událostí (ETA)

Tato metoda je induktivní, což znamená, že při řešení postupujeme nejdříve zdola nahoru a je vhodná pro všeobecné posuzování spolehlivosti. Metoda ETA je podobná metodě FTA (analýza stromu poruch/poruchových stavů). [2][3]

4.2.1 Historie

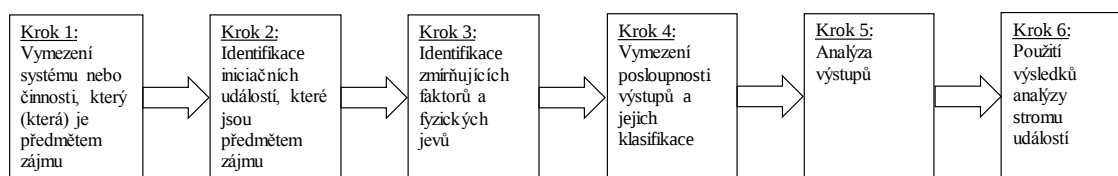
V šedesátých letech dvacátého století byla vypracována koncepce metody ETA, která obsahovala základní principy a byla poprvé použita pro jaderný průmysl v roce 1975. V následujících letech se rozšiřovala jako analýza rizika a spolehlivosti. Metoda ETA se nyní používá v mnoha odvětvích průmyslu, například v leteckém, jaderném, automobilovém, při těžbě ropy a plynu. [3]

4.2.2 Postup metody

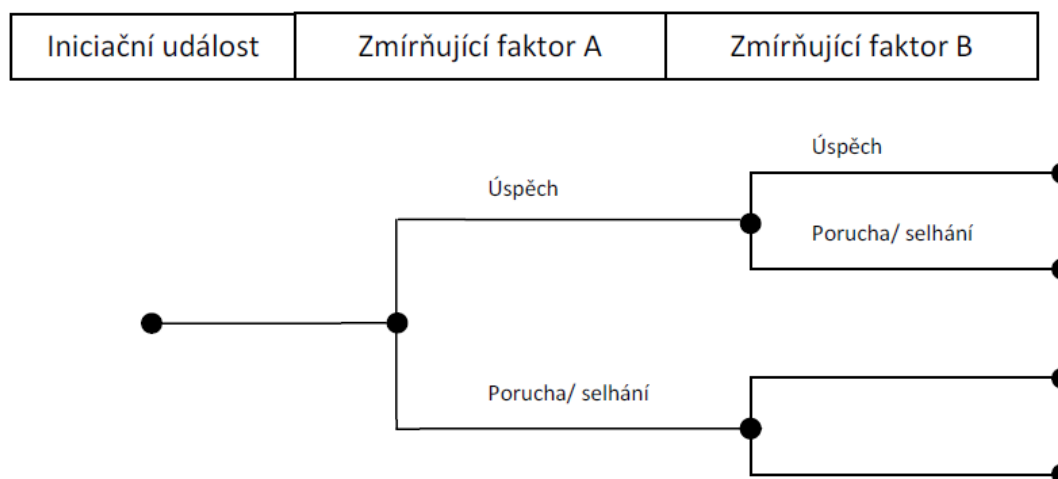
Na základě odpovědi na otázku „co se stane, když ...“ analytik sestavuje strom možných výstupů. Tento strom událostí pak ukazuje postup a výsledek, jedná se o tzv. logickou síť. Síť umožňuje analyzovat posloupnost podsystémů, které na sebe navazují, z hlediska správné funkce nebo naopak selhání, při vzniku nežádoucích (iniciačních) událostí v systému. Vyjadřuje veškeré stavy správných funkcí a poruch navazujících podsystémů. Metoda ETA se může používat jako doplňující metoda metody FTA. [2][3]

Strom událostí můžeme v některých případech zjednodušit, a to v případě, pokud určitá událost řídí výsledek nehlédě na následnou událost. [2]

Hlavní kroky jsou zobrazeny na obr. 3 a obr. 4 znázorňuje příklad stromu událostí.



Obr. 3) Hlavní kroky postupu metody [3]



Obr. 4) Strom událostí [3]

4.2.3 Vztah metody ETA k jiným metodám analýz

Metoda ETA se může používat jako samostatná metoda, v jiném případě je to doplňková technika metody FTA. Při kombinování těchto dvou metod, tedy metody ETA s metodou FTA, lze zvolit při řešení stromu dva přístupy. Můžeme použít přímý přístup, tzv. LESF (v tomto přístupu se objevují stavy všech systémů), ale pokud bude strom příliš velký, použijeme jiný přístup. Tímto přístupem může být například LOPA, je to zvláštní normalizovaná forma analýzy ETA. Je to jednodušší prostředek pro analýzu rizik, která je přizpůsobena pro určité prostředí aplikace. LOPA je jako analýza FMEA (analýza způsobů a důsledků poruch) uspořádána ve formě pracovního listu. Ochranné vrstvy se zapisují do sloupců a iniciační události do řádků. Metody ETA je doplňující technikou Markovovy metody či RBD (blokové diagramy bezporuchovosti). [3]

4.2.4 Dokumentace

Dokumentace musí obsahovat minimálně tyto části: [3]

- rozsah a cíl platnosti analýzy ETA,
- popis systému, který obsahuje návrh, provoz systému a důkladně vytyčené hranice systému,
- předpoklady o návrhu systému, o provozu, údržbě, zkouškách a kontrolách, o modelování bezporuchovosti a pohotovosti,
- analýzu, která obsahuje důvody a zdroje iniciačních událostí, analýzu i s grafickou částí a použitými zdroji dat,
- výsledky, závěr a doporučení.

4.2.5 Cíl metody

Vyhodnocuje následek události a učiní opatření pro možnou redukci velmi pravděpodobného, ale nežádaného následku. Tuto metodu lze považovat za výhodnou, pokud se vede jako dodatek metody FTA, tedy jako analýza stromu poruch. Pokud začínáme induktivně, sledujeme při této analýze možné cesty události (poruch) pro určení pravděpodobného následku závad. Po získání stromu událostí lze vypočítat pravděpodobnost všech konečných událostí. [2]

4.3 Blokový diagram bezporuchovosti (RBD)

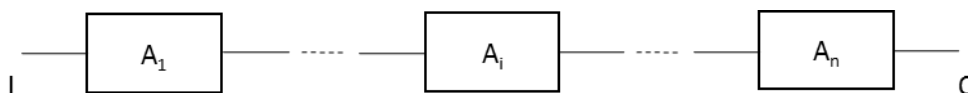
Analýza RBD je deduktivní metoda analýzy bezporuchovosti, která se zakládá na aplikaci speciálního diagramu nazývaného blokovým diagramem bezporuchovosti. Jedná se o grafické zobrazení struktury systému, a to v podobě podsystémů. Umožňuje zobrazit jednoduše tzv. cestu úspěchu bezporuchového stavu systému, a to tím způsobem, že propojí bloky diagramů a tímto způsobem zobrazuje, jak je porucha systému závislá na poruchách jeho prvků. Pokud existuje alespoň jedno úspěšné propojení mezi vstupem a výstupem blokového diagramu, pak tento systém označujeme jako bezporuchový stav systému. [2][4]

4.3.1 Rozdělení blokového diagramu bezporuchovosti

Sériové a paralelní zapojení blokového diagramu jsou dva základní způsoby, které po vzájemné kombinaci vytvářejí různá smíšená zapojení. [2]

Sériový blokový diagram bezporuchovosti

Sériové zapojení blokového diagramu bezporuchovosti na obr. 5 znázorňuje bezporuchový stav systému, kde $A(t)$ je funkce pohotovosti. Tento jev nastane, pokud jsou v bezporuchovém stavu všechny jeho prvky, což znamená, že pokud se porouchá libovolný prvek, způsobí poruchu celého takto zapojeného systému. [2]

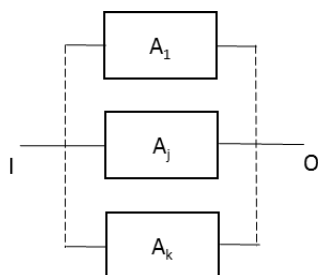


Obr. 5) Sériové zapojení bloků RBD [2]

Sériový poruchový model neboli blokový diagram bezporuchovosti se sériovým zapojením bloků, znázorňuje bezporuchovosti (životnost) systému bez použití přebytečných technických prostředků. Bezporuchovost všech prvků zajišťuje bezporuchový stav systému. [2]

Paralelní blokový diagram bezporuchovosti

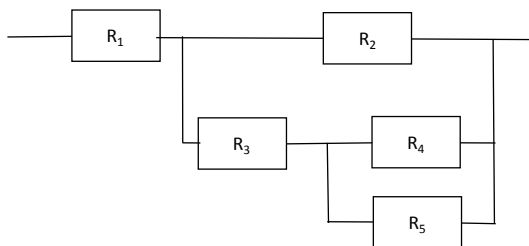
Paralelní zapojení RBD na obr. 6 graficky znázorňuje případ, kdy k poruše dojde pouze tehdy, pokud mají poruchu všechny prvky v systému. Může se označovat i jako paralelní systém či paralelní poruchový model. Záložními prvky nazýváme ty prvky, které jsou použity pouze ke zvýšení bezporuchovosti systému. Zálohováním se označují nadbytečné technické prostředky, které vedou ke zvýšení bezporuchovosti systému. [2]



Obr. 6) Paralelní systém RBD [2]

Směšený blokový diagram bezporuchovosti

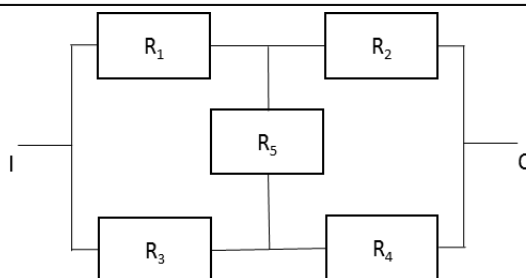
Směšený blokový diagram bezporuchovosti na obr. 7 je kombinací obou základních zapojení prvků (sériového a paralelního), kde $R(t)$ znamená pravděpodobnost bezporuchového provozu. Při výpočtu ukazatelů bezporuchovosti se používá postupné řešení vztahů pro jednotlivá sériová a paralelní zapojení. Při postupu od menších, jednotlivých zapojení se dospěje ke vztahu pro celý systém. [2]



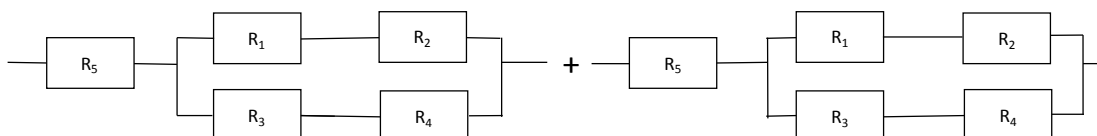
Obr. 7) Smíšené zapojení RBD [2]

Můstkové zapojení bloků diagramu bezporuchovosti

Jedná se o systém, který není tvořen kombinací jednotlivých sériových a paralelních zapojení (obrázky 7). Vhodným postupem při řešení je převést tento systém na smíšený systém, což umožňuje metoda rozkladu neboli metoda vyloučení klíčového prvku. Klíčový prvek se volí tak, že prvek, který prochází nejvíce spojeními ze vstupu na výstup blokového diagramu, se vyloučí a nahradí plnou čarou. Takový prvek je například R_5 v obr. 8. Poté se provede rozklad můstkové struktury na dvě jednodušší struktury na obr. 9. [2]



Obr. 8) Můstkové zapojení RBD [2]



Obr. 9) Rozklad můstkového zapojení [2]

4.3.2 Využití metody

Metoda blokového diagramu bezporuchovosti je využívána pro kvalitativní, a hlavně kvantitativní analýzu. Dále se využívá pro výpočet ukazatelů bezporuchovosti a bezpečnosti u jednodušších až středně složitých systémů. Obtížnější je ji využívat pro složité systémy s opravovanými prvky, které jsou vzájemně závislé na vzniku poruch. [2]

4.4 Markovova analýza (MA)

Markovova analýza je založena na teorii o náhodných procesech pro aplikaci na oblast analýzy spolehlivosti systémů. [2]

Ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti či bezpečnosti systému lze vypočítat z diagramů (modeluje chování systému v čase) přechodů mezi stavy, které se používají při Markovových technikách a znázorňují tak grafické chování systému z hlediska bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti a bezpečnosti. Pro zálohované systémy nebo systémy, u kterých vada systému je nějakým způsobem závislá na posloupnosti událostí, nebo systémů, které obsahují složitější strategie ohledně údržby, pak je vhodné použít právě Markovovu techniku. Pracovník, který tuto analýzu provádí, musí zjistit, zda model přiměřeně odráží provoz reálného systému, a to s ohledem na danou strategii a politiku údržby. [4]

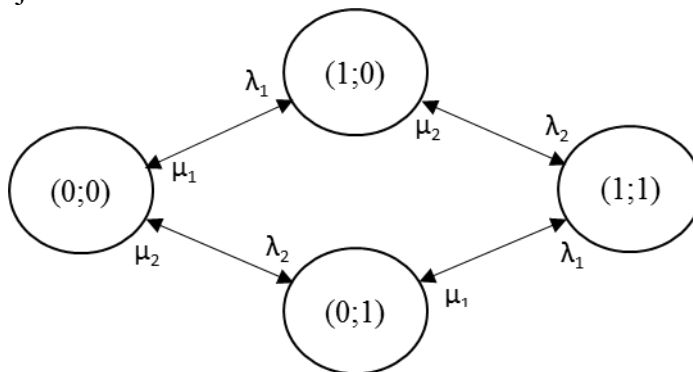
Jedna z hlavních výhod Markovovy analýzy je snadné modelování strategie údržby (priority obnov jednotlivých prvků) za předpokladu, že se přijmou předpoklady a omezení. [4]

Další výhodou Markovovy analýzy je, že tato metoda je pružná a všestranně použitelná, ale pokud jsou potíže při řešení praktického použití, pak je nutná určitá opatrnost. Naopak nevýhodou a problémem při řešení je, že s narůstajícím počtem prvků v systému rychle narůstá i počet stavů systému a možných přechodů. To zvyšuje pravděpodobnost, že se v analýze vyskytnou chyby a nesprávná znázornění. [4]

4.4.1 Vyhodnocení analýzy

Cílem analýzy je stanovit hodnoty ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti systému. Před samotným vyhodnocením analýzy se musejí provést všeobecné úkoly, jako: [4]

- cíl analýzy – cílem je stanovení odhadu jednoho či více ukazatelů, jako jsou například: bezporuchovost, pohotovost, udržovatelnost atd.,
- vymezení znaků systému a ohraničení podmínek analýzy,
- ujištění, že daný úkol, který se řeší, je vhodný pro řešení Markovovou analýzou,
- v neposlední řadě jsou důležitá vstupní data a model, který odborníci přezkoumávají.



Obr. 10) Diagram MA se dvěma obnovitelnými prvky [2]

Obrázek 10 znázorňuje diagram Markovovy analýzy stavových přechodů pro systém se dvěma obnovitelnými prvky, kde 0 značí funkční jednotku a 1 jednotku nefunkční. Což znamená, že pokud máme v diagramu například (0;1) máme jednu jednotku funkční a jednu, která funkční není. $\lambda(t)$ znázorňuje intenzitu poruch [h^{-1}] a $\mu(t)$ intenzitu oprav [h^{-1}]. [2]

4.4.2 Dokumentace analýzy

Výsledky analýzy se musejí zdokumentovat ve zprávě a zahrnují tyto prvky: [4]

- upřesnění požadovaných ukazatelů – bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti,
- hlavní předpoklady, které je vhodné použít, a to včetně jejich oprávněnosti – konstantní předpoklad intenzit poruch a obnov,
- vhodné použití techniky,
- popisy v diagramu znázorňují přechody mezi stavy s hloubkovým zkoumáním, a to z různých hledisek, například: z hlediska identifikace nepoužitelných a použitelných stavů nebo z hlediska přechodu mezi stavy atd.,
- popis metod výpočtu či počítačového programu (pokud se používá při řešení analýzy),
- následně se uvádí výsledky v grafickém a číselném tvaru, uvádí se též vlivy použitých předpokladů při zpracovávání tohoto diagramu (přechodu mezi stavy) a následně se zaznamenají výsledky analýzy citlivosti.

Markovova analýza je vhodný nástroj při posuzování pohotovosti, udržovatelnosti, bezpečnosti a bezporuchovosti. Díky zjištěným výsledkům se mohou provádět návrhy na konstrukční změny a změny v údržbě (studie nákladů a výnosů). [4]

4.5 Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA)

Metoda se nazývá též jako Analýza možností vzniku a jejich následků. FMEA uspořádává druhy a důsledky poruch/poruchových stavů podle stupně jejich závažnosti za účelem zjištění příčin. Je to strukturovaná systematická kvalitativní analýza, která slouží k zjištění možných způsobů poruch a poskytování informací ke snížení rizika potenciálních způsobů poruch. [2] [5]

Návrh a provádění nápravných opatření navazuje na analýzu. Nápravná opatření slouží k odstranění možných vad. Tato metoda se využívá v etapě vývoje, návrhu a procesů. Metoda FMCA (Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch) je rozšíření metody FMEA o hodnocení kritičnosti důsledků vad. [2][5]

4.5.1 Historie

Metodu FMEA byla vyvinuta a realizována v 50. letech 20. století armádou USA, ta vydala první postup pro použití metody v roce 1949. V 60. letech došlo k rozšíření metody, a to v souvislosti se zabezpečením spolehlivosti nových technických systémů. Tyto systémy se mohly vyznačovat složitostí, pokud by systém selhal, mohl vést ke katastrofálním následkům velkého rozsahu. Díky kosmickému projektu zvanému Apollo se metoda osvědčila a rychle rozšířila do mnoha oborů, zejména automobilového. [2][3]

4.5.2 Rozdělení FMEA

FMEA je dále rozšiřována podle způsobu použití na: [3][6]

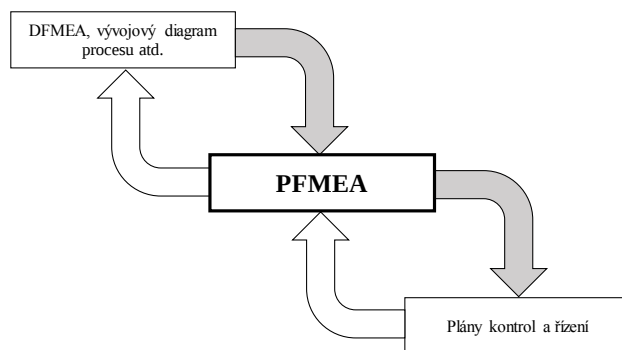
- FMEA konstrukční (DFMEA) – nazývaná FMEA návrhu; používá se pro potřeby analýzy produktu, resp. technického návrhu projektu (ještě před konstrukcí samotného dílu). Výrobky se navrhují tak, aby se při jejich výrobě a montáži minimalizovaly náklady. Umožňuje hledat nová inovativní řešení a analyzovat koncepty výroby a montáže.
- FMEA procesní (PFMEA) – používá se pro potřebu analýzy procesu. Provádí se před instalací a spuštěním návrhu, tedy ve fázi návrhu procesu. Vyhledává a hodnotí možnosti selhání procesu a jeho efektivnost. Dokumentuje proces, jeho výsledky a napomáhá určit priority technikům a managementu v přidělování odpovědnosti, termínů a finančních prostředků, které jsou důležité pro řešení opatření (k eliminaci potenciálních selhání).

Existují i další způsoby použití analýzy, například: [3]

- FMEA systémová – nazývána funkční FMEA; používá se pro analýzu funkce stupně systému,
- FMEA konceptu – používá se v první fázi cyklu produktu.

Vazby

Na obr. 11 jsou uvedeny některé běžné vazby, protože PFMEA není „izolovaný“ dokument.



Obr. 11) Vazby s PFMEA [7]

Vazby na DFMEA

Znalosti a informace získané při vypracování DFMEA je důležité využít i při vypracování PFMEA. DFMEA se zaměřuje na funkci dílu, PFMEA na výrobní kroky nebo na výrobní proces, proto může někdy docházet k těžkostem, neboť jejich zaměření jsou odlišná. Zápisy ve formuláři se liší, ale při porovnání celkové analýzy návrhu produktu a procesu je možné zjistit souvislosti. Na odpovědném týmu závisí vypracování PFMEA a zjišťuje se, zda všechny způsoby poruch se vztahují k procesu a vedou k důsledkům vztahujícím se k produktu a jsou mezi DFMEA a PFMEA shodné. [7]

Vazby na plán kontroly a řízení

K přehledu doporučených opatření a jejich následovného sledování je dobré vypracovat i plán kontroly a řízení. Stávající nástroje řízení PFMEA by měly být shodné s metodami řízení specifikovanými v plánu kontroly a řízení, a to vše musí zajistit odpovědný tým, který vypracovává plán kontroly a řízení. [7]

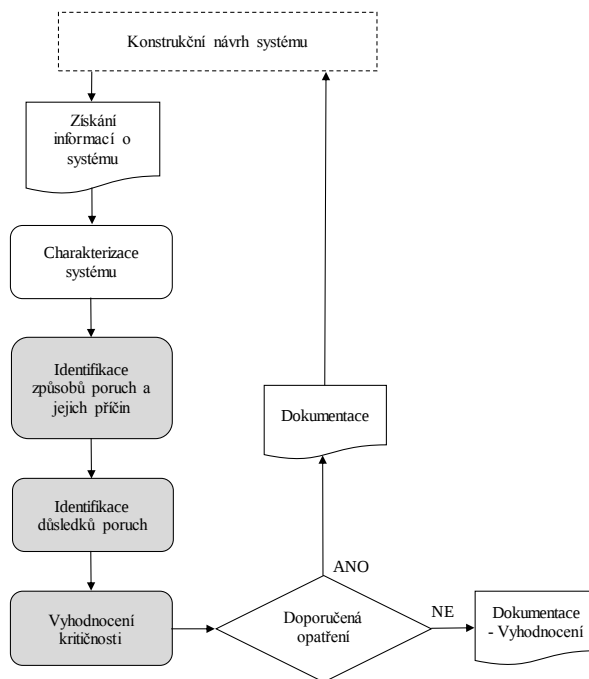
4.5.3 Postup metody

Analýzy prováděné pomocí metodami FMEA a FMECA se provádějí ve fázích vývoje produktu či procesu zejména tam, kde je předpokládán nějaký stupeň rizika. Můžeme vzít v úvahu různé faktory, například nové technologie či procesy, návrhy, změnu prostředí atd. Metody FMEA a FMECA jsou jedny z nejvyužívanějších metod analýz rizik, resp. analýz bezporuchovosti. Mohou se provádět na jednotlivých částech či systémech vytvářené produktem, procesem, výrobním zařízením nebo softwarovým systémem. [2][3] FMECA je metodou induktivní. [3]

Samotný postup lze rozdělit do tří částí: [3]

- přípravná fáze,
- vlastní FMEA (FMECA),
- vyhodnocení analýzy.

Na obr. 12 je graficky znázorněn zjednodušený postup analýzy. [3]



Obr. 12) Postup analýzy FMEA (FMECA) [3]

Přípravná fáze:

V této části je důležité nashromáždění informací a podkladů nezbytných pro vykonání vlastní analýzy. Mezi tyto potřebné základní informace patří: [3]

- získání cíle a účelu analýzy,
 - termíny splnění analýzy,
 - žádaná hloubka analýzy,
 - požadavky systému na spolehlivost a bezpečnost,
 - informace v systému, struktuře a funkcích,
 - zprávy o provozních podmínkách, systému údržby a podmínkách prostředí,
 - informace o využití softwarové podpory.
- Účel a cíle analýzy: Přesné vymezení účelu analýzy se provádí proto, aby: [3]
 - byla šance dokázat, že daný systém vyhovuje požadavkům na spolehlivost a bezpečnost,
 - byly dány kritické komponenty systému, a to z hlediska neblahých dopadů jejich závad pro plnění hlavních funkcí systému,
 - byly poskytovány vstupní informace pro návrh daného systému diagnostiky systému a technické údržby.
 - Požadovaná hloubka analýzy: Požadovaná hloubka je předmětem analýzy a je potřebná ke stanovení nejnižší úrovně. Komponenty dané na jedné úrovni jsou považovány za nedělitelné, plní jasně definovanou funkci a mají jasně vymezené způsoby vad. Při určování nejnižší úrovně bereme v úvahu: [3]
 - stanovení: účel a cíl analýzy,

- složitost systému, který je analyzován,
- stupeň vědomostí o funkcích a způsobech poruch systému na všech stupních struktury systému,
- specifikovaný nebo zamýšlený stupeň nápravné a preventivní údržby,
- možnosti znázornění funkcí systému pomocí symbolů na všech úrovních jeho struktury,
- použití softwaru pro analýzu.

O nejnižší úrovni analýzy můžeme říct, že musí být vybrána tak, aby na ní bylo možné důvěryhodně identifikovat funkce dílčích prvků. Dále pak způsoby, jakými selhávají a stanovení hodnoty intenzit poruch prvků v případě kvantitativního hodnocení. [3]

Informace o struktuře a funkcích systému: jedná se o slovní popisy konstrukčního uspořádání včetně použitého technologického řešení daného systému, který musí být doplněn i podrobnou výkresovou dokumentací, schémata či grafy. [3]

Vlastní FME(C)A:

Při řešení vlastní analýzy u každého prvku systému, které jsou zvolené na nejnižší úrovni, se realizují jednotlivé kroky: [3]

- určení způsobů poruch prvků, jejich pravděpodobných příčin a důsledků,
- označení metod a postupů k detekci a následné izolaci poruch,
- kvalitativní posouzení poruch (vzhledem k významnosti) a náhradní opatření,
- zhodnocení pravděpodobnosti poruch,
- stanovení kritičnosti poruch.

Tyto kroky jsou základní, podle potřeby se mohou rozšířit o další informace potřebné k posouzení bezpečnosti či spolehlivosti daného systému. Je dobré při vytváření vlastní analýzy použít vhodný software či uspořádaný pracovní formulář, který nám pomůže provést danou analýzu systematicky a každá položka bude následně vyplněna, tak se nemůže stát, že část bude nevyplněna. Doporučené formuláře nalezneme v normách. Uspořádání by mělo odpovídat daným cílům analýzy a také charakteru analyzovaného systému. [3]

Formulář, který je vytvořen na základní úrovni by měl obsahovat následující informace: [3]

- Identifikační číslo prvku – zajišťuje jednoznačnou identifikaci každého prvku a sjednocení záznamů v dokumentu, bezpečně rozlišuje prvky se stejným názvem, používají se i upřesňující údaje, jako jsou například čísla výrobních výkresů atd.
- Název prvku – tento název by měl souhlasit s názvem použitým ve výrobním dokumentu (předejde se různým nedorozuměním), zajišťuje tak s identifikačním číslem jednoznačné označení každého prvku.
- Funkce prvku – je to klíčová část analýzy chápána jako činnost definování základních prvků (z nichž se skládá celý systém), tyto prvky jsou považovány za nepřijatelné (jsou poruchou, mezním stavem či chybovou funkcí). Součástí je i definice podmínek prostřední a požadavků předpisů.
- Způsob poruchy – je to jev, díky němu pozorujeme poruchu na prvku a vhodným způsobem jej zaznamenáváme pro každý prvek (pokud je to žádoucí, tak definujeme i více jak jeden způsob poruchy). Klasifikace způsobů poruch (popisuje aplikovatelné způsoby selhání prvků) slouží k zjednodušení celé analýzy a tím i k lepší srozumitelnosti

výsledků. V analýze nesmí být na začátku vyloučeny nějaké úvahy třeba kvůli krajní nepravděpodobnosti.

- Příčina poruch – není to prioritní cíl analýzy (bývá někdy vypuštěna). Provádí se proto, aby bylo možné posoudit zdroj výskytu poruchy a tím pádem se odhalili následky a navrhl soubor opatření. Každý způsob poruchy (může mít více jak jednu příčinu) musí být popsán a stanoven. Na principu analýzy poruch v provozu či poruch ve zkušebních vzorcích mohou být stanoveny příčiny poruch. Názor odborníka může být vyžádán na základě nového návrhu, přičemž žádný předchozí návrh neexistuje.
- Důsledky poruchy – na rozdíl od příčiny poruch jsou důsledky poruch prioritní. Důsledek poruchy může být příčinou jednoho či více druhů závad jednoho či více objektů. Zjištěné a následně vyhodnocené důsledky se zaznamenají. Poté se každému důsledku přiřadí stupeň závažnosti. Důsledky můžeme rozlišit podle úrovně na konečné (na úrovni systému) a místní (na úrovni prvků). Je nutné zhodnotit důsledky každé poruchy na každé nižší úrovni kvůli posouzení konečného důsledku poruch. Berou se v úvahu všechny možné kombinace s dalšími poruchami (porucha, která sama o sobě nepůsobí závažně, může v kombinaci s jinou způsobit závažné následky).
- Metody detekce poruch – slouží k návrhu preventivních opatření, kterými je dále informován uživatel či údržbář jak o poruše, tak o následujících opatřeních. Detekce neboli zjišťování poruch může být uskutečněna při spouštění systému za nepřetržitého provozu nebo v předepsaných intervalech. Její provádění má předejít vzniku nebezpečného provozního stavu.
- Klasifikace závažnosti poruchy – slouží k posouzení významnosti důsledků poruch. Závisí na aplikaci analýzy FMEA, musíme brát v úvahu několik faktorů, například funkčnost výkonu procesu či systému nebo se musí uvážit smluvní požadavky, které klade zákazník atd.
- Pravděpodobnost výskytu poruch – uvádí se pro každý způsob poruchy. Pro odhad se využívají například údaje od výrobců, data z provozu prvku, expertní odhady atd.
- Kritičnost poruchy (riziko) - jeden z možných způsobů, jak ohodnotit kritičnost je tzv. ohodnocení závažnosti důsledků poruchy a to, když je uvažována i jeho četnost, tedy pravděpodobnost vzniku. Odlišný způsob se používá většinou v automobilovém průmyslu a je založen na určení tzv. čísla priority rizika (RPN), vypočte se podle vzorce 1.

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Kde S (Severity) je bezrozměrné číslo a určuje závažnost důsledků poruch; O (Occurrence) určuje pravděpodobnost výskytu poruch; D (Detection) určuje odhad pravděpodobnosti, že se porucha zjistí a eliminuje před projevením následků. [3]

Závažnost, výskyt a detekce se hodnotí podle klasifikačních tabulek. Klasifikační tabulky si vybíráme podle řešeného tématu, například: zda řešíme FMEA produktu nebo procesu, podle zaměření výroby firmy atd. Tabulky používané firmou, kde byla realizována praktická část bakalářské práce, jsou uvedeny v kapitole 5, v tabulce 4, 5 a 6.

Pracovní list (formulář): Pracovní list zaznamenává analýzu v tabulkové formě a je přizpůsoben požadavkům projektu. Příklad pracovního listu je zobrazen na obr. 13.

[illegible]

Obr. 13) Formulář pro PFMEA [7]

- Záhlaví – v záhlaví formuláře se uvádí identifikátor, který se shoduje s terminologií uváděnou v blokovém diagramu, schématu a výkresech. Dále se uvádí provozní režim, datum, jméno pracovníka i jména členů týmu, kteří na analýze pracovali.
- Zápisy do pracovního listu – předmět analýzy identifikujeme zápisem do sloupců „Odkaz na objekt“ (vztahuje se k blokovému diagramu nebo k jiným dokumentům) a „Popis a funkce objektu“ (zapisuje se funkce a stručný popis objektu). Způsob, jakým může dojít k poruše u objektu, se zapisuje do sloupce s názvem „Způsob poruchy“. Do sloupce „Možné příčiny poruchy“ je zaznamenána nejpravděpodobnější příčina poruch. Ve sloupci „Místní důsledek“ se uvede stručný popis důsledků analyzovaného objektu daného způsobu poruchy. Podobné informace jsou zapsány do sloupce „Konečný důsledek“, zde se vyznačují důsledky daného způsobu vad pro koncový objekt. Detekce daného způsobu poruchy se uvede do sloupce s názvem „Metoda detekce“, může být zabudováno pomocí testu automatická v návrhu nebo se použijí diagnostické postupy, které provádí pracovník údržby nebo provozu. Do sloupce „Opatření na kompenzaci poruchy“ se uvádí příznačné rysy návrhu (zmírňují určitý způsob poruchy, například zálohování). Ve sloupci „Třída závažnosti“ se nachází úroveň závažnosti, jak byla stanovena pracovníkem provádějícím FMEA analýzu. Intenzita přítomnosti konkrétního způsobu poruchy se zapisuje do sloupce „Četnost nebo pravděpodobnost výskytu“. [5]
- Poznámky v pracovním listě – do tohoto sloupce se zaznamenávají poznámky a doporučení od pracovníka, který provádí analýzu. Mohou zde být zapsána budoucí opatření, doporučení o zlepšení návrhu. Sloupec s poznámkami může obsahovat tyto části: [5]
 - veškeré neobvyklé podmínky,
 - dopad poruch rezervních prvků,
 - určení kritických rysů návrhu,

- poznámky, které mohou rozvádět daný záznam,
- všechny odkazy na další záznamy pro analýzu po sobě následujících poruch;
- podstatné požadavky na údržbu,
- převládající příčiny a důsledky poruch,
- vytvoření rozhodnutí, například v přezkoumání návrhu.

Vyhodnocení analýzy

Vyhodnocením analýzy získáme soubor obsahující účinná nápravná opatření, která musí být následovně přijata. Opatření by měly být zaměřeny na následovné odstranění příčin poruch či snížení jejich závažnosti o stupeň. Pro každý produkt jsou stanoveny požadavky v normách či předpisy, podle kterých jsou porovnávány výsledky analýzy. [3][5]

Konkrétní nápravná opatření se navrhuje až na základě získaných výsledků tohoto porovnání a na dalších poznátcích při řešení analýzy. Ke všem poruchám a jejím příčinám se navrhuje opatření, která vedou: [3][5]

- o k celkovému odstranění příčin poruchy,
- o ke zmenšení pravděpodobnosti vzniku poruchy,
- o ke zmenšení úrovně kritičnosti důsledků poruchy.

4.5.4 FMEA a rizika

Na obr. 14 je vidět možný režim selhání, který je zapsán do matice v závislosti na jeho vlastním hodnocení pro závažnost a výskyt. Neúspěšnost je okamžitě odhalena, protože čtyři oblasti závažnosti jsou poskytovány jako standart. Zohledňuje tedy závažnost, výskyt a odhalení poruchy a tím vede ke zlepšení kvality návrhu. 70-90 % možných poruch je možné odhalit použitím FMEA. [6][13]

Výskyt	Úroveň A - časté				
	Úroveň B - rozumně pravděpodobné				Silný
	Úroveň C - příležitostně			Střední	
	Úroveň D - vzdálený		Nízký		
	Úroveň E - velmi nepravděpodobné				
		IV - menší	III - okrajový	II - kritický	I - katastrofický
		Závažnost			

Obr. 14) Matice rizik [13]

4.5.5 Použití analýzy

Metoda FMEA je určena a přizpůsobena ke studiu poruch materiálu a zařízení. Metodu lze použít na různé druhy systémů, které jsou založeny na různých technologiích, například elektrických, hydraulických, mechanických atd. a na kombinacích těchto technologií. Do analýzy by měly být zahrnuty i úvahy o lidském faktoru a softwaru (jestliže mají vliv vzhledem ke spolehlivosti systému). PFMEA neboli FMEA procesu slouží ke studování různých procesů, například zdravotnických, výrobních, laboratorních, vzdělávacích atd. Provádění PFMEA se musí přizpůsobit s ohledem na konečný cíl procesu a poté jako možný produkovaný nežádoucí výsledek uvažujeme každý krok v tomto procesu. [5]

5 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část bakalářské práce navazuje na část teoretickou. Hlavním úkolem této práce je aktualizovat PFMEA na vrtání daného výrobku ve firmě SCHOTT CR, s.r.o. v Lanškrouně.

5.1 SCHOTT CR, s.r.o.

SCHOTT je mezinárodní firma založená před více než 125 lety a zaměstnávající ve 43 zemích světa přes 17 000 zaměstnanců. Vyvíjí a vyrábí speciální materiály, komponenty se snahou zlepšit životní prostředí a pracovní podmínky. Její koncern je zaměřen zejména na odvětví farmaceutického průmyslu, solární energii, automobilový průmysl a také průmysl domácích spotřebičů. [8]

V České republice se nachází dvě pobočky, ve Valašském Meziříčí a v Lanškrouně. V Lanškrouně byl závod založen v roce 1993 a jeho budovu můžete vidět na obrázku č. 15. Pobočka v Lanškrouně je vyhlášeným dodavatelem a zpracovatelem speciálních skel, pouzder a průchodek pro automobilový průmysl a optoelektroniku. [8]



Obr. 15) SCHOTT CR, s.r.o. v Lanškrouně [8]

5.2 Vrtačka

Vrtačku, pro který byl požadavek na přezkoumání PFMEA, můžete vidět na obr. 16 a 17. Obr. 16 zobrazuje přední stranu, kam se do vymezeného prostoru vkládají drátěné tuby. Boční strana stroje je zobrazena na obr. 17, na tomto obrázku je vidět prostor, kam stroj skládá plné kazety na sebe, které čekají na odebrání obsluhou. Žluté části stroje mají do sebe zabudovaná čidla snímající pohyb okolo stroje, pokud se obsluha nachází příliš blízko vrtačky, stroj se díky těmto čidlům zastaví a zabrání tak riziku možného úrazu. Stroj je znovu uveden do provozu operátorem. [9]



Obr. 16) Vrtačka přední část [9]



Obr. 17) Vrtačka boční část [9]

Proces vyvrtání otvoru

Kusy vložené do drátěných tub operátorem se zakládají podle předem daných instrukcí, kde klíče výrobků leží nad sebou v určitém místě trubky. Takto připravené tuby se vkládají do stroje, kde jsou kontrolovány čidlem, zda je vložená a usazená správně. Poté si již stroj odebrá jednotlivé kusy sám a vloží je do přípravku na otočném stole, kolem kterého jsou umístěné vrtací nástroje. Další snímač stroje zkontroluje správnost vložení výrobku v přípravku. Poté se kus předvrtá navrtávkem a následující vrták vyhloubí potřebný otvor ve výrobku. Špony a veškeré nečistoty z vrtání se odstraní tlakem vzduchu a stroj poté zkontroluje každý kus zvlášť a umístí ho do připravené kazety. Špatně vyvrtané kusy stroj vloží do červených kazet, dobré kusy do kazet černých. Plné kazety stroj přemístí na boční stranu, kde je skládá na sebe a operátor je vyzvedne. Takto připravené kazety s kusy jsou posílány do další části výroby (popř. kontroly) podle vývojového plánu. [9]

5.3 Flow Chart

Pro každý výrobek vyráběný firmou SCHOTT CR, s.r.o. v Lanškrouně je vytvořen Flow Chart, který graficky znázorňuje proces výroby.

Na grafickém sestavení Flow Chart, obr. 18, můžete vidět jednotlivý výrobní proces v dané firmě pro výrobek s interním označením 16.781.006 (16.786.006). Poslední trojčíslí v označení výrobků znamená, v jaké výrobní fázi se nacházíme. Flow Chart je nezbytnou součástí

pro tvorbu PFMEA analýzy, ale i kontrolního plánu, kdy jednotlivé postupy výroby na sebe navazují a jsou tak přehledně zaznamenávány.

Zelená část ve Flow Chart označuje proces u dodavatele, jednotlivé procesy ve firmě jsou značené ve Flow Chartu oranžovou barvou. [9]

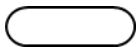
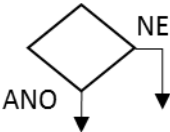
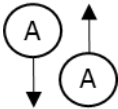
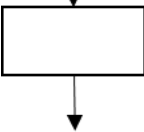
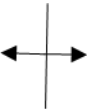
Popis Flow Chart na 16.781.006 a 16.786.006

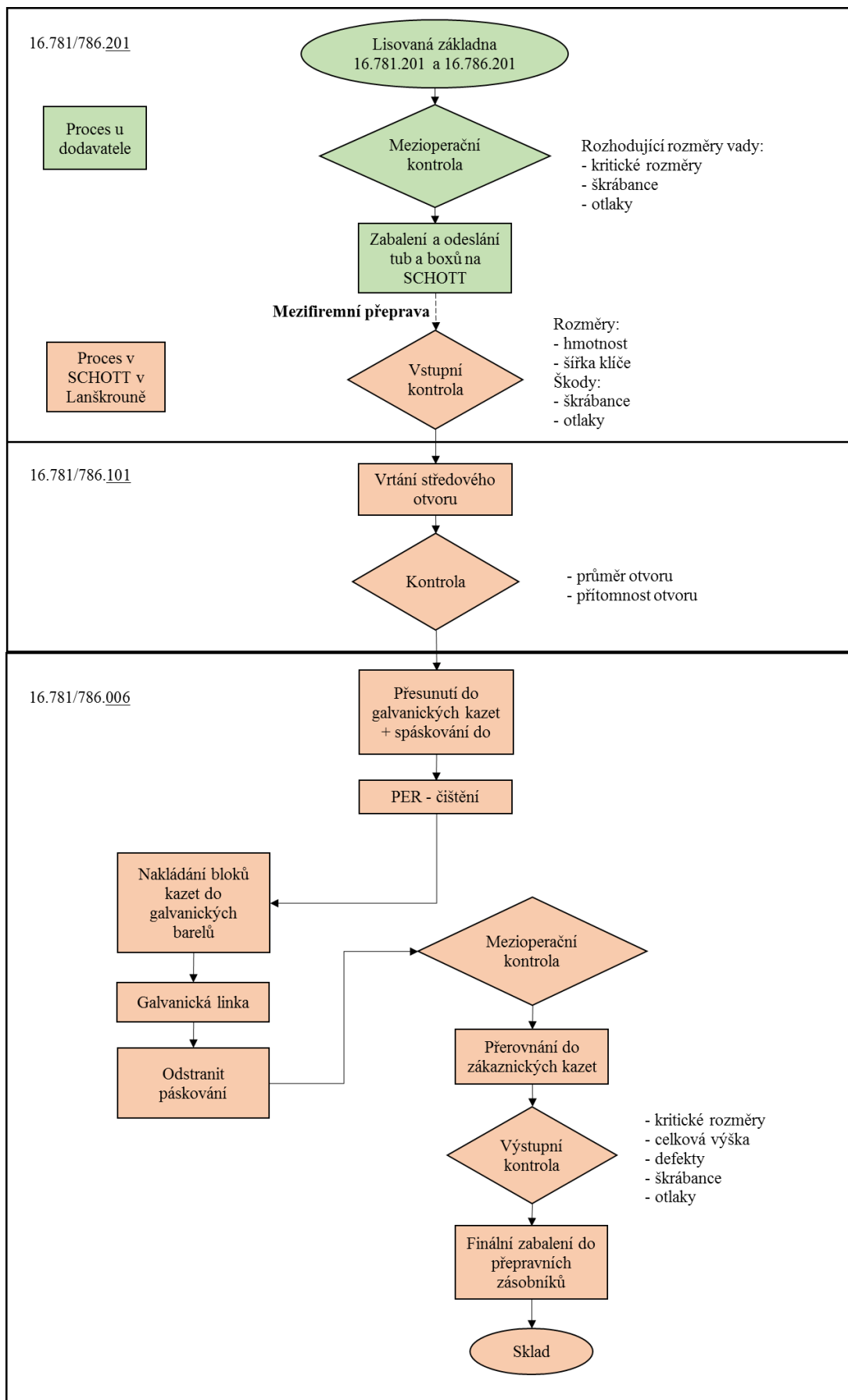
- I) Kusy od dodavatele se uskladní na skladě, kde vybrané kusy z každé šarže jsou kontrolovány na vstupní kontrole. Zde se kontroluje vzhled a rozměry. Pokud jsou šarže v pořádku, postupují do výrobní fáze podle Flow Chart na obr. 18.
- II) Druhou fází výroby je proces vrtání, které je popsáno v kapitole 5.2. Výběr správně vyvrtaných kusů se kontroluje podle Kontrolního plánu.
- III) Na začátku třetí výrobní fáze se kusy vloží do galvanických kazet a zapáskují se. Takto připravené kazety se posílají na čištění, kde se udělá smáčecí test a následně jsou kusy na 24 hodin na vzduchu bez antikorozní ochrany. Po uplynutí této doby se kazety s kusy vloží do galvanických barelů. Na galvanické lince se kusy v barelech očistí od veškerých nečistot a mastnoty pomocí horkého odmaštění a dalších procesů ohledně čištění. Na závěr jsou kusy znovu opláchnuty a osušeny. Po odpáskování kazet se skladují v galvanických kazetách v dusíku a provádí se mezioperační kontrola dle Kontrolního plánu. Kusy následně vložené do galvanických kazet jdou na výstupní kontrolu, kde jsou kontrolovány kritické rozměry, celková výška, defekty, škrábance, otisky apod. Po výstupní kontrole se kusy v zákaznických kazetách zabalí do přepravovacích zásobníků a odvezou na sklad.

Používané symboly

V tabulce č. 3 jsou uvedeny symboly použité ve Flow Chart a v dalších vývojových diagramech, které jsou uvedeny v práci.

Tab 3) Příklad použitých symbolů ve Flow Chart [6]

				
Značka začátek a konec	Rozhodovací blok, odpovídá na otázku Je splněna podmínka?	Spojka	Činnost neboli krok procesu vstupní a výstupní spojovací čarou	Příklad použití spojnic



Obr. 18) Flow Chart 16.781.006 a 16.786.006 [9]

5.4 Kontrolní plán

Dle kontrolního plánu produktu je požadován popis dokumentace systému a procesu pomocí terminologie normy Systém managementu kvality ISO/TS 16949:2009, což znamená, že Kontrolní plán je dokument stanovující: co, kdo, jak a jak často se má produkt kontrolovat a jak zaznamenávat tuto kontrolu. V některých firmách je Kontrolní plán součástí Postupu výroby obsahující posloupnost všech výrobních a kontrolních operací, které jsou na produktu prováděny během jeho realizace. [10]

Základní typy kontrolních plánů

Samostatné plány kontroly a jejich řízení zahrnujeme do tří odlišných fází: [11]

- prototyp – v průběhu realizace prototypu se provádí popis měření rozměrů, popis zkoušek materiálů a funkční vlastnosti,
- ověření série – po fázi prototypu a před sériovou výrobou se provádí popis měření rozměrů, popis zkoušek materiálů a funkční vlastnosti,
- sériová výroba – v průběhu hromadné výroby se provádí souhrnná dokumentace znaků produktu/procesu, nástrojů řízení procesu, zkoušek a systému měření.

Tvorba kontrolního plánu

Na každý výrobek vyráběný v této firmě je vytvořen Flow Chart, PFMEA a Kontrolní plán.

První podklad důležitý pro tvorbu Kontrolního plánu je tzv. Flow Chart zobrazení v obr. 18 v kapitole 5.3 (postupový diagram realizace výroby produktu). Dále by se měly do Kontrolního plánu promítnout výstupy z PFMEA analýzy a požadavky zákazníka. [10]

Kontrolní plán se musí pravidelně aktualizovat na základě [10]:

- změny v požadavcích zákazníka,
- reklamace,
- auditu.

5.4.1 Kontrolní plán firmy SCHOTT CR, s.r.o. na vrtání

Ke každému výrobku, který se vyrábí v této firmě a ke každé výrobní fázi, která je uvedena ve Flow Chart na obr. 18 je vytvořen kontrolní plán, který je vytvořen na základě výstupu z PFMEA. Kontrolní plány jsou zpřístupněny všem zaměstnancům firmy a podle uvedených informací v tabulce kontrolují jednotlivé kusy.

Kontrolní plán na obr.19 je určený pro daný výrobek, pro který byl vytvářen požadavek na přezkoumání PFMEA na vrtání. V tomto plánu je uvedeno, co se na výrobku kontroluje a pomocí jakého měřidla. Následně operátor může zkontrolovat, jestli je výrobek správně vyvrtán a není poškozen.

Výrobek	16.781.006, 16.786.006	Navrhovatel		EPNQ/Kle	Datum 1. vydání		12.1.2011		
		Odpovědná osoba za uvolnění výrobku		EPN2/Smj	Datum poslední revize		16.8.2016		
		Uvolnění QS		EPN2/Ko					
Poř. č.	Proces	Znak			Klasifikace zvláštního znaku	Zkoušky			
		Poř. č.	Kontrol. znak	Předpis		Jmenovitá hodnota	Zkušební prostředek	Zkušební výběr	
								Množství	Frekvence zkoušek
1	Vrtání a umístění kusů do výrobních kazet			ENA 16-65-10 ENA 16-65-09 ENA 16-60-04					
		1	Vzhled	ENP 16-05-01			Mikroskop + 10x zoom	6	Na začátku procesu, každých 1000 ks a po každé změně vrtáku nebo navrtávaku
		2	Vyhrnutý materiál 0,04			0,04 mm	Indikátor	6	Na začátku procesu, každých 1000 ks a po každé změně vrtáku nebo navrtávaku
		3	Vnitřní průměr otvoru		K CPK≥1,33	0,78 + 0,03/-0,005 mm	Válcový kalibr, měřit z vnitřní strany	6	Na začátku procesu, každých 1000 ks a po každé změně vrtáku nebo navrtávaku
2	Mezioperační kontrola po vrtání	1	Vzhled	ENP 16-05-01			Mikroskop + 10x zoom	12	Na začátku pracovního týdne
		2	Vnitřní průměr		K CPK≥1,33	0,78 + 0,03/-0,005 mm	3D měřicí zařízení	12	Na začátku pracovního týdne
		3	Pozice díry k vnějšímu průměru			0,1 mm	3D měřicí zařízení	12	Na začátku pracovního týdne
		4	Kolmost díry k spodní části kusu			0,02 mm	3D měřicí zařízení	12	Na začátku pracovního týdne
		5	Vyhrnutý materiál 0.04			0,04 mm	Indikátor	12	Na začátku pracovního týdne

Obr. 19) Kontrolní plán [9]

5.5 Prováděcí předpis FMEA firmy SCHOTT CR, s.r.o.

V předpisu je uvedeno, jak při řešení PFMEA postupovat, což je znázorněno na obr. 21, 22 a 23. Jsou zde uvedena i obecná pravidla, podle kterých se při řešení analýzy řídíme, což znamená, že PFMEA musí být vyvinuta na základě aktuálního vývojového diagramu neboli Flow Chart, který je vyobrazen na obr. 18. Všechny zvláštní vlastnosti definované výkresem a specifikací musí být zapsány v PFMEA a v plánu řízení.

PFMEA je živý dokument a průběžně se aktualizuje po každé reklamaci nebo po každém vylepšení související s procesem. Podle předpisu se každá PFMEA aktualizuje nejméně 2 x za rok.

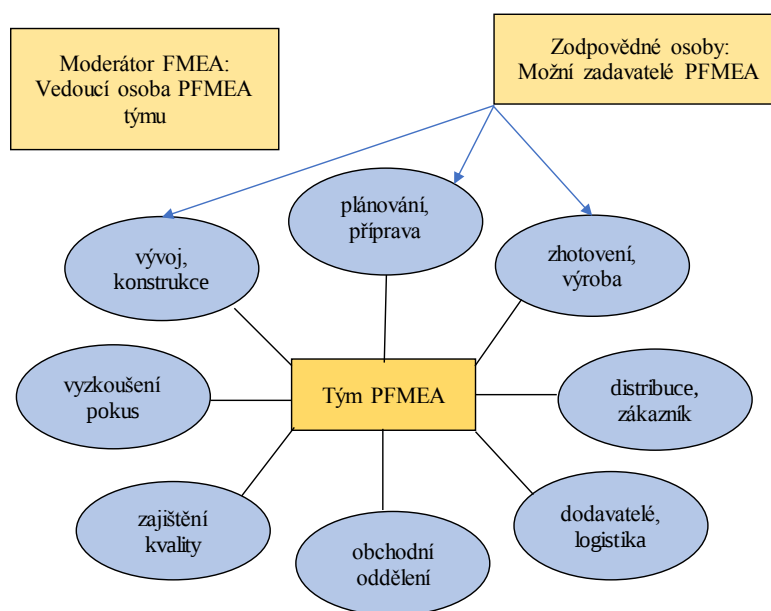
Všechny reklamace a s tím i aktualizovaná PFMEA je přístupná, jak FMEA Expertovi, který zodpovídá za opravu, tak i PFMEA týmu a všem zaměstnancům firmy. [9]

Na obr. 21, 22 a 23 je vyobrazen postup při provádění PFMEA analýzy. Zobrazuje, jak jednotlivé kroky na sebe navazují a umožňují týmu přehledné řešení.

Postup řešení

Při zpracovávání PFMEA analýzy bylo důležité sestavit tým lidí tzv. průřezový tým lidí, který můžete vidět na obr. 20, a ten zodpovídá za vypracování dané analýzy. Členové týmu musí mít znalosti o výrobku samotném, jeho výrobě i procesu, ale také znalosti o postupu PFMEA. [7]

Tým PFMEA je veden technikem, který spolu s týmem má na starost návrh produktu (ve firmě toto místo zastupuje FMEA Expert, tento člověk zodpovídá za všechny PFMEA analýzy, jejich aktuálnost a úplnost). Odpovědná osoba zapojí všechny zástupce ze všech dotyčných oblastí aktivně a přímo do daného problému. [7]



Obr. 20) Průřezový tým FMEA [6]

Složení týmu PFMEA

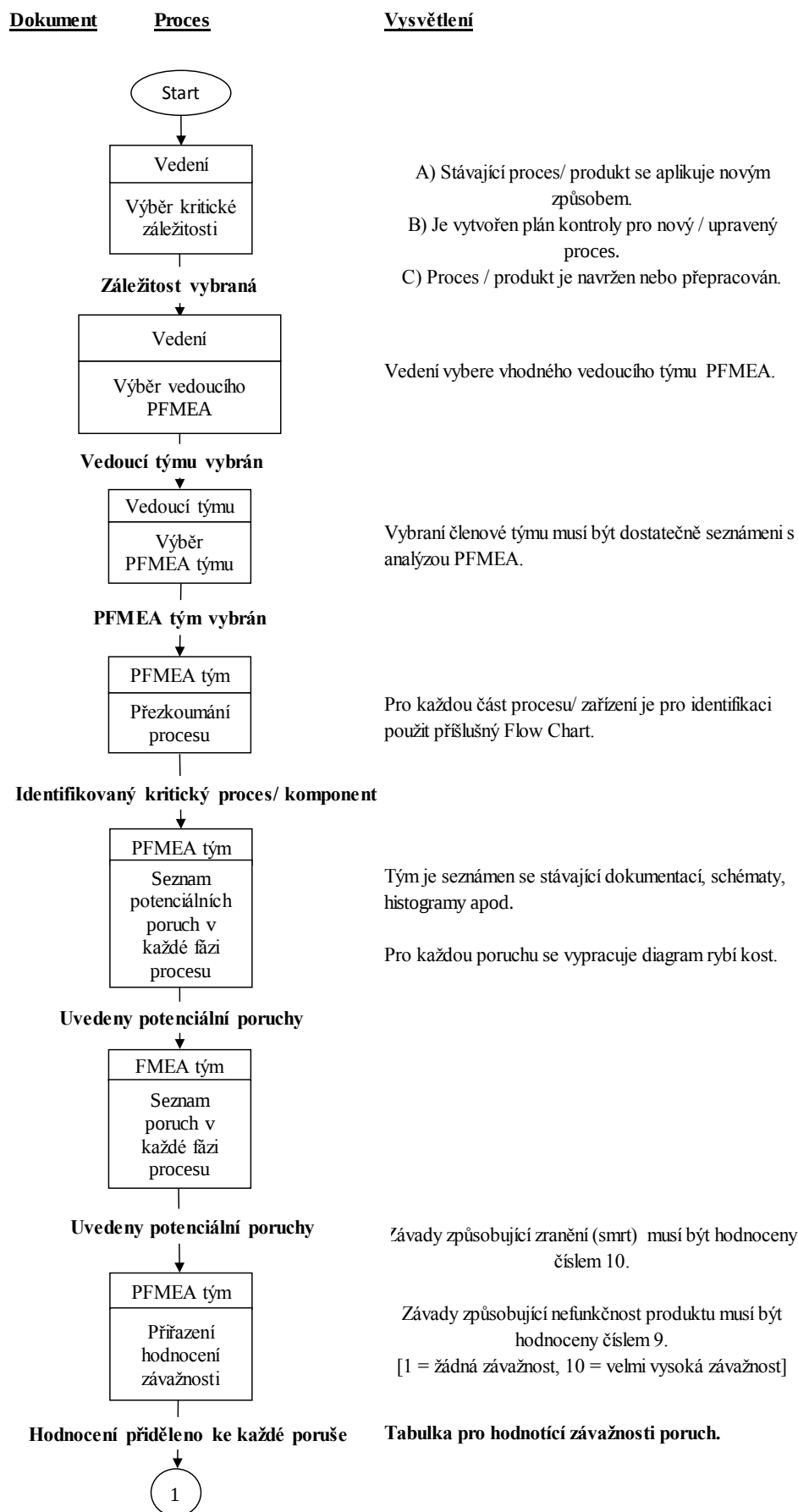
Tým PFMEA obsahuje tři skupiny lidí, a to: [6]

- zákazníka – výrobní a montážní centra, konečný uživatel, firmy z dodavatelského řetězce a kompetentní orgány,
- vedoucího – konstruktér odpovědný za návrh produktu, technik, FMEA Expert,
- členy týmu se znalostmi z oblasti – výroby, konstrukce, montáže, testování/analýzy materiálů, bezporuchovosti, kvality, služeb a dodavatelů, oblast návrhu produktu, která zodpovídá za další montáž nebo za systém, subsystém nebo komponent.

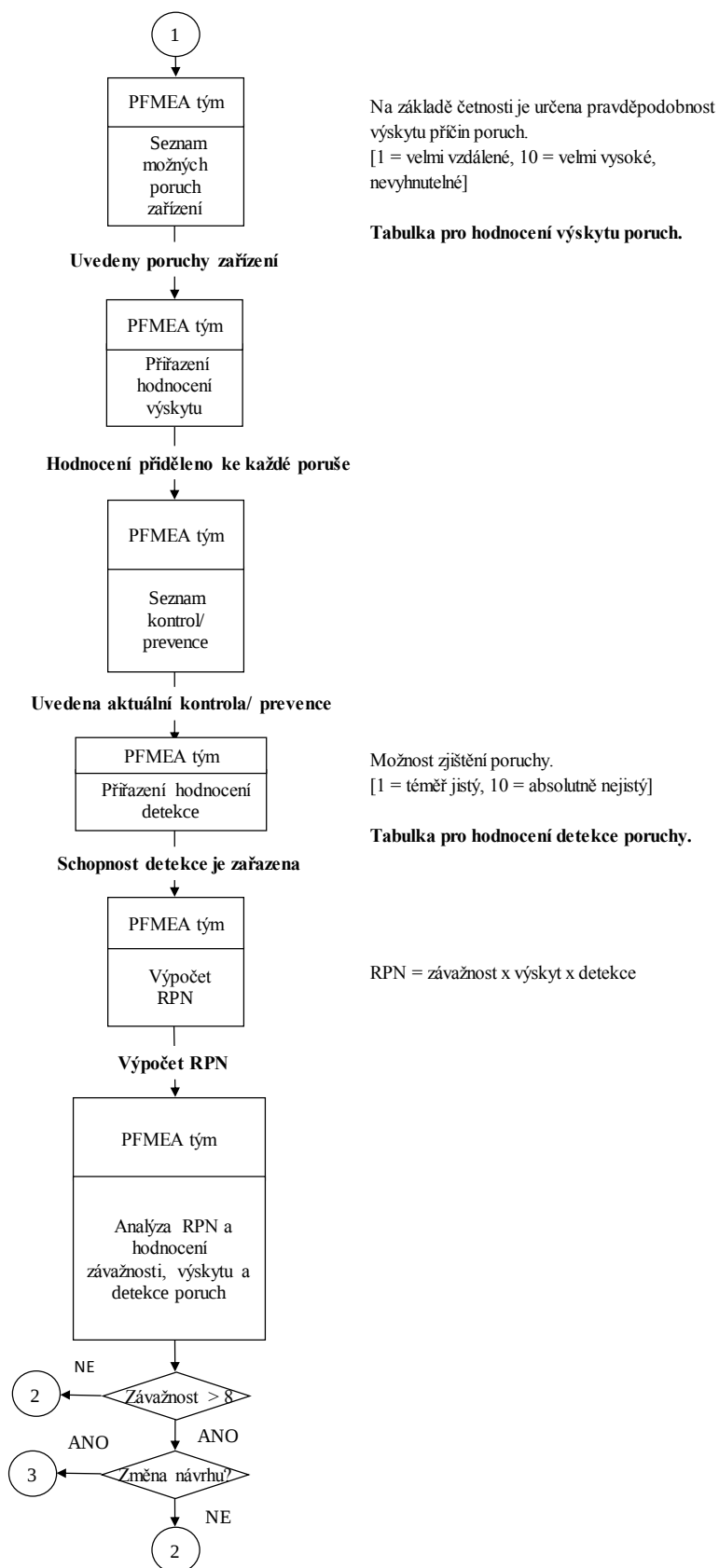
Schůze

Schůzi svolal a řídil FMEA Expert firmy. Procházela se celá PFMEA na proces vrtání, kde se kontrolovala její správnost a úplnost. Nejprve se prošly všechny způsoby poruch, které mohou nastat (nebo v minulosti nastaly) a podle dokumentů o chybách vrtacího stroje se hledaly nové vady. Po najití těchto vad se tým snažil vypracovat řešení, které by vedlo ke snížení klasifikace vad a napomohl tak zvýšit šanci na zjištění rizika. Následně se kontrolovalo veškeré bodování a popřípadě se změnila klasifikace výskytu a detekce podle hodnotících tabulek firmy, které jsou uvedené v předpisu. Po ukončení aktualizace byla vypracována nová PFMEA na vrtání a byl proveden zápis o schůzi, kde bylo v bodech uvedeno, o čem se jednalo, co bylo cílem a co se bude řešit.

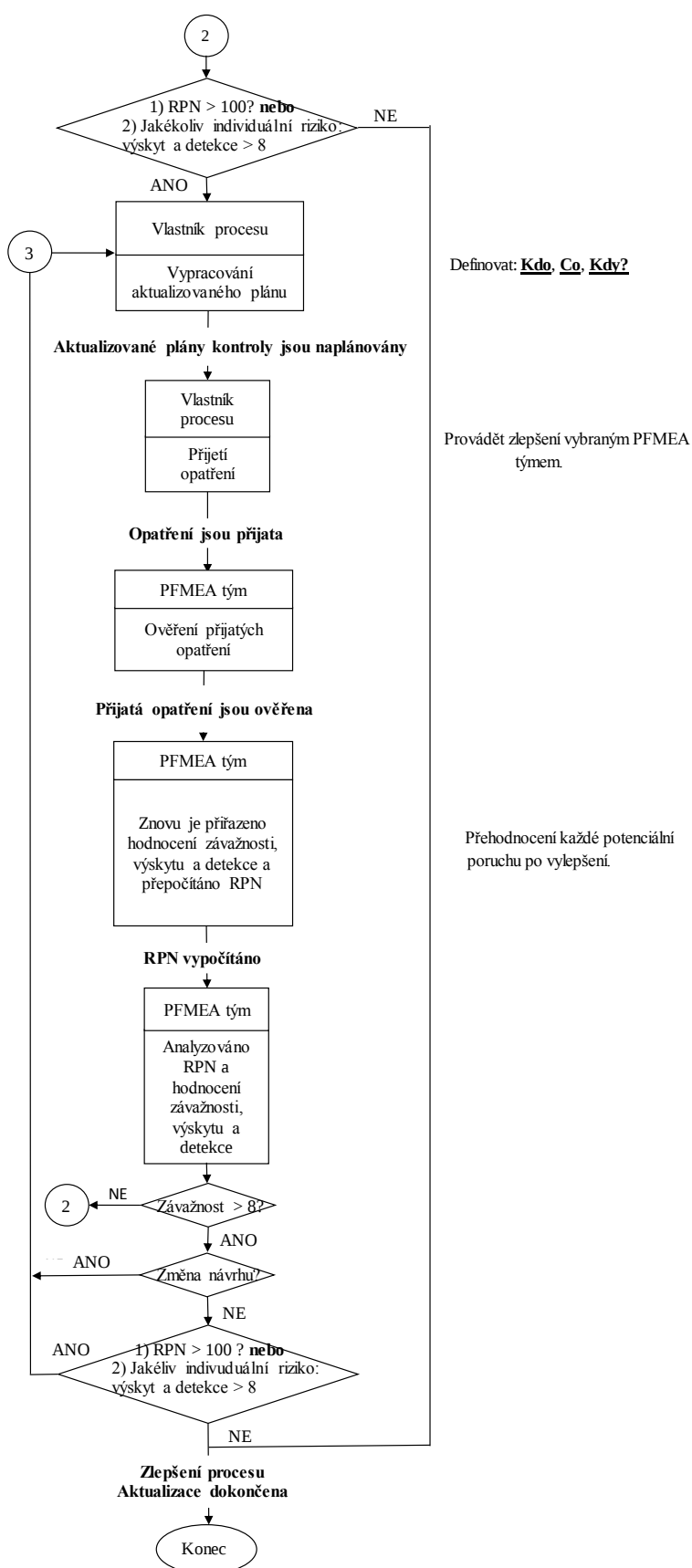
Grafické znázornění postupu při aktualizaci je znázorněno na obr. 21, 22 a 23.



Obr. 21) Prováděcí předpis PFMEA, 1. část [9]



Obr. 22) Prováděcí předpis PFMEA, 2. část [9]



Obr. 23) Prováděcí předpis PFMEA, 3. část [9]

5.5.1 Hodnotící tabulky

Pro analýzu PFMEA byly použity následující hodnotící tabulky používané firmou.

Tab 4) Definice závažnosti [9]

Účinek	Kritéria: závažnost vlivu na proces (výrobní / montážní účinek)	Hodnocení
Nesplnění bezpečnostních a / nebo regulačních požadavků	Může ohrozit obsluhu (stroj nebo montáž) bez varování.	10
	Může ohrozit obsluhu (stroj nebo montáž) s varováním.	9
Velké narušení	100% výrobku může být zlikvidováno. Vypnutí nebo zastavení linky.	8
Významné narušení	Část výrobního cyklu může být zlikvidována. Odchylka od primárního procesu, včetně snížené traťové rychlosti nebo přidání pracovní síly.	7
Mírné poškození	100% výrobního cyklu může být nutné přepracovat mimo linku a přijmout.	6
	Část výrobního cyklu může být nutně přepracována mimo linku a přijata.	5
Mírné poškození	100% výrobního cyklu může být před zpracováním přepracováno na stanici.	4
	Část výrobního cyklu může být před zpracováním součástí stanice.	3
Drobné narušení	Nepatrné potíže při zpracování, provozu nebo obsluze.	2
Žádný efekt	Žádný zřetelný účinek.	1

Tab 5) Definice výskytu [9]

Pravděpodobnost selhání	Kritéria: Výskyt příčin - PFMEA (Incidenty na jednotlivé položky / vozidla)	Hodnocení
Velmi vysoké	≥ 100 na tisíc ≥ 1 z 10	10
Vysoké	50 na tisíc 1 z 20	9
	20 na tisíc 1 z 50	8
	10 na tisíc 1 z 100	7
Mírný	5 na tisíc 1 z 200	6
	4 na tisíc 1 z 250	5
	3 na tisíc 1 z 333	4
Nízký	2 na tisíc 1 z 500	3
	1 na tisíc 1 z 1000	2
Velmi nízký	5 z 10 tisíc 1 z 2000	1

Tab 6) Schopnost detekce [9]

Příležitost k odhalení	Kritéria: Pravděpodobnost detekce pomocí kontroly procesu		Hodnocení	Pravděpodobnost detekce
Žádná detekční příležitost	Žádná současná kontrola procesu, nelze detekovat nebo není analyzována.		10	Skoro nemožné
Nepravděpodobné zjištění v nějaké fázi	Poruchu nelze snadno detekovat.		9	Velmi vzdálené
Rozpoznávání problémů po zpracování	Poruchu je schopen detekovat operátor prostřednictvím vizuálních/ hmatových/ slyšitelných prostředků.		8	Vzdálené
Detekce problému u zdroje	Operátor pomocí vizuálních/ hmatových/ slyšitelných prostředků selhal při detekci.		7	Velmi nízký
Rozpoznávání problémů po zpracování	Poruchu je operátor schopen detekovat po zpracování pomocí variabilního měření.		6	Nízký
Detekce problému u zdroje	Poruchu je operátor schopen detekovat pomocí variabilního měření nebo automatickým řízením ve stanici.		5	Mírný
Rozpoznávání problémů po zpracování	Selhání detekce po zpracování automatickým ovládacím prvkem. Zabránění dalšímu zpracování.		4	Středně vysoký
Detekce problému u zdroje	Selhání detekce automatickým ovládacím prvkem. Automatické zablokování části stroje, aby nedošlo k dalšímu zpracování.		3	Vysoký
Detekce chyb a / nebo prevence problémů	Detekce chyb pomocí automatických ovládacích prvků.		2	Velmi vysoký
Detekce není použitelná, prevence chyb	Prevence chybná v důsledku konstrukce stroje nebo dílů. Nedůvěryhodný kus není vyroben.		1	Skoro jistý

Závažnost

Závažnost je hodnota, která je spojená s nejzávažnějším důsledkem daného způsobu závady a její hodnocení je možno vidět v tabulce č. 4. Je to vyjádření relativního hodnocení v rámci existující PFMEA. Změnou návrhu systému, subsystému, komponentu nebo změnou procesu je možno snížení hodnocení závažnosti. [12]

Výskyt

Tabulka č. 5 obsahuje pravděpodobnost výskytu, že se daná závada vyskytne. Charakterizace pravděpodobnosti výskytu značí spíše relativní význam než absolutní platnost. Odstraněním nebo zvládnutím příčin závady změnou návrhu nebo procesu dosáhneme snížení hodnocení výskytu. [12]

Detekce

Detekce je hodnocení, které je přiřazené nejlepšímu opatření k odhalení a toto hodnocení je uvedeno v tabulce č. 6. Je to relativní hodnocení vztahující se k předmětu jednotlivé PFMEA. Zlepšením plánovaného řízení procesu lze docílit snížení hodnocení detekce. [12]

5.6 Aktualizovaná PFMEA a její zhodnocení

Na obr. 24, 25, 26 a 27 je zobrazena vypracovaná aktualizovaná PFMEA. Původní PFMEA je uvedena v přílohách.

Zhodnocení aktualizované PFMEA

Při řešení požadavku na přezkoumání původní PFMEA na vrtání, obr. 31, 32, 33 v příloze, se postupovalo podle výše uvedených bodů. Během této práce se s týmem přišlo na dvě nové možné vzniklé vady. Jedná se o nesprávné vložení válce do pořadače vrtacího stroje a nesprávně naplnění částí do drátkových tub. Oba nedostatky byly způsobené nedodržením instrukcí, tedy chybou operátora. Tyto chyby vedly ke špatné kolmosti otvoru, kdy byl otvor umístěn mimo specifikaci. Prevencí je pravidelné školení obsluhy. Stroj byl vybaven detekovaným systémem i přes nízký výskyt. Díky tomuto systému byla snížena detekce dle hodnotící tabulky Schopnost detekce v tab. č. 6 na 2, což znamená vysokou pravděpodobnost odhalitelnosti. Ostatní možné vady uvedené v původní PFMEA, se překontrolovaly a následně přebodovaly či poupravily informace ve formuláři. Změny provedené ve formuláři PFMEA na obr. 24, 25, 26 a 27 jsou vyznačeny červenou barvou.

FMEA - Failure Mode and Effects Analysis									
16.781.101 16.786.101	Vrtání		No.		FMEA-053				
Odpovědnost za proces	EPNP/Sev	Zpracoval	EPNQ/Par		Odsouhlasil		EPNQ/Ma		
Projektový tým	EPNT/Sj. EPNQ, Par.	1. datum vydání	12.4.2012		Aktualizováno dne:		27.4.2017		

Funkce procesu	Požadavky	Projev možné vady	Možný důsledek vady	Klasifikace	Možná příčina mechanismu vady	Výskyt	Stávající řízení procesu, prevence	Stávající řízení procesu, odhalování	Odhaditelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovídá a termín splnění	Opatření splněno	Závažnost	Výskyt	Odhaditelnost	RPN	Odhaditelnost
Proces vrtání	Vrtání součástí	Smíchání různých dávek	Není možnost zpětného sledování		Po vyvrtání součástky mohou zůstat v dopravníku stroje nebo na otočném stole, možnost pomíchání dávek nebo lidská chyba-špatný záznam do PC	2	Sledování instrukcí, dostupné pracovní instrukce ENA-16-65-10	Namátková kontrola procesu	8	32								
		Pomíchané různé typy výrobků	Zákazník nemůže takové součástky použít		Lidská chyba	2	Sledování instrukcí, dostupné pracovní instrukce ENA-16-65-10	100% třídění během zpracování	4	56								
		Držák není vyčištěný	Soustřednost díry s otvorem mimo specifikaci		Částičky v soupravě držáku mohou způsobit, že kus není sevrěn vycentrovaně	2	Čistící proces ve vrtacím stroji natlakovaným vzduchem, dvě trysky nahore a jedna tryska dole	Pravidelná údržba stroje ENA-16-65-10, 3D rozměrová kontrola	5	70								
		Kolmost otvoru mimo specifikaci	Kolmost otvoru mimo specifikaci		Částičky v soupravě držáku mohou způsobit, že dílen je sevrěn šikmo	2	Čistící proces ve vrtacím stroji natlakovaným vzduchem, dvě trysky nahore a jedna tryska dole	Pravidelná údržba stroje ENA-16-65-10, 3D rozměrová kontrola	5	70								
		Kusy vložené do trubky obráceně	Zastavení stroje, přivolání operátora	8	Operátor nedodržel instrukce ENA-16-65-10, lidská chyba	2	Pravidelné školení	Stroj vybaven detekovaným systémem	2	32								

Obr. 24) Aktualizovaná PFMEA 1. část [9]

FMEA - Failure Mode and Effects Analysis									
16.781.101 16.786.101	Vrtání			No.	FMEA-053				
Odpovědnost za proces	EPNP/Sev	Zpracoval	EPNQ/Par	Odsouhlasil	EPNQ/Ma				
Projektový tým	EPNT/Sj. EPNQ_Par.	1. datum vydání	12.4.2012	Aktualizováno dne:	27.4.2017				

Funkce procesu	Požadavky	Projev možné vady	Možný důsledek vady	Závaznost	Klasifikace	Možná příčina mechanismu vady	Výskyt	Stávající řízení procesu, prevence	Stávající řízení procesu, odhalování	Odhaltitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovídá a termín splnění	Opatření splněno	Závaznost	Výskyt	RPN	Odhaltitelnost
Proces vrtání																		
		Nesprávné vložení válce do pořadače vrtacího stroje	Kolmost otvoru mimo specifikaci, umístění díry mimo specifikaci	8		Operátor nedodržel instrukce ENA-16-65- 10, lidská chyba	2	Pravidelné školení	Stroj vybaven detekovaným systémem	2	32							
	Součástka vložená šikmo		Kolmost otvoru mimo specifikaci	7		Operátor nedodržel instrukce ENA-16-65- 10, lidská chyba	1	Pravidelné školení, stroj vybaven vyrovnávacím mechanismem	Namátková kontrola procesu	8	56							
	Nesprávné napištění částí do drátkových tub (naklonění vzhůru nohama, máno pozíci)		Kolmost otvoru mimo specifikaci, umístění díry mimo specifikaci	8		Operátor nedodržel instrukce ENA-16-65- 10, lidská chyba	2	Pravidelné školení	Stroj vybaven detekovaným systémem	2	32							
	Nesprávné vyvrtání otvor		Průměr otvoru příliš velký	8	K	Vývořena "sražená" hrana	2	Pravidelná údržba ENA- 16-65-10 (změnit rychlost otáčení vrtáku kontrovaného přístrojem)	Namátková kontrola procesu, kontrola během vrtání, kontrola kalibrace	6	96							

Obr. 25) Aktualizovaná PFMEA 2. část [9]

FMEA - Failure Mode and Effects Analysis																		
Vrtání			No.			FMEA-053												
16.781.101 16.786.101																		

Obr. 26) Aktualizovaná PFMEA 3. část [9]

FMEA - Failure Mode and Effects Analysis																		
16.781.101 16.786.101		Vrtání		No.		FMEA-053												
Odpovědnost za proces		EPNP/Sev		Zpracoval		EPNQ/Par		Odsouhlasil		EPNQ/Ma								
Projektový tým		EPNT/Sj, EPNQ, Par,		1. datum vydání		12.4.2012		Aktualizováno dne:		27.4.2017								
Funkce procesu	Požadavky	Projev možné vady	Možný důsledek vady	Závažnost	Klasifikace	Možná příčina mechanismu vady	Výskyt	Stávající řízení procesu, prevence	Stávající řízení procesu, odhalování	Odhaditelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovídá a termín splnění	Opatření splněno	Závažnost	Výskyt	Odhaditelnost	
Proces vrtání				7		Navrták a vrták vyměněn během montáže vrtáku do stroje	1	Podle instrukcí ENA-16- 65-10 po výměně nástroje se vybrané kusy měří kalibrem	Namátková kontrola procesu	8	56							
		Roztřípený řez na spodní straně součástky přechodu mezi otvorem a zkosením mimo specifikaci		8		Kombinace materiálu a procesu	3	Převracení, odlehlování (chemické odstranění roztržených částí řezu)	Namátková vzhledová kontrola	8	192	Rozšířené naleptání umožní minimální roztržení během vrtání	EPNO/Sev, KW 20 2013	Zavedeno v CW 20 2013		8	1	8
				8	K	Chybějící vrták	2	Podle instrukcí ENA-16- 65-10 kontrolní list k výměně nástrojů	Sensor detekce otvoru	1	16							
				8	K	Zlomený vrták	2	Správná kombinace navrtáku a vrtáku (vytvoření otvoru ve dvou krocích, definované otáčky vrtáku jsou kontrolovány strojem)	Sensor detekce otvoru	1	16							
				8	K	Operátor umístil nevrtanou součástku přímo do boxu s vyvrtanými součástkami	1	Pravidelné školení, boxy jsou umístěné jeden od druhého dál a barevně odlišeny	100% optická kontrola	6	48							

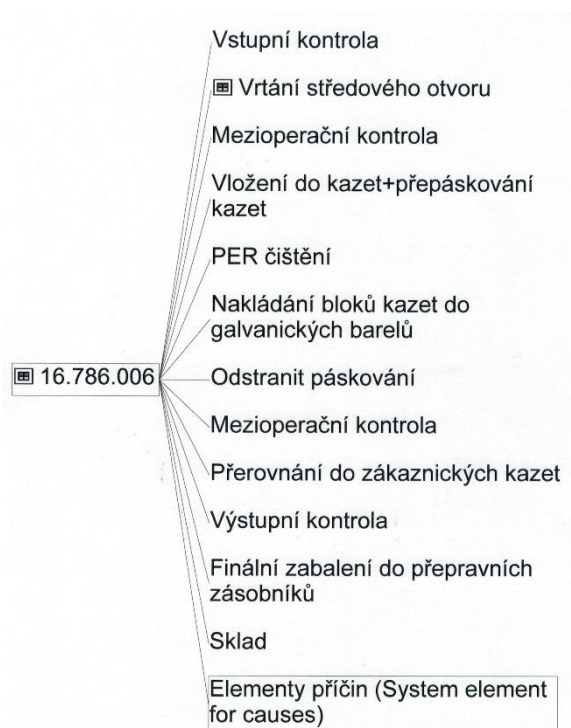
Obr. 27) Aktualizovaná PFMEA 4. část [9]

5.7 Program APIS IQ

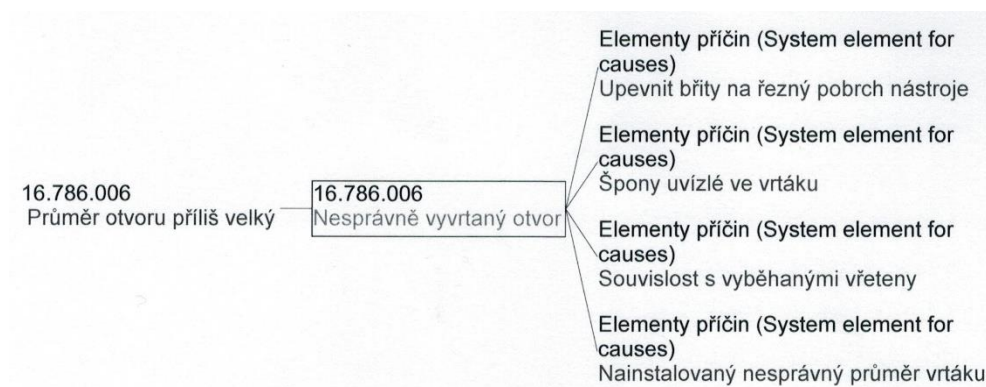
Mezi nejdůležitější aspekty každé analýzy patří, jakým způsobem jsou data a informace zachycovány a zpracovány. Software APIS IQ využívá grafické metody a na trh byl uveden v roce 1992. Jeho snadné použití minimalizuje šance na chybějící důležité oblasti rizika. Při používání tohoto programu jsou uživatelé schopni důvěrně a jasně sdělit výsledky analýzy ostatním. [14]

5.7.1 Strom vytvoření v programu APIS IQ

Strom vytvořený v programu APIS IQ je vytvořen podle Flow Chart a můžete ho vidět na obr. 28. Jednotlivé skupiny znamenají výrobní proces daného výrobku (16.781.006 a 16.786.006) od vstupní kontroly (prvního procesu přijetí zboží od dodavatele do výrobního procesu, kdy se kontroluje část zboží před tím, než je zboží uvolněno pro další zpracování) po balení a uskladnění před přepravou k zákazníkovi. [9]



Obr. 28) Strom výrobního procesu podle Flow Chart pro výrobek 16.781/786.006 [9]



Obr. 29) Strom poruchovosti [9]

5.7.2 Ukázka zapsání PFMEA v programu APIS IQ

Formulář, do kterého byla část PFMEA 16.781.006 (16.786.006), zobrazena na obr. 30, přepsána do programu APIS IQ, byla sestavena podle AIAG (neziskové organizace, která byla původně určena k vypracování doporučení pro zlepšení kvality v automobilovém průmyslu a nyní publikuje standardy a dále nabízí školení a konference ohledně standardů kvality), podle kterého jsou používány i hodnotící tabulky uvedené v tabulkách č. 4, 5 a 6. Na obr. 30 je znázorněná pouze část přepsané PFMEA do programu a na obr. 29 můžete vidět strom poruchovosti znázorňující část PFMEA na vrtání. Tento program má firma zatím ve zkušební verzi a rozhoduje se o jeho zakoupení, proto je přes obrázek napsáno IQ zkušební kopie.

FMEA (FMEA)									
Proces (Process)									
Připravil(a) (Prepared by): EPNQ/Par									
Vytvořeno (Created): 21.4.2017									
Odpovědnost za proces (Process responsibility): EPNP/Sev									
Datum dokončení (Completion date): 27.4.2017									
Číslo (Item): 16.786.101									
Model Roky/Vozidla(s) (Model year(s)/vehicle(s)): 16.786.101									
Tým (Team): EPNP/Sev, EPNQ/Ko, EPL/Korber									
Funkce (Function)									
Možné chyby (Potential failure)									
Možný(ů) následek(y) chyby (Potential effect(s) of failure)									
Z	K	M	A	V	D	RPN	Z	R	D
(S)	(C)	(L)	(E)	(O)	(D)	(N)	(T)	(R)	(D)
Systémový element (System element): 16.786.006									
Vrtání středového otvoru									
8						6	48		
Nesprávně vyvrtaný otvor									
► Upevnit bity na ferzy poboch nástroje									
Pravidelná údržba E7A-16-05-10 (změnit rychlost otáčení vrtáku kontrolou na přístrojem)									
Zodpovědný? (Responsible?)									
Termin? (Deadline?)									
(V úpravě (in progress))									
Správná kombinace navrtáku a vrtáku (vyhoví otvor ve dvou krocích, definované dráčky vrtáku (dráčky nástroje, velký stroj))									
Zodpovědný? (Responsible?)									
Termin? (Deadline?)									
(V úpravě (in progress))									
► Špony vidě ve vrtáku									
Pravidelná údržba, plan udžby									
Zodpovědný? (Responsible?)									
Termin? (Deadline?)									
(V úpravě (in progress))									
Souvislost a vypořádaným vřeteny									
► Namástořový nesprávný průměr vrtáku									
Podle instrukcí ENA-16-05-10 kontrola průměru po nastavení posuvu vždy změněný mikrometrem									
Zodpovědný? (Responsible?)									
Termin? (Deadline?)									
(V úpravě (in progress))									
Namástořová kontrola procesu, kontrola průměru vrtání, kontrola kalibrace									
Zodpovědný? (Responsible?)									
Termin? (Deadline?)									
(V úpravě (in progress))									
Namástořová kontrola procesu, kontrola průměru vrtání, kontrola kalibrace									
Zodpovědný? (Responsible?)									
Termin? (Deadline?)									
(V úpravě (in progress))									
Namástořová kontrola procesu, kontrola průměru vrtání, kontrola kalibrace									
Zodpovědný? (Responsible?)									
Termin? (Deadline?)									
(V úpravě (in progress))									

6 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat rešerši na téma Metody analýzy spolehlivosti a její nejčastěji používané metody pro zjišťování poruch v praxi. Procesní metoda FMEA byla následně použita v praktické části bakalářské práce a z tohoto důvodu je postup řešení popsán podrobněji než u předchozích metod.

Praktická část práce byla zpracovávána ve firmě SCHOTT CR, s.r.o. v Lanškrouně, kde podnětem byl požadavek na přezkoumání PFMEA na proces vrtání u výrobku s interním označením 16.781.006 a 16.786.006. Při řešení bylo důležité sestavit tým lidí a seznámit se s vrtacím strojem, pro který byla PFMEA aktualizována. Následně shromáždit veškeré dokumenty související s daným strojem a kontrolní plán, podle kterého se dané kusy ve výrobním procesu kontrolují. Aktualizovaná část není v takovém rozsahu, jak se předpokládalo, ale při řešení se objevily dvě nově vyskytlé vady, které byly ve formuláři aktualizovány. U některých vad byla zjištěna menší detekce než před revizí.

Obě nově nalezené vady byly způsobené operátorem, resp. nedodržením instrukcí. Jedná se o špatné vložení válce do pořadače stroje a nesprávné vložení kusů do tub. Obě tyto vady byly vyřešeny zabudováním dotekového sensoru a pravidelným školením obsluhy.

V závěru praktické části je ukázka zápisu PFMEA vrtání v programu APIS IQ, který firma plánuje zakoupit. Byla vybrána jen část a na ní ukázka chybového stromu, který tento program umožňuje vytvořit a následně propojit s formulářem.

Bakalářská práce by se dala rozšířit o PFMEA vrtání stroje, který společnost nedávno zakoupila a jeho činnost se teprve testuje. Tento nově zakoupený stroj má lépe zabudovaná čidla, která rychleji detekují například chybně vyvrtaný kus.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HOLUB, Rudolf a Zdeněk VINTR. Základy spolehlivosti technických systémů. Brno: Vojenská akademie v Brně.
- [2] MYKISKA, Antonín. Bezpečnost a spolehlivost technických systémů. Vyd. 2. přeprac. V Praze: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02868-2.
- [3] Prediktivní analýzy spolehlivosti a možnosti jejich využití: 60. seminář Odborné skupiny pro spolehlivost: materiály z 60. semináře odborné skupiny pro spolehlivost: Brno, červen 2015. Brno: Univerzita obrany, 2015. ISBN 978-80-7231-425-6.
- [4] 63. seminář odborné skupiny pro spolehlivost k problematice Prediktivní analýzy spolehlivosti a možnosti jejich využití: materiály z 63. semináře odborné skupiny pro spolehlivost: Brno, červen 2016. Brno: Univerzita obrany, 2016. ISBN 978-80-7231-469-0.
- [5] ČSN EN 60812. Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [6] JEŘÁBEK, Dušan. Metoda FMEA: podpůrné učební texty. Ostrava-Mariánské Hory: DTO CZ, 2016.
- [7] Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA): referenční příručka. 4. vyd. Přeložil Ivana PETRAŠOVÁ. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. ISBN 978-80-02-02101-8.
- [8] SCHOTT CR, s.r.o.: O společnosti SCHOTT v Lanškrouně [online]. [cit. 2017-15-04]. Dostupné z: <http://www.schott.com/czechia/czech/company/lanskroune.html>
- [9] *Firemní podklady*. Lanškroun, 2017.
- [10] EICHLER, Tomáš. Kontrolní plán [online]. 2015 [cit. 2017-15-04]. Dostupné z: <http://kvalita-jednoduse.cz/kontrolni-plan/>
- [11] Moderní plánování kvality produktu (APQP) a plán kontroly a řízení: referenční příručka. 2. vyd. Přeložil Ivana PETRAŠOVÁ. Praha: Česká společnost pro jakost, 2009. ISBN 978-80-02-02142-1.
- [12] Analýza možných způsobů a důsledků závad (FMEA): příručka. 3. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2001. ISBN 80-02-01476-6.
- [13] MANZINI, Riccardo. Maintenance for industrial systems. New York: Springer, c2010. ISBN 978-1-84882-574-1.
- [14] APIS IQ: APIS IQ software [online]. [cit. 2017-15-04]. Dostupné z: <https://www.apis-iq.com>.

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam tabulek

Tab 1)	Použití vybraných metod analýzy spolehlivosti [2].....	21
Tab 2)	Výběr často používaných značek pro znázornění stromu poruch/poruchových stavů [3]	23
Tab 3)	Příklad použitých symbolů ve Flow Chart [6]	39
Tab 4)	Definice závažnosti [9]	47
Tab 5)	Definice výskytu [9]	47
Tab 6)	Schopnost detekce [9]	48

8.2 Seznam obrázků

Obr. 1)	Spolehlivost v širším a užším pojetí [2].....	20
Obr. 2)	Strom poruchových stavů [1]	22
Obr. 3)	Hlavní kroky postupu metody [3].....	24
Obr. 4)	Strom událostí [2]	24
Obr. 5)	Sériové zapojení bloků RBD [2]	25
Obr. 6)	Paralelní systém RBD [2].....	26
Obr. 7)	Smíšené zapojení RBD [2].....	26
Obr. 8)	Můstkové zapojení RBD [2]	27
Obr. 9)	Rozklad můstkového zapojení [2]	27
Obr. 10)	Diagram MA se dvěma obnovitelnými prvky [2]	28
Obr. 11)	Vazby s PFMEA [7]	30
Obr. 12)	Postup analýzy FMEA (FMECA) [3].....	31
Obr. 13)	Formulář pro PFMEA [7].....	34
Obr. 14)	Matice rizik [13]	35
Obr. 15)	SCHOTT CR, s.r.o. v Lanškrouně [8]	37
Obr. 16)	Vrtačka přední část [9].....	38
Obr. 17)	Vrtačka boční část [9]	38
Obr. 18)	Flow Chart 16.781.006 a 16.786.006 [9]	40
Obr. 19)	Kontrolní plán [9]	42
Obr. 20)	Průřezový tým FMEA [6]	43
Obr. 21)	Prováděcí předpis PFMEA, 1. část [9].....	44
Obr. 22)	Prováděcí předpis PFMEA, 2. část [9].....	45

Obr. 23) Prováděcí předpis PFMEA, 3. část [9].....	46
Obr. 24) Aktualizovaná PFMEA 1. část [9].....	50
Obr. 25) Aktualizovaná PFMEA 2. část [9].....	51
Obr. 26) Aktualizovaná PFMEA 3. část [9].....	52
Obr. 27) Aktualizovaná PFMEA 4. část [9].....	53
Obr. 28) Strom výrobního procesu podle Flow Chart pro výrobek 16.781/786.006 [9]..	54
Obr. 29) Strom poruchovosti [9]	54
Obr. 30) Část PFMEA na vrtání v programu APIS IQ [9].....	55
Obr. 31) Původní PFMEA 1. část [9]	65
Obr. 32) Původní PFMEA 2. část [9]	66
Obr. 33) Původní PFMEA 3. část [9]	67

8.3 Seznam zkratk

AIAG	Automotive Industry Action Group	
DFMEA	Design Failure Mode Effects Analysis (Design FMEA)	FMEA produktu
ETA	Event Tree Analysis	Analýzy stromu událostí
FMEA	Failure/Fault Modes and Effects Analysis	Analýza druhů poruch a jejich důsledků
FMECA	Failure/Fault Modes, Effects and Criticality Analysis	Analýza druhů poruch, důsledků a kritičnosti
FTA	Fault/failure tree analysis	Analýza stromu poruch/poruchových stavů
MA	Markov analysis	Markovova analýza
PFMEA	Process Failure Mode Effects Analysis (Process FMEA)	Procesní FMEA
RBD	Realibility Block Diagramme	Blokový diagram bezporuchovosti
RPN	Risk Priority Number	Hodnota priority rizika

9 SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy Původní PFMEA na vrtání

10 PŘÍLOHY

FMEA - Failure Mode and Effects Analysis																		
16.781.101 16.786.101		Vrtání		D														
				No.	FMEA-053													
Odpovědnost za proces				EPNP/Sev	Zpracoval	EPNQ/Ko, Ma	Odsouhlasil		EPNQ/Ma									
Projektový tým				EPNT/Sj, EPNQ, Ko,	1. datum vydání	12.4.2012												
Funkce procesu	Požadavky	Projev možné vady	Možný důsledek vady	Závažnost	Klasifikace	Možná příčina mechanismu vady	Výskyt	Stávající řízení procesu, prevence	Stávající řízení procesu, odhalování	Odhaltitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovídá a termín splnění	Opatření splněno	Závažnost	Výskyt	Odhaltitelnost	RPN
Proces vrtání																		
Vrtání součástek	Vrtání součástek	Smíchání různých dávek	Není možnost zpětného sledování	2		Po vyvrtání součástky mohou zůstat v dopravníku stroje nebo na otočném stole, možnost pomíchání dávek	2	Sledování instrukcí, dostupné pracovní instrukce ENA-16-65-10		10	40							
			Pomíchané různé typy výrobků	7		Lidská chyba	2	Sledování instrukcí, dostupné pracovní instrukce ENA-16-65-10	100% třídění během zpracování	4	56							
		Držák není vyčištěný	Soustřednost díry s otvorem mimo specifikaci	7		Částičky v soupravě držáku mohou způsobit, že kus není sevržen vycentrovaně	2	Čistící proces ve vrtacím stroji natlakovaným vzduchem, dvě trysky nahoru a jedna tryska dole	Pravidelná údržba stroje ENA-16-65-10, proces rozměrové kontroly	6	84							
			Kolmost otvoru mimo specifikaci	7		Částičky v soupravě držáku mohou způsobit, že díl je sevržen šikmo	2	Čistící proces ve vrtacím stroji natlakovaným vzduchem, dvě trysky nahoru a jedna tryska dole	Pravidelná údržba stroje ENA-16-65-10, proces rozměrové kontroly	6	84							
		Kusy vložené do trubky obráteně	Rozřepený řez v dutině	8		Operátor nedodržel instrukce ENA-16-65- 10, lidská chyba	2	Pravidelné školení	Stroj vybaven detekovaným systémem	2	32							
Součástka vložená šikmo	Kolmost otvoru mimo specifikaci	7		Operátor nedodržel instrukce ENA-16-65- 10, lidská chyba	1	Pravidelné školení, stroj vybaven vyrovnávacím mechanismem	Namátková kontrola procesu	8	56									

Obr. 31) Původní PFMEA 1. část [9]

FMEA - Failure Mode and Effects Analysis																		
16.781.101 16.786.101		Vrtání		D														
				No.	FMEA-053													
Odpovědnost za proces		EPNP/Sev	Zpracoval	EPNQ/Ko, Ma	Odsouhlasil		EPNQ/Ma											
Projektový tým		EPNT/Sj, EPNQ, Ko,	1. datum vydání	12.4.2012														
Funkce procesu	Požadavky	Projev možné vady	Možný důsledek vady	Závažnost	Klasifikace	Možná příčina mechanismu vady	Vyskytí	Stávající řízení procesu, prevence	Stávající řízení procesu, odhalování	Odhaltitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovídá a termín splnění	Opatření splněno	Závažnost	Vyskytí	Odhaltitelnost	RPN
Proces vrtání		Nesprávně vyvrtaný otvor	Průměr otvoru příliš velký	8	K	Vytvořena "sražená" hrana	2	Pravidelná údržba ENA-16-65-10 (změnit rychlost otáčení vrtáku kontrolovaného přístrojem)	Namátková kontrola procesu, kontrola během vrtání, kontrola kalibrace	6	96							
				8	K	Špony uvízné na vrtáku	1	Správná kombinace navrtáku a vrtáku (vytvoření otvoru ve dvou krocích, definované otáčky vrtáku jsou kontrolovány strojem)	Namátková kontrola procesu, kontrola během vrtání, kontrola kalibrace	6	48							
				8	K	Souviskost s vyběháním vřeten	1	Pravidelná údržba, plán údržby	Namátková kontrola procesu, kontrola během vrtání, kontrola kalibrace	6	48							
				8	K	Nainstalovaný nesprávný průměr vrtáku	1	Podle instrukcí ENA-16-65-10 nástroje před použitím jsou vždy zneženy mikrometrem	Namátková kontrola procesu, kontrola během vrtání, kontrola kalibrace	6	48							
			Průměr otvoru příliš malý	8	K	Nainstalovaný nesprávný průměr vrtáku	1	Podle instrukcí ENA-16-65-10 nástroje před použitím jsou vždy zneženy mikrometrem	Namátková kontrola procesu, kontrola během vrtání, kontrola kalibrace	6	48							
			Ostrost břitů + 0,02 mimo specifikaci	7		Opořebení nástroje	1	Správná kombinace navrtáku a vrtáku (vytvoření otvoru ve dvou krocích, definované otáčky vrtáku jsou kontrolovány strojem)	Namátková kontrola procesu	8	56							

Obr. 32) Původní PFMEA 2. část [9]

FMEA - Failure Mode and Effects Analysis																			
16.781.101 16.786.101		Vrtání		D		FMEA-053													
							No.			FMEA-053									
Odpovědnost za proces		EPNP/Sev	Zpracoval	EPNQ/Ko, Ma		Odsouhlasil		EPNQ/Ma											
Projektový tým		EPNT/Sj, EPNQ, Ko,	1. datum vydání	12.4.2012															
Funkce procesu	Požadavky	Projev možné vady	Možný důsledek vady	Závažnost	Klasifikace	Možná příčina mechanismu vady	Výskyt	Stávající řízení procesu, prevence	Stávající řízení procesu, odhalování	Odhaltitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovídá a termín splnění	Opatření splněno	Závažnost	Výskyt	Odhaltitelnost	RPN	
Proces vrtání																			
				7		Navrták a vrták vyměněn během montáže vrtáku do stroje	1	Podle instrukcí ENA-16- 65-10 kontrolní list k výměně nástrojů	Namátková kontrola procesu	8	56								
				8		Kombinace materiálu a procesu	3	Převracení, odjehlování (chemické odstranění rozřípených částí řezu)	Namátková vzhledová kontrola	8	192	Rozšířené naleptání, umožní minimum rozřípení během vrtání	EPNO/Sev, KW 20 2013	Zavedeno v CW 20 2013	8	1	8	64	
				8	K	Chybějící vrták	2	Podle instrukcí ENA-16- 65-10 kontrolní list k výměně nástrojů	Sensor detekce otvoru	1	16								
				8	K	Zlomený vrták	2	Správná kombinace navrtáku a vrtáku (vytvoření otvoru ve dvou krocích, definované otáčky vrtáku jsou kontrolovány strojem)	Sensor detekce otvoru	1	16								
				8	K	Operátor umístil nevrtanou součástku přímo do boxu s vyvrtanými součástkami	1	Pravidelné školení, boxy jsou umístěné jeden od druhého dál a barevně odlišeny	100% optická kontrola	6	48								

Obr. 33) Původní PFMEA 3. část [9]