

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Analýza způsobů a kritičnosti důsledků poruch

diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Václav Legát, DrSc

Autor práce: Jan Doule

Praha 2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra jakosti a spol. strojů

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Doule Jan

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Analýza způsobů a kritičnosti důsledků poruch

Anglický název

Analysis of failure mode and criticality consequences

Cíle práce

Cílem diplomové práce je vypracovat analýzu příčin a kritičnosti důsledků poruch pro konkrétní technické zařízení.

Metodika

Vyhledání, studium a rešerše literatury. Předložit metodiku FMECA, která bude uplatnitelná v oblasti managementu spolehlivosti. Navrhnout a vypracovat co nejjednodušší způsob počítačové podpory FMECA a zpracování vstupních dat a výstupních dat. Ověřit funkčnost návrhu na konkrétních příkladech z praxe. Navrhnout zlepšení bezporuchovosti. Seznámení se s pokyny TF pro vypracování a odevzdání diplomové práce. Vypracování čistopisu na PC. Odevzdání DP sekretářce katedry.

Osnova práce

1. Úvod, cíl a metodika práce
2. Současný stav řešené problematiky
3. Metoda FMECA
4. Aplikace metody FMECA na příkladu z praxe
5. Návrh na zlepšení bezporuchovosti
6. Závěr

Rozsah textové části

40 - 60

Klíčová slova

spolehlivost, porucha, analýza poruch, příčiny poruch, důsledky poruch

Doporučené zdroje informací

ČSN EN 60812 Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)

HOLUB, R. - VINTR, Z.: Základy spolehlivosti. VA, Brno 2002. 174 s.

MYKISKA, A.: Spolehlivost v systémech jakosti. ČVUT, Praha 1995. 103 s.

LEGÁT, V., a kol.: Manažer údržby. Skripta pro kurz. ČSPÚ Praha, 2010.

Vedoucí práce

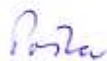
Legát Václav, prof. Ing., DrSc.

Termín zadání

listopad 2010

Termín odevzdání

duben 2012



prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 8.2.2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma „Analýza způsobů a kritičnosti důsledků poruch“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Václava Legáta, DrSc a použil jen pramenů citovaných v příložené bibliografii. Další informace mi poskytl podnik Strojírna Vimperk s.r.o. a společnost Elektro Kolrus.

V Praze, dne 1. 4. 2012

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji prof. Ing. Václavu Legátovi, DrSc za odborné vedení při zpracování této diplomové práce.

Abstrakt: Spolehlivostní metoda FMECA patří k jednomu z nejužívanějších nástrojů v oblasti managementu jakosti, a to především v automobilovém průmyslu. Tento nástroj se zabývá hledáním možných způsobů poruch a hodnocením kritičnosti jejich důsledků. Aplikace je možná už od rané fáze návrhu až po období provozu systému. Vyhodnocení kritičnosti poruch probíhá na základě semikvantitativní analýzy. V praktické části této práce je provedena aplikace metody FMECA přímo na příkladech z praxe. Aplikování této metody je provedeno na technickém zařízení a procesu. Výsledkem je návrh na zlepšení bezporuchovitosti na základě provedené analýzy FMECA.

Klíčová slova: FMECA, kvalita, řízení kvality, bezporuchovost

Analysis of failure mode and criticality consequences

Abstract: The Method of reliability FMECA belongs to one of the most widely used tools in the field of quality control, particularly in the car industry. This tool searches for possible failures and evaluation of the criticality consequences. Application is possible from the early stage of the project through the stage of the system operation. Evaluation of criticality failure consequences is based on semiquantification analysis. In the practical part of this thesis the method FMECA is applied directly to practical examples. The method is applied to the technical equipment and process. The result of this thesis is suggestion of reliability improvement based on the performed FMECA analysis.

Key words: FMECA, quality, quality control tools, reliability

Obsah:

1 Úvod	1
2 Současný stav řešené problematiky	2
3 Metoda FMECA.....	4
3.1 Cíl analýzy FMECA a postup při vypracování.....	5
3.2 Plánování metody	8
3.2.1 Stupně analýzy.....	8
3.2.2 Stanovení rozsahu hranic systému pro aplikaci analýzy	9
3.2.3 Rozčlenění systému	9
3.2.4 Znázornění stupňů systému	10
3.2.5 Provozní podmínky systému a jeho prostředí	12
3.3 Analyzování způsobů poruch.....	12
3.3.1 Stanovení příčin poruch.....	14
3.3.2 Určení důsledků způsobů poruch	14
3.3.3 Odhalování poruch	15
3.3.4 Hodnocení závažnosti.....	16
3.3.5 Četnost výskytu	18
3.3.6 Poruchy se společnou příčinou	18
3.4 Stanovení kritičnosti	19
3.4.1 Rizikové číslo (RPN).....	19
3.4.2 Matice kritičnosti.....	21
3.5 Dokumentace analýzy a softwarová podpora	22
4 Aplikace metody FMECA na příkladech z praxe	26
4.1 FMECA konstrukční pro průmyslový vysavač MV-11	26
4.1.1 Popis zařízení.....	26
4.1.2 Stanovení řešitelského týmu.....	27
4.1.3 Určení hranic systému a struktury analýzy.....	27
4.1.4 Prostředí systému.....	28
4.1.5 Definování režimu zařízení	29
4.1.6 Analyzování způsobů poruch a vyhodnocení kritičnosti pomocí RPN.....	29
4.2 FMECA procesní pro obrábění na CNC stroji	35
4.2.1 Popis procesu.....	35
4.2.2 Stanovení řešitelského týmu	36
4.2.3 Určení hranic systému a struktury analýzy.....	37
4.2.4 Analyzování způsobů poruch a vyhodnocení kritičnosti pomocí RPN.....	38
5 Návrh na zlepšení bezporuchovitosti	44
5.1 Návrh opatření pro průmyslový vysavač MV - 11	44
5.1.1 Aplikace opatření pro poruchy s vysokou mírou kritičností	44
5.1.2 Poruchy se společnou příčinou	46
5.1.3 Návrh plánu údržby, kontroly a revize	46
5.2 Návrh opatření pro proces kovoobrábění	47
5.2.1 Aplikace opatření pro poruchy s vysokou mírou kritičností	47
5.2.2 Návrh plánu kontroly a revize	48
6 Závěr.....	49

1 Úvod

Celosvětová konkurenceschopnost je základní stavební kámen pro fungování každého podniku v tržní ekonomice. K dosažení takovéto podmínky je zapotřebí splnění několika faktorů, mezi něž neodmyslitelně patří i zajištění spolehlivosti výrobku (objektu) pomocí systému řízení kvality. Spolehlivost výrobku, kterou můžeme jednoduše definovat, jako schopnost plnit požadovanou funkci se sleduje a hodnotí už v období návrhu, vývoje, výroby a v době provozu pomocí základních nástrojů pro řízení a zajištění kvality.

Do základní skupiny nástrojů pro řízení kvality neodmyslitelně patří také analýza způsobů a kritičnosti důsledku poruch, neboli FMECA, která je předmětem této diplomové práce. Tato metoda prediktivní analýzy spolehlivosti je jedna z nejrozšířenější uplatňovaných v praxi. Pro její aplikace je potřeba týmové práce. Nejčastěji se můžeme s touto metodou potkat v automobilovém průmyslu, ale není výlučná ani pro další odvětví. Metoda FMECA není samostatná metoda spolehlivostní analýzy, ale je nadstavbou metody FMEA, a tak představuje v podstatě jen logické rozšíření. Postup a metodika FMECA je popsána v normě ČSN EN 60812. [8]

Cíl a metodika práce

Cílem diplomové práce je seznámení se současným stavem zavádění metody FMECA a zpracování rešerše metodiky FMECA, z které se bude vycházet pro vytvoření počítačové podpory a také při zpracování reálného příkladu z praxe. Poté navrhnout zlepšení stavu bezporuchovitosti na předložených příkladech.

Zpracování teoretické části práce bude vycházet především z normy ČSN EN 60812 a dalších zdrojů. V praktické části bude uplatněn vypracovaný postup metodiky FMECA pro aplikaci metody na příkladech z praxe.

2 Současný stav řešené problematiky

V dnešní době patří metoda FMECA k jedním nejrozšířenějším nástrojům pro prediktivní analýzu spolehlivosti. Její rozšíření proniklo do různých druhů odvětví. Nejčastější aplikace je v automobilovém průmyslu a jeho dodavatelů, kde její užití je vyžadováno normou ISO 9000:2000. Realizací metody FMECA by se mělo předejít až 90% možných poruch. [4; 9]

Využití FMECA je situováno na technické systémy, pro analýzu procesů, ale její aplikace je umožněna také i na software. V nynější praxi se setkáváme s analýzou FMECA ve dvou základních provedeních. Jejich základní principy postupu vypracování a vyhodnocování míry kritičnosti se opírají o stejné základní pilíře, ale jejich celkový přístup k aplikaci na systém se mírně rozcházejí: [2]

FMECA konstrukční

Metoda FMECA konstrukční, označovaná také jako DFMECA (Design FMECA) může být použita jako samostatný nástroj, anebo jako doplněk dalších nástrojů pro analýzu bezporuchovitosti návrhu. Zavedení analýzy DFMECA je neoptimálnější už v době návrhu projektu. Výsledek analýzy DFMECA se využívá pro ověřování jednotlivých cílů projektu a slouží také pro prohlášení shody navrženého projektu s jednotlivými požadavky norem, uživatelů a legislativními předpisy. Výstupem DFMECA jsou také informace pro stanovení kontrolních (revizních) a údržbářských intervalů. [3; 8]

FMECA procesu

FMECA procesu, označovaná v praxi často jako PFMECA se zaměřuje na cíl nebo výsledek daného procesu. Účelem metody PFMECA je analyzování jednotlivých kroků při cestě k dosažení výsledku daného procesu. Jednotlivé procesy můžou mít několik cílů, a proto je nutné pro každý cíl vytvořit vlastní analýzu PFMECA. Předností metody PFMECA je citlivé zkoumání každého stupně (kroku) systému z čehož vyplývá, že metoda je vhodná i pro rozsáhlé systémy, kde by mohlo dojít k celkové nepřehlednosti u jiných nástrojů pro řízení kvality. [3; 10]

Výhody metody FMECA

- hlavní předností metody je včasné zjištění možných způsobů poruch už v období návrhu a tím zabránění nákladným modifikacím systému;
- konkretizování přesně těch poruch, které nesou největší míru rizika vůči systému a pro tyto poruchy zavedení takových opatření, které je eliminují;
- zaměření se na ty poruchy, které zásadním způsobem můžou ovlivnit bezpečnost uživatele;
- nastavení takových opatření, aby detekce poruch při vývojových zkouškách byla velmi snadná;
- nastavení systému tak, aby poruchové stavy jednotlivých prvků systému byly co nejvíce izolovány a nevznikala u nich posloupnost;
- při analyzování systému dochází k odhalení faktorů snižující bezporuchovost, čímž je usnadněna práce návrhářů. [2]

Nedostatky metody FMECA

- aplikace metody může být velmi obtížná a zdlouhavá v případě nevhodného vymezení hranic systému;
- metoda musí být zaváděná kvalifikovanými odborníky se znalostmi charakteristiky systému, jinak se metoda stává neefektivní;
- nevhodnost pro analyzování poruch se stejnou příčinou (Common Cause Failures);
- vhodnost aplikace pouze na dva až tři stupně v hierarchické struktuře;
- neschopnost určit ukazatel celkové bezporuchovitosti systému a zároveň také určit ekonomického přínosu. [2]

3 Metoda FMECA

Nástroj FMECA je založen na systematickém postupu analýzy systému k nalezení potenciálních způsobů poruch, jejich příčin, důsledků a ohodnocení jejich kritičnosti. Přidáním písmena C do zkratky FMEA znamená, že analýza způsobů poruch se zabývá též hodnocením kritičnosti. Zjištěnou hodnotou kritičnosti dochází k vyjádření kvantitativního ukazatele rozsahu důsledku způsobů poruch. Hodnotí jednotlivé dopady poruch na technické parametry systému. Nejvhodnější doba pro aplikaci nástroje FMECA je v raném stádiu etapy vývoje, jelikož při odstranění možných poruch už v této fázi dochází k úspoře finančních nákladů. Zahájení analýzy je možné v okamžiku, kdy je systém dostatečně vymezen formou funkčního blokového diagramu. Jestliže metoda FMECA je aplikovaná na stávající objekt nebo proces, tak její přednosti a celková efektivita aplikace se výrazně ztrácí. [2, 5]

Použití analýzy FMECA je možné na všech stupních blokového diagramu systému od nejvyššího stupně blokového diagramu až k jednotlivým funkcím součástí. Nástroj FMEA je iterativní proces, jenž se upravuje dle vývoje návrhu. Z toho vyplývá, že pokud dojde k úpravě návrhu systému, musí se také aktualizovat příslušné části analýzy FMECA. [3]

Celková analýza FMECA je dílem pracovního týmu, který je složen z pracovníků z jednotlivých oblastí. Tento tým je schopen důsledněji rozpoznávat a vyhledávat potenciální neshody návrhu systému nebo produktu. Předností týmové práce je, že umožňuje nahlížení na daný návrh z více úhlů pohledu. [3]

Analýzou FMECA se klasifikuje u jednotlivých potenciálních způsobů poruch jejich význam, výskyt a odhalitelnost. Toto stanovení je základ pro zjištění relativní míry kritičnosti. Pro efektivní sestavení metody FMECA je potřeba, aby pracovní tým byl seznámen se systémem a byl mu poskytnut potřebný zdroj informací k němu. Pro podrobnou analýzu je potřebná dokonalá znalost technických parametrů návrhu a jeho principů. U složitých návrhů bývá zapotřebí zapojení návrhových odborníků ze širokého spektra oborů, jako je strojírenství, elektrotechnika, systémové inženýrství, softwarové inženýrství, zajištění údržby atd. [3]

Metoda FMECA není vhodná pro hledání poruch, které jsou na sobě závislé anebo vyplývají z určitých řetězců poruch, jelikož tato metoda vypracovává hodnocení pro každou poruchu nezávisle na ostatních. [3]

3.1 Cíl analýzy FMECA a postup při vypracování

Cílem analýzy způsobů, důsledků a kritičnosti poruch je především zjištění poruch, které nesou nežádoucí důsledky pro daný systém. Nežádoucí jsou zvláště poruchy, které ohrožují bezpečnost uživatele a dále kritické poruchy ovlivňující provozuschopnost systému. Mezi další cíl lze zařadit splnění požadavků určenými zákazníkem. Jako další cíl je zlepšení bezporuchovosti např. pomocí modifikací návrhu nebo opatřeními. [3, 6]

Pro výše uvedené cíle se do zpracování analýzy FMECA zahrnují tyto části:

- a) přesná identifikace a zhodnocení všech důsledků, které se mohou objevit ve vymezené části systému v rámci potenciální poruchy;
- b) u jednotlivých poruch stanovit míru kritičnosti s ohledem na jejich technické parametry a dopad na daný systém;
- c) klasifikování charakteristik poruch jako je význam, četnost a odhalitelnost;
- d) zpracování opatření pro odstranění poruch dosažení snížení způsobů poruch.

Při provádění analýzy a prezentaci metody FMECA může docházet k určitým rozdílům při jejím zpracování. Základní stavební osu vždy tvoří zjišťování možnosti vzniku vad, jejich daných příčin, konečných důsledků s příslušným ohodnocením kritičnosti. Vypracování metody FMECA je formulováno na pracovní listy. Tyto listy obsahují vyhodnocení pro každý možný způsob poruchy bez spojitosti na další možné způsoby. Dále identifikují všechny možné příčiny. U příčin, které mohou způsobit kritickou poruchu je vypracováno opatření, které snižuje nebo odstraňuje jejich konečné důsledky. [2; 7]

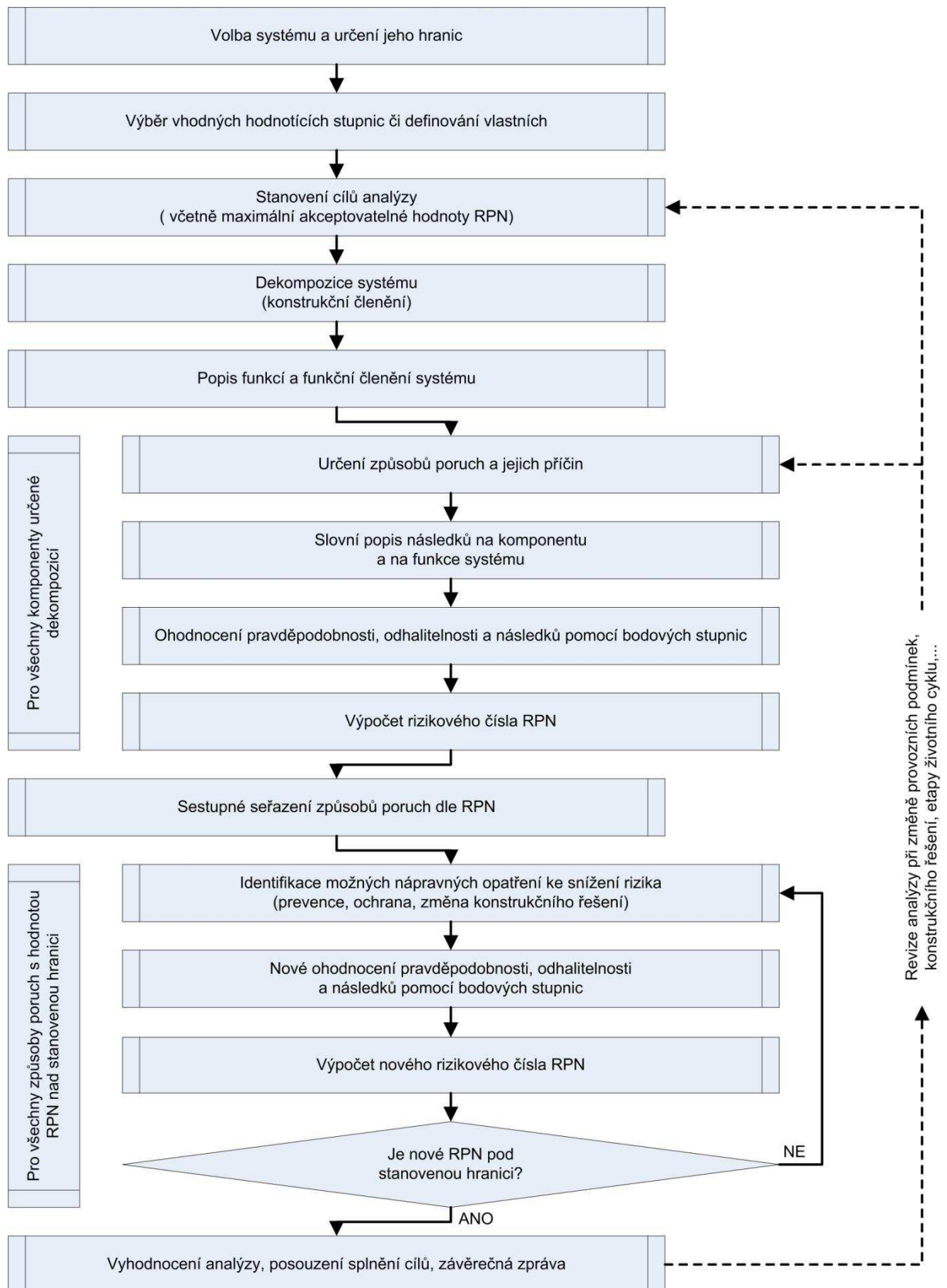
Vypracování metody FMECA pro složitější proces nebo produkt může být velice náročné. Pro zjednodušení může být vzato v potaz, že pro některé opakující části systému nebo pro jednotlivý díl produktu může být už vypracovaná metoda FMECA z předcházejícího typu, jenž nynější návrh je pouze modifikací předešlého. V novém zpracování metody FMECA u modifikovaných produktů je vhodné tedy pracovat s informacemi a poznatky z předešlé analýzy u opakujících se montážních sestav. Značnou výhodou této analýzy je, že při návrhu nové generace produktu se může z větší části vycházet ze stávající analýzy, čímž dochází k menšímu vynaloženému úsilí. [3]

Pokud dochází k sestavování nové analýzy FMECA na základech předešlé analýzy, je důležité se přesvědčit, zda nový návrh je podobný tomu předešlému a fungující na stejném principu. U nového návrhu je třeba odhalit všechny nové modifikace, jelikož u těchto částí systému může docházet zcela jiným provozním podmínkám, jako mohou být jiné druhy namáhání apod. Pro tyto modifikované části je třeba přepracovat předešlou analýzu. Pokud je nový návrh větší části založen na jiném principu konstrukce a návrhu, tak je lepší vypracovat zcela novou analýzu. [3]

Vypracování analýzy FMECA se zakládá na čtyřech hlavních bodech:

- a) naplánování časového harmonogramu pro vypracování celé analýzy, ustanovení základních pravidel pro vypracování analýzy a zajištění odborné kvalifikace a pověření hlavního vedoucího týmu;
- b) vypracování samotné analýzy a vyhodnocení míry kritičnosti způsobů poruch viz obr. č. 1;
- c) vytvoření reportu, jenž bude obsahovat jednotlivá opatření pro snížení bezporuchovitosti a zhodnocení celkového přínosu aplikace;
- d) včasná aktualizace metody FMECA při změnách v návrhu a zachycení dalších možných poznatků při samotné realizace produktu nebo systému.

Obr. 1- Schéma postupu analýzy FMECA



Zdroj: ZAJÍČEK, J. POSTUPY SEMIKVANTITATIVNÍ ANALÝZY FMECA, str. 32

3.2 Plánování metody

Celkový plán analýzy zahrnuje kromě činností prováděných během vytváření metody FMECA i činnosti následné. Po zavedení analýzy FMECA na systém je nutné provádět nejen aktualizace při změně konceptu, ale také revizní kontroly a hodnocení jejího přínosu pro systém. Revizní kontroly by měly mít nastaveny vhodné intervaly dle typu systému. Popis analýzy by měl mít formu souhrnného popisu postupu anebo odkaz na dokument, např. normu ČSN EN 60812, kde je konkrétně popsán. Plán by měl být schválen vedoucím projektu a jeho zadavatelem. [2; 3]

Základní obsah plánu:

- a) vytyčení specifických cílů pro analýzu a předpokládaných výsledků;
- b) určit prvky návrhu, na které má být analýza zaměřena s ohledem na vyspělost návrhu;
- c) pojednání o tom, jak by měla analýza zajišťovat celkovou bezporuchovost produktu;
- d) nastavení časového harmonogramu revizí s úpravou příslušné dokumentace;
- e) volba kvalifikovaných pracovníků pro sestavení analýzy;
- f) přesné načasování klíčových milníků při realizaci s cílem včasného provedení
- g) nastavení způsobu, jak budou dosažena jednotlivá opatření pro identifikované možnosti způsobů poruch.

3.2.1 Stupně analýzy

Důležitým prvkem pro zavádění analýzy FMECA je získání všech dostupných informací, které jsou vázány na jednotlivé stupně systému. Tyto informace by měly obsahovat popis funkcí jednotlivých stupňů a technických parametrů. Díky tomu se analýza může zaměřit přesněji na ty způsoby poruch, které by mohly ohrozit funkčnost systému. [3]

V struktuře systému by měly být zahrnuty informace týkající se:

- a) jednotlivých částí systému s jejich charakteristikami a technickými parametry;
- b) provázanosti jednotlivých prvků a logičností mezi nimi;
- c) charakteristikou vstupů a výstupů;

- d) určení důležitosti jednotlivých prvků v celém funkčním systému;
- e) specifikování typů zálohování systému.

3.2.2 Stanovení rozsahu hranic systému pro aplikaci analýzy

Vymezené hranice pro systém, na který bude aplikovaná analýza FMECA jsou tvořeny fyzickými a funkčními propojeními mezi systémy. Do těchto hranic spadají i systémy, které přímo působí a ovlivňují analyzovaný systém. Z celkového vymezení hranic vychází také rozsah působnosti návrhu a údržby. Pokud prvek nebo součást nespadájí mezi stanovené hranice, tak by měly být z analýzy vyloučeny. [3]

Větší vliv na vymezení hranic systému při realizaci má oblast návrhu, zdroje napájení a vnější vlivy při použití před optimálními podmínkami. Ovšem by nemělo být také opomíjeno na stanovení hranic s ohledem na snadnější realizaci analýzy a jejím zařazením mezi další analýzy v programu. K tomuto případu dochází, především pokud systém je rozčleněn mezi více objektů uvnitř hranice. V této situaci je lepší hranice analýzy nastavovat dle funkčního hlediska před upřednostňováním hardwaru a softwaru. Tímto pojetím dochází ke snížením počtu způsobů poruch. [3]

3.2.3 Rozčlenění systému

Při realizaci analýzy je nutné systém rozčlenit na jednotlivé stupně. Tyto stupně mohou představovat např. jednotlivé části produktu nebo dle funkce systému rozčlenění na subsystémy. Volba pro vytvoření jednotlivých úrovní by se měla odvíjet od požadovaných výsledků a dostupných informací o návrhu.

Při realizaci analýzy dochází k pojmenování způsobů poruch, jejich příčin a důsledků v závislosti na dané úrovni, kdy během analýzy dochází, že důsledky poruch nalezené na nižší úrovni se stávají na vyšší úrovni způsoby poruchy. Z toho vyplývá, že při rozložení systému na stupně se stává důsledek jedné nebo více příčin možností poruch způsobem poruchy, který se následně negativně projevuje na vyšším stupni, což je díl a prostupuje přes modul až do subsystému viz obr. 2. [3;2]

Pravidla pro rozčlenění systému: [3]

- a) Volba nejvyšší úrovně systému se volí na základě daných požadavků na výstup a rozsahu návrhu.
- b) Rozhodnutí o počtu úrovní bývá závislé na zkušenostech řešitelského týmu. Nejnižší úroveň se volí dle dostupných informací pro jeho charakteristiku a popisu funkcí. Pro nový návrh bez předešlých zkušeností je doporučováno rozdělit systém na více úrovní oproti návrhu, který vychází z předešlého a řešitelský tým už s ním má dané zkušenosti.
- c) Vhodným ukazatelem pro stanovení nejnižší úrovně systému mohou být také plánované stupně údržby.

3.2.4 Znázornění stupňů systému

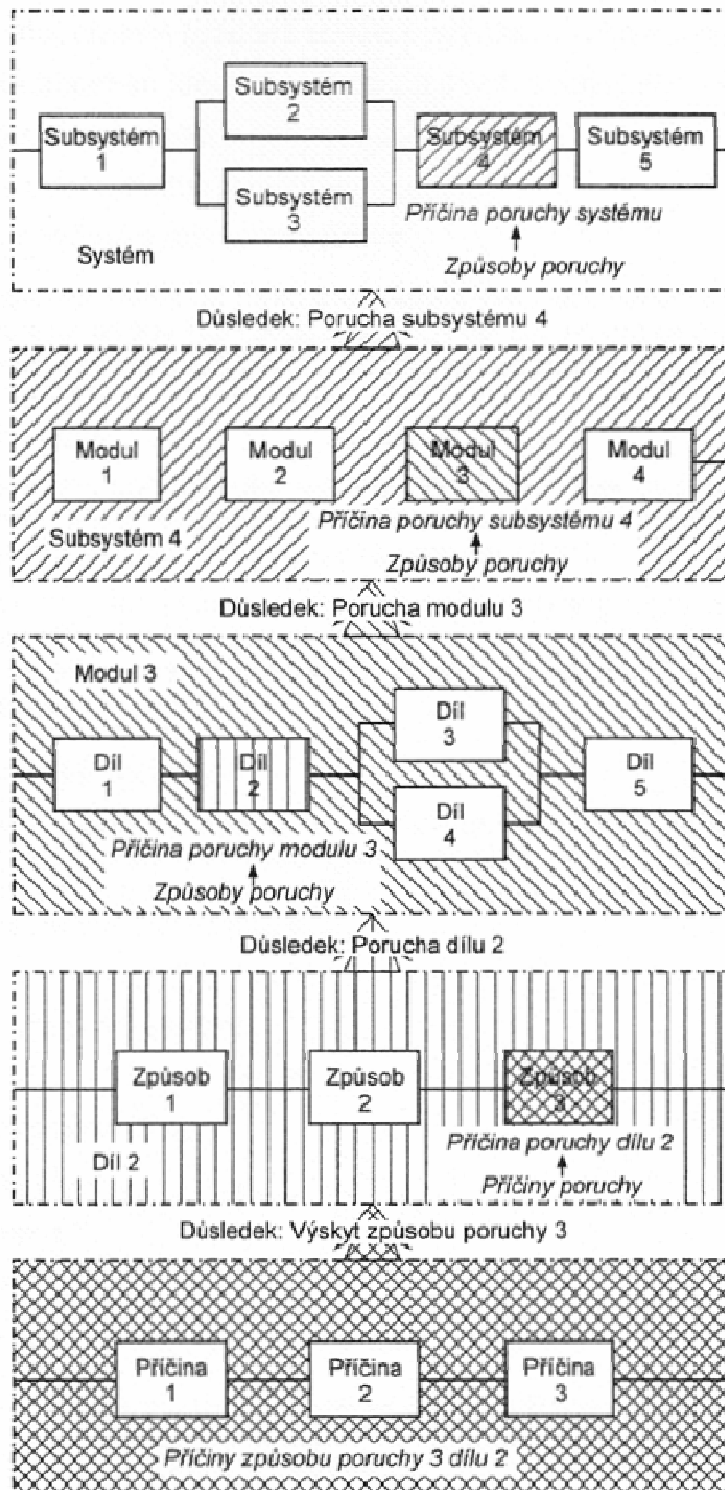
Pro přehlednější práci při aplikaci analýzy je vhodné strukturu systému graficky znázorňovat např. pomocí blokových diagramů. Při použití diagramů je třeba vyznačovat důležité funkce systému. Propojení jednotlivých bloků diagramů čarami znázorňuje vstupy a výstupy jednotlivých funkcí. Pro reprezentaci složitějšího systému je možné použít více blokových diagramů pro přehlednější znázornění. [3; 8]

Při postupu v procesu návrhu se často jednotlivé bloky diagramu zaměňují přímo za konkrétní díly. Díky tomu je dosažena lepší orientace v celém systému a z toho plynoucí i snazší nalezení možných způsobů poruch s danými příčinami. Pomocí grafického znázornění je také snadněji vidět prostupující způsob poruchy napříč celou strukturou systému až na její vrchol např. subsystém. [2]

Požadavky na blokový diagram:

- a) znázornění funkčních vztahů mezi jednotlivými úrovněmi;
- b) popis jednotlivých bloků pro možné odkazování a také označení jednotlivých vstupů a výstupů;
- c) přehlednost a zanesení do diagramu i alternativní cesty signálu při poruchách systému;

Obr. 2 - Vztah mezi způsoby poruch a důsledky poruch



Zdroj: ČSN EN 60812. Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA), str.14

3.2.5 Provozní podmínky systému a jeho prostředí

Během různorodých etap provozu dochází k individuálním požadavkům na provozní podmínky systému a jeho konfiguraci. Z tohoto důvodu je třeba přesně identifikovat požadavky na technické parametry systému, které mají být v dané etapě dosahované. Na základě definování požadavků technických parametrů pro různé etapy systému je možno hodnotit jejich dosažení pak jako shodné nebo poruchové. Pro hodnocení vážnosti jednotlivých poruch je nutné znát: [3]

- a) charakteristiku funkcí systému;
- b) nastavení periodických zkoušek;
- c) časovou rezervu pro realizaci opatření proti vzniku závažných poruch;
- d) charakteristiku o funkčním propojení systému a vnějším prostředím;
- e) výkonnost systému a jeho řízení během jednotlivých etap;
- f) jak postupovat během přechodů mezi jednotlivými etapami provozu např. náběh a odstavení.

Definování prostředí systému se zaměřuje, jak na vnější, tak i na vnitřní. Prostředí by mělo vždy splňovat podmínky provozu a mělo by obsahovat popis propojení s dalšími systémy, druh propojení s lidmi a definovat další rozhraní s okolím. Tyto vztahy a bližší popis prostředí nebývá v době návrhu přesně definován a proto je potřeba v pokročilejších fázích projektu tyto informace doplnit do projektu.

3.3 Analyzování způsobů poruch

V každém systému jsou obsaženy kritické prvky, které mohou vyvolat poruchový stav systému. Pro zajištění spolehlivosti systému je třeba tyto prvky přesněji analyzovat. Pro efektivní nalezení způsobů poruch, jejich příčin a důsledků je vhodné vypracování seznamu, který bude obsahovat možné způsoby poruch systému na základě charakteristiky systému a jeho vlastností. [3; 7]

Možné způsoby poruch lze vyvozovat:

- a) z funkce systému;
- b) z jednotlivých dílů a prvků;
- c) z daných technických požadavků;
- d) z provozního namáhání a vlivu vnějšího prostředí;
- e) z daného režimu provozu.

Tabulka 1 – Příklad seznamu obecných způsobů poruch

1	Porucha během provozu
2	Porucha zahájení provozu v předepsaném čase
3	Porucha ukončení provozu v předepsaném čase
4	Předčasný provoz

Zdroj: ČSN EN 60812. Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA), str. 15

Tabulka 1 slouží pouze jako příklad, který se může měnit pro různé typy systémů. Pomocí této tabulky lze rozřadit do jednotlivých kategorií způsoby poruch. Při aplikaci FMECA na složitější systém je třeba kategorie rozšířit z hlediska lepší specifikace způsobů poruch. Seznam je vhodné používat s blokovým diagramem. Toto spojení by mělo zajistit odhalení všech možných způsobů poruch. Je třeba se zaměřit také na to, že jedna porucha může mít více příčin, které je nutné také zanalyzovat. [2; 3]

U každé úrovně systému je nutné pokusit se nalézt všechny možné způsoby poruch. Pokud dojde k zanalyzování všech možných způsobů poruch v systému je na řadě hledání možných příčin poruch a jejich důsledků pro funkci objektu. Pokud daná část objektu je dodávána jiným výrobcem, je zapotřebí, aby on sám specifikoval možné způsoby poruch. Inspirace pro nalezení možných způsobů poruch může být obsažena v těchto bodech: [2; 3]

- a) Možné způsoby poruch lze definovat z analýzy návrhu a také z podrobného zkoumání jednotlivých funkčních vztahů.
- b) U modifikovaných objektů lze vycházet z předchozích zkušeností a neshod. Nutností je porovnat, jestli dochází ke stejným druhům namáhání.

c) Pokud objekt je už uveden do provozu, tak je možné vycházet z prvních neshod.

d) Způsoby poruch lze také vyčíst z daných požadavků a parametrů na provoz.

Jak se návrh postupně proměňuje v realizaci tak dochází i k novým objevům možných způsobů poruch. Je nutností, aby tyto potenciální poruchy nebyly přehlíženy, ale docházelo k jejich záznamu a práci na jejich zmírnění nebo odstranění.

3.3.1 Stanovení příčin poruch

Pro každou poruchu je třeba nalézt všechny druhy potenciálních příčin a podrobněji je popsat. Ve většině případů má každá porucha více možných příčin, proto je nutné je analyzovat každou možnou příčinu zvláště. U závažných důsledků jednotlivých možných způsobů poruch by se tyto příčiny měly analyzovat podrobněji, než u důsledků s malým vlivem na poruchovost systému. [3]

Pro nalezení jednotlivých příčin k možným způsobům poruch se může vycházet z návrhu systému na základě analýzy poruch a ze zkušebního provozu. Pokud nejde u nového návrhu provést zkušební provoz, tak stanovení jednotlivých příčin se děje pomocí vyjádření jednotlivých pracovníků z odborných řad. Po stanovení jednotlivých příčin se u nich hodnotí jejich závažnost, výskyt a včasná odhalitelnost. [2]

3.3.2 Určení důsledků způsobů poruch

Přiřazení jednotlivých příčin k důsledkům může být obtížné v těch případech, kdy jednotlivý důsledek může vyvolávat více příčin. Za důsledek je považován následek jednotlivých způsobů poruch. Ke každému způsobu poruch systému nebo stavu objektu je třeba analyzovat každý důsledek, který by se mohl nastat a následně ho zanezt do formuláře. Na jednotlivé důsledky je třeba pohlížet v rámci všech stupňů systémů, jelikož důsledek, který vznikne na nižším stupni systému, se může negativně prolínat do vyšších stupňů systému, kde může docházet ke kritickým poruchám systému nebo objektu. [3]

V praxi je možno se setkat s termínem „místní důsledek“. Tímto termínem se označuje důsledek na daném stupni systému. Pro každý stupeň by se měly tyto důsledky analyzovat, aby se mohly doporučit vhodná opatření proti vzniku neshod. Je také možné, že posuzovaný důsledek nenese žádné znaky poruch, které by negativně působily na systém. [2]

Z posouzení „místních důsledků“ na jednotlivých stupních systému je nutné vyvodit celkový konečný důsledek na úrovni celého systému. Tento konečný důsledek je výsledkem jedné nebo více poruch. Tento hlavní důsledek je třeba důkladně analyzovat z hlediska funkčnosti, ale především bezpečnosti celého systému. Do pracovních formulářů je nutné zaznamenávat tyto konečné důsledky. [3]

3.3.3 Odhalování poruch

Ke každému způsobu poruchy by mělo být navrženo opatření, které by signalizovalo nebo upozorňovalo na vznik poruchy. Detekování poruchy je důležité co nejdříve od jejího vzniku, aby včasné na ni mohl zareagovat uživatel daného systému nebo produktu. Jako detekční opatření pro poruchu může sloužit zabudovaný test, zajištění pomocí kontrolních procesů před uvedením do provozu nebo během intervalových kontrol v provozu systému produktu. Úlohou detekce je varování před provozem systému nebo produktu v poruchovém stavu. Při zajišťování detekce by neměly být opomíjeny ani záložní zdroje, u kterých nelze také vyloučit vznik poruchy. [2; 1]

Analýza FMECA se zaměřuje také na princip, jak bude postupováno v procesu detekce poruch, zdali bude probíhat už pomocí obsluhy zařízení, kontroly kvality, anebo až při samotném uvedení do provozu. Jedním z faktorů při hodnocení kritičnosti v analýze FMECA se zohledňuje také faktor odhalitelnosti. Z hodnocení pravděpodobností pro odhalitelnost jednotlivých způsobů poruch vychází požadavek na zavedení detekce. U těch poruch, které v sobě skrývají potenciální nebezpečnost a zároveň špatnou odhalitelnost je nutné zavedení odpovídajícího detekčního prvku. [2]

Pro kompenzaci poruch je důležité sledovat jednotlivé hodnoty různých parametrů procesu, které mohou vykazovat vychýlení hodnot a tím naznačit možnost vzniku poruch. Toto monitorování by mělo probíhat na všech stupních systému, čímž lze snadněji předcházet poruchovému stavu. Mezi další opatření pro kompenzaci poruch patří: [3]

- a) použití záložních zdrojů pokud je prvek v poruchovém stavu;
- b) výstražná a signalizační zařízení;
- c) náhradní možnost provozu;

d) další opatření, které jsou schopny omezit a eliminovat vliv poruchy.

Jak se návrh postupně proměňuje v realizaci, tak dochází i k novým objevům možných způsobů poruch. Je nutností, aby tyto potenciální poruchy nebyly přehlíženy, ale docházelo k jejich záznamu a práci na jejich zmírnění nebo odstranění.

Tabulka 2 – Klasifikace odhalení poruchy

Detekce	Kritéria: Pravděpodobnost detekce při řízení návrhu	Klasifikace
Téměř jistá	Při řízení návrhu se bude téměř jistě detekovat potenciální příčina/mechanismus a následný způsob poruchy.	1
Velmi vysoká	Je velmi vysoká naděje, že se při řízení návrhu bude detekovat potenciální příčina/mechanismus a následný způsob poruchy.	2
Vysoká	Je vysoká naděje, že se při řízení návrhu bude detekovat potenciální příčina/mechanismus a následný způsob poruchy	3
Středně vysoká	Je středně vysoká naděje, že se při řízení návrhu bude detekovat potenciální příčina/mechanismus a následný způsob poruchy.	4
Střední	Je střední naděje, že se při řízení návrhu bude detekovat potenciální příčina/mechanismus a následný způsob poruchy.	5
Nízká	Je malá naděje, že se při řízení návrhu bude detekovat potenciální příčina/mechanismus a následný způsob poruchy.	6
Velmi nízká	Je velmi malá naděje, že se při řízení návrhu bude detekovat potenciální příčina/mechanismus a následný způsob poruchy.	7
Slabá	Je slabá naděje, že se při řízení návrhu bude detekovat potenciální příčina/mechanismus a následný způsob poruchy.	8
Velice slabá	Je velice slabá naděje, že se při řízení návrhu bude detekovat potenciální příčina/mechanismus a následný způsob poruchy.	9
Absolutně nejistá	Při řízení návrhu se nebude detekovat potenciální příčina/mechanismus a následný způsob poruchy nebo žádné řízení návrhu neexistuje.	10

Zdroj: AIAG, Potential failure mode and effects analysis

3.3.4 Hodnocení závažnosti

Pro klasifikaci závažnosti důsledků poruch pro provoz systému nebo objektu je třeba vyhodnotit několik faktorů, které jsou ovlivňovány: [2; 11]

a) působením systému nebo objektu se svými možnými důsledky vůči bezpečnosti uživateli nebo okolnímu prostředí;

- b) výkonnostními parametry a charakteristikou systému;
- c) legislativními požadavky států, kde bude systém užíván;
- d) dodržením záručních podmínek a smluvních požadavků zákazníků.

Tabulka 3 – Klasifikace závažnosti poruchy

Závažnost	Kritéria	Klasifikace
Žádná	Žádný zjištěný důsledek	1
Velmi málo významná	Skřípající a chrastící objekt není ve shodě s požadavky na správné uložení a opracování. Vadu zpozorují nároční zákazníci (méně než 25%).	2
Málo významná	Skřípající a chrastící objekt není ve shodě s požadavky na správné uložení a opracování. Vadu zpozoruje 50% zákazníků.	3
Velmi nízká	Skřípající a chrastící objekt není ve shodě s požadavky na správné uložení a opracování. Vadu zpozoruje většina zákazníků (více než 75%).	4
Nízká	Vozidlo je provozuschopné/objekt je provozuschopný, ale objekt (objekty) zajišťující pohodlí je provozuschopný (jsou provozuschopné) se sníženými technickými parametry. Zákazník je poněkud nespokojen	5
Střední	Vozidlo je provozuschopné/objekt je provozuschopný, ale objekt (objekty) zajišťující pohodlí není provozuschopný (nejsou provozuschopné). Zákazník je nespokojen.	6
Vysoká	Vozidlo je provozuschopné/objekt je provozuschopný, ale se sníženou úrovní technických parametrů. Zákazník je velmi nespokojen.	7
Velmi vysoká	Vozidlo není provozuschopné/objekt není provozuschopný (ztráta základní funkce).	8
Nebezpečná s varováním	Velmi vysoká klasifikace závažnosti, když potenciální způsob poruchy, který na sebe upozorňuje varováním, ovlivňuje bezpečný provoz vozidla a/nebo znamená nesoulad s vládními vyhláškami a nařízeními.	9
Nebezpečná bez varování	Velmi vysoká klasifikace závažnosti, když potenciální způsob poruchy, který na sebe upozorňuje varováním, ovlivňuje bezpečný provoz vozidla a/nebo znamená nesoulad s vládními vyhláškami a nařízeními.	10

Zdroj: SAE J1739:2000

Klasifikování závažnosti se odvíjí z důsledku poruch na systém z hlediska ovlivnění provozuschopnosti a jeho bezpečnosti. Třída závažnosti se volí dle kritérií v tab. 3.

3.3.5 Četnost výskytu

Důležitým faktorem pro stanovení kritičnosti poruch je také určení četnosti výskytu poruch. Četnost výskytu se stanovuje dle pravděpodobnosti vzniku poruch. Pravděpodobnost výskytu bývá ovlivňována povahou provozu, to znamená vnějšími vlivy, jako je prostředí provozu, vnitřními vlivy nebo také mechanickým namáháním. Při stanovení pravděpodobnosti výskytu je třeba také určit časové období, z kterého se bude vycházet. Za toto období může být považován časový úsek, který je roven záruční době, anebo době plánovaného provozu objektu. Ke stanovení pravděpodobnosti výskytu mohou být nápomocny informace z testování systému, dostupné informace a data z provozu nebo ze zkušenosti s podobným systémem. K určení pravděpodobnosti výskytu je nejlépe vycházet ze statistiky poruch provozovaného systému, jelikož určování pravděpodobnosti výskytu pomocí odhadu je poměrně nepřesné. [1; 3]

Tabulka 4 – Klasifikace výskytu poruchy

Výskyt způsobu poruchy	Četnost	Pravděpodobnost	Klasifikace
Velice slabý: Porucha nepravděpodobná	$\leq 0,010$ na tisíc vozidel/objektů	$\leq 1 \times 10^{-5}$	1
Nízký: Poměrně málo poruch	0,1 na tisíc vozidel/objektů	1×10^{-4}	2
	0,5 na tisíc vozidel/objektů	5×10^{-4}	3
Střední: Občasné poruchy	1 na tisíc vozidel/objektů	1×10^{-3}	4
	2 na tisíc vozidel/objektů	2×10^{-3}	5
	5 na tisíc vozidel/objektů	5×10^{-3}	6
Vysoký: Opakující se poruchy	10 na tisíc vozidel/objektů	1×10^{-2}	7
	20 na tisíc vozidel/objektů	2×10^{-2}	8
Velmi vysoký: Porucha je téměř nevyhnutelná	50 na tisíc vozidel/objektů	5×10^{-2}	9
	≥ 100 na tisíc vozidel/objektů	$\geq 1 \times 10^{-1}$	10

Zdroj: AIAG, Potential failure mode and effects analysis

Tabulka 4 pro klasifikování pravděpodobnosti výskytu má nelineární závislost oproti tabulce 2, která má lineární závislost. Z tohoto vyplývá, že výsledné číslo RPN také nenesou lineární závislost kritičnosti.

3.3.6 Poruchy se společnou příčinou

Při analýze bezporuchovitosti systému se musí také počítat se způsoby poruch, které mají stejnou příčinu. Anglicky se tyto na sobě závislé poruchy označují zkratkou CCF (Common Cause Failures). Tyto způsoby poruch působí najednou ve více částích systému, což má za důsledek větší ohrožení celého systému. Tyto poruchy, které mají stejnou příčinu, vytváří ve

stejném čase několik různých důsledků poruch, které se můžou jevit jako následné důsledky pouze jedné poruchy. Metoda FMECA tyto poruchy se společnou příčinou nedokáže zcela dobře analyzovat, a proto tyto poruchy je doporučováno řešit pomocí jiné metody. Je důležité při odhalení poruch se stejnou příčinou jejich zapsání do poznámek formuláře metody FMECA. [3]

Příčiny společných poruch mohou vznikat z důvodu:

- a) nevhodného návrhu systému, např. neodpovídající dimenzování systému;
- b) nedodržením pracovního postupu ve výrobě;
- c) nesprávným provozem uživatele;
- d) ovlivněním nevhodným prostředím.

3.4 Stanovení kritičnosti

Účelem vyhodnocení kritičnosti je porovnání dopadu jednotlivých důsledků způsobů poruch na systém. Dle stanovení kritičnosti důsledků poruch lze přiřadit prioritu jednotlivých opatření. Tímto opatřením lze následně předejít vzniku způsobů poruch nebo je alespoň minimalizovat. [3]

Vyjádření kritičnosti u metody FMECA je možno dvěma způsoby. Nejčastěji se kritičnost vyjadřuje pomocí čísla priority rizika, označovaného jako RPN (Risk Priority Number). Druhým možným způsobem je použití matice kritičnosti.

3.4.1 Rizikové číslo (RPN)

Stanovení kritičnosti pomocí RPN lze označit za semikvantitativní analýzu, jelikož při ohodnocování závažnosti poruch, jejich výskytu a odhalitelnosti se využívá klasifikačních tříd, které jsou kvalitativně popsány a zároveň bodově ohodnoceny, z čehož vyplývá prolnutí kvalitativní a kvantitativní analýzy. [3; 12]

Rizikové číslo (RPN) je bezrozměrné číslo, jehož hodnota stanovuje míru kritičnosti daného důsledku. Jeho hodnotu dostaneme, pokud provedeme součin mezi číselným ohodnocením

závažnosti, výskytu a odhalitelnosti. Číselné ohodnocení těchto faktorů se stanovuje dle stupnic přiložených v normě ČSN EN 60812 nebo dle specifických stupnic pro daný objekt.

Výpočet RPN

$$\text{RPN} = \text{závažnost} \times \text{výskyt} \times \text{odhalitelnost}$$

Všechny tři stupnice pro závažnost, výskyt a odhalitelnost jsou klasifikovány body od 1 do 10. Mohlo by se zdát, že výsledné rizikové číslo nese lineární závislost, ale opak je pravdou. Jelikož stupnice výskytu nemá lineární závislost obodování, proto rizikové číslo nejeví lineární závislost. Stupnice jsou klasifikovány tak, že faktory s nejnižším obodováním nesou nejmenší riziko pro systém a nejvyšší ohodnocení znamená nepřijatelné podmínky pro systém. Z toho je vyplývající, že s rostoucí hodnotou RPN se zvyšuje míra kritičnosti systému. [3]

Po výpočtu rizikového čísla ke všem důsledkům poruch dojde k seřazení dle dosažených hodnot RPN. Pomocí tohoto seřazení se nám zpřehlední důsledky poruch, které jsou pro systém nejvíce ohrožující.

Při aplikaci metody FMECA je doporučováno při posuzování kritičnosti pomocí RPN vytvořit hranici přípustnosti důsledků poruch do 100 bodů. V některých případech jako je automobilový průmysl nebo další specifická odvětví je doporučováno stanovit hranici nepřístupnosti RPN už na 75 bodech. Pokud důsledek poruchy přesáhne nastavenou hranici, tak je povinností pracovního týmu vytvořit opatření pro daný důsledek, aby při provedení nového obodování dosáhlo RPN nižších hodnot než 100 bodů. [3; 8]

Jednotlivé důsledky poruch je třeba posuzovat také z hlediska obodování jednotlivých parametrů závažnosti, výskytu a odhalitelnosti. Při dosažení u RPN stejného bodového ohodnocení jednotlivých důsledků poruch nemusí znamenat, že tyto důsledky nesou stejnou míru kritičnosti. Rozdíl je vytvářen rozložením bodového hodnocení u jednotlivých faktorů. Pokud parametry jednoho důsledku poruchy jsou obodovány takto, závažnost (8 bodů), výskyt (3 body), odhalitelnost (2 body), tak RPN dosahuje celkem 48 bodů, ale u druhého důsledku poruch kdy parametry jsou obodovány jinak, závažnost (3 bodů), výskyt (4 body), odhalitelnost (4 body) a RPN je rovno taktéž 48 bodům. U tohoto příkladu je vidět dosažení stejného počtu bodů u RPN, ale parametry nemají totožné ohodnocení. V tomto příkladě

norma ČSN EN 60812 říká, že větší míru kritičnosti dosahuje první důsledek poruchy z důvodu dosažení výrazně většího obodování jednoho parametru na rozdíl od zbylých dvou. [3]

Výhodou hodnocení míry kritičnosti pomocí RPN je snadný způsob jeho získání a celková přehlednost ve výsledcích. Naopak mírnou nevýhodou je subjektivní hodnocení míry závažnosti a odhalitelnosti, kde hlavním předpokladem je zkušenost realizujícího týmu.

3.4.2 Matice kritičnosti

Vyjádření míry kritičnosti v analýze FMECA lze také pomocí matice kritičnosti. V praxi je ale před tímto způsobem preferován spíše způsob stanovení pomocí RPN. Matice kritičnosti při stanovování míry kritičnosti pracuje pouze s dvěma faktory a to s faktorem závažnosti důsledku poruchy s jeho výskytem. Výsledná matice může být vyjádřena pomocí kvalitativní nebo kvantitativní analýzy. V matici se může pracovat buď s číselnými hodnotami nebo slovními hesly. [2; 3]

Matice kritičnosti má dvě osy. V praxi to znamená, že sloupce klasifikují závažnost a řádky výskyt. Velikost matice je doporučována volit 5 x 4 (řádky x sloupce). Matice kritičnosti stejně jako RPN nenese lineární závislost z důvodu nelineárního klasifikování stupnice výskytu. [3]

Tabulka 5 – Matice kritičnosti

četnost výskytu	závažnost			
	nevýznamná	okrajová	kritická	katastrofická
četný	nežádoucí	nepřípustné	nepřípustné	nepřípustné
pravděpodobný	přípustné	nežádoucí	nepřípustné	nepřípustné
občasný	přípustné	nežádoucí	nežádoucí	nepřípustné
slabý	zanedbatelné	přípustné	nežádoucí	nežádoucí
nepravděpodobný	zanedbatelné	zanedbatelné	přípustné	nežádoucí

Zdroj: ČSN EN 60812. *Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*, str.23

Z tabulky 5 je patrné, jak je prováděno vyhodnocení míry kritičnosti důsledků poruch pomocí matice kritičnosti. Pokud důsledek poruchy spadá do oblasti nepřístupných polí (červená barva) musí se u něj nařídit provedení opatření. V případě, že se nejedná o objekt, který by

mohl ohrozit bezpečí uživatele a zároveň není finančně nákladný, tak je možno u něj akceptovat oblast nežádoucích polí (fialová barva). Jakmile důsledek poruchy spadá do polí, které jsou označeny zeleně, tak tento důsledek poruchy nese velmi nízkou míru kritičnosti. Používání vyjádření míry kritičnosti pomocí matice kritičnosti je doporučováno pro zkušenější tým, který dokáže citlivě klasifikovat jednotlivé parametry.

3.5 Dokumentace analýzy a softwarová podpora

Dokumentování analýzy probíhá pomocí pracovních listů viz obr. 3. V dnešní době pracovní listy mají digitální podobu zápisu. K provedení analýzy snadno poslouží některý z tabulkových editorů např. MS Excel. V případě využití analýzy ve větších výrobních podnicích nebo na rozsáhlejší systémy je vhodné využití profesionálních softwarových aplikací. [3; 12]

Obr. 3 - Pracovní list analýzy FMECA

Analýzy způsobů a kritičnosti poruch - FMECA konstrukční																
Produkt			Tým					Verze:	Datum:							
			Moderátor					Revize:	List:							
komponenta	porucha (číslo)	popis možné poruchy	důsledek poruchy	závažnost	možné příčiny	stávající opatření pro kompenzaci poruchy	výskyt	stávající opatření pro odhalení poruchy	odhalitelnost	RPN	opatření	termín	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN po opatřeních

Přehled softwarových aplikací

- Palstat CAQ – modulu FMEA patří k často využívané aplikaci v České republice od společnosti Palstat (<http://www.palstat.cz/cs/produkty/fmea>). Předností této aplikace je její vícejazyčnost včetně češtiny spolu s odpovídajícími požadavky norem ČSN ISO 9001:2000 kap. 7.3, požadavkům automobilového průmyslu ISO/TS 16949 kap. 4.2, 7.3, metodice AIAG (QS-9000) - FMEA a VDA 4.2. Tato softwarová podpora disponuje rozřídovacím seznamem procesů, poruch a příčin. Její výsledná podoba pracovních formulářů umožňuje export do pdf. a xsl. souborů, což umožňuje i snadné vtištění. Aplikace také sleduje důležité termíny revizí a vyhledává nesplněné nápravné opatření k danému datu. Je také kompatibilní s dalšími moduly z balíku Palstat CAQ. [14]

Obr. 4 - Náhled softwaru Palstat CAQ

The screenshot displays the Palstat CAQ software interface for FMEA management. At the top, it shows the FMEA number (000-0300-140-293), change number (0), type (Konstrukční FMEA [VDA4-4]), and drawing number (301 0000). The main area is divided into several sections: 'Hlavička' (Header) with fields for FMEA number, change, and name; 'Druh' (Type) with a dropdown menu; 'Díl' (Part) with fields for drawing number, model (GOLF 5), and dates; 'Zpracoval' (Processed by) with a dropdown menu; 'Odpovídá' (Responsible) with a dropdown menu; and 'Zákazník' (Customer) with a dropdown menu. On the right, there is a section for 'Upravit tým' (Edit team) with fields for 'Vedoucí' (Leader), 'Moderátor' (Moderator), 'Oponent' (Opponent), 'Zapisovatel' (Recorder), and 'Členové' (Members). Below this is a table with columns for 'Index', 'Datum revize' (Revision date), 'Označení' (Label), and 'Popis' (Description). At the bottom, there is a table for 'Opatření s MRP větším než 100' (Measures with MRP greater than 100) with columns for 'Proces' (Process), 'Vada' (Defect), 'Příčina' (Cause), 'Opatření' (Measure), 'Význam' (Significance), 'Výskyt' (Occurrence), 'Odhalení' (Discovery), and 'MRP {SOD}'. The interface is in Czech and includes a navigation bar at the bottom with 'Seznam', 'Hlavička', and 'FMEA' buttons.

Zdroj: <http://www.palstat.cz>

- ITEM Toolkit FMECA (<http://www.itemsoft.com>) je softwarová podpora vycházející z požadavků americké vojenské normy MIL_STD-1629 A, britské normy BS 5760 Part 5, ISO 9000 a ISO 14 971. [13]

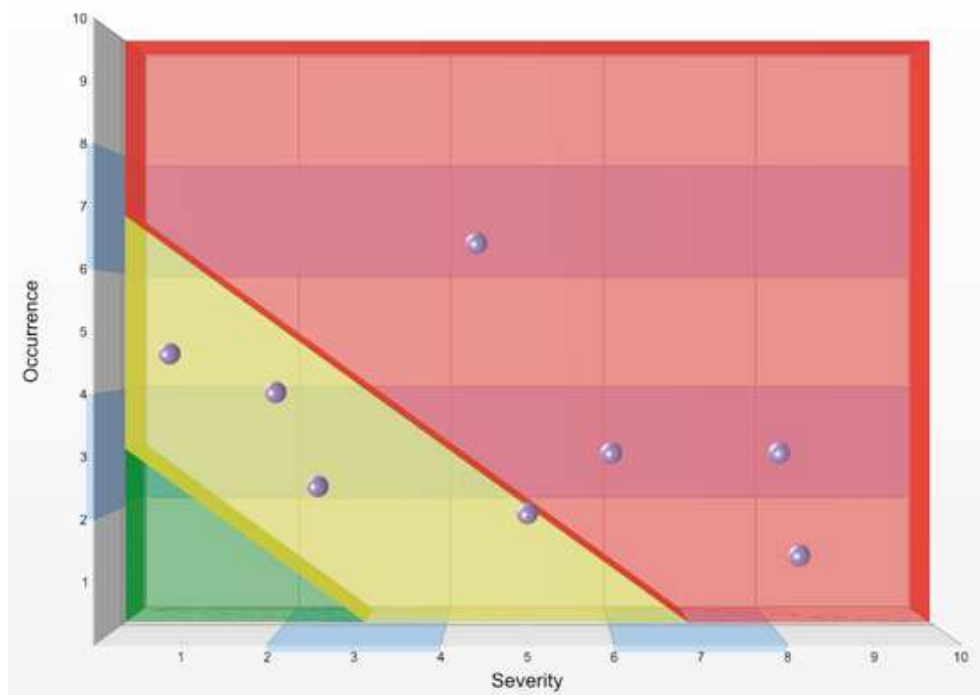
Obr. 5 - Náhled softwaru ITEM Toolkit

Part Name / Part Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	SEV	Delta	Potential Cause(s) of Failure	OCC	Design Verification	DET	R. P. N.	
2-P system /	Pamet 3 neplni spravne funkci		2	<input type="checkbox"/>	Porucha pameti	1		7	14	
	Sbernice neplni spravne funkci		10	<input type="checkbox"/>	Porucha sbernice	3		1	30	
	Vypocetni cast 1 neplni spravne funkci	Diskove pole 1 neplni spravne funkci		5	<input type="checkbox"/>	Procesor 1 neplni spravne funkci	2		3	6
		Pamet 1 neplni spravne funkci				1		7	7	
	Vypocetni cast 2 neplni spravne funkci	Procesor 2 neplni spravne funkci		5	<input type="checkbox"/>	Pamet 2 neplni spravne funkci	1		7	7
		Diskove pole 2 neplni spravne funkci				8		2	16	

Zdroj: <http://www.itemsoft.com>

- Relx FMEA/FMECA (<http://www.relexsoftware.com>) je aplikace, která vyčnívá rozsáhlou databází informací o způsobech poruch, ať mechanických nebo elektronických prvků. Odpovídá požadavkům MIL-STD-1629A, SAE ARP 5580, SAE J1739, IEC 60 812 a BS 5760. [15]

Obr. 6 - Náhled softwaru Relx FMEA/FMECA



Zdroj: <http://www.relexsoftware.com>

U všech třech představovaných aplikací dochází k vyjadřování míry kritičnosti pomocí rizikového čísla (RPN), ale také i pomocí matice kritičnosti. Na trhu je nabízeno mnoho dalších produktů pro zpracování metody FMECA, ale tyto tři představené patří k těm rozšířeným v průmyslové oblasti. Při výběru softwarové aplikace je důležitým faktorem splňování požadavků norem pro vypracování metody FMECA.

Hlavním výstupem metody FMECA jsou pracovní listy (formuláře), kde jsou zachyceny všechny potenciální způsoby poruch s jejich příčinami a důsledky. U každého způsobu poruchy je také zapsané vyhodnocení kritičnost i s možnými opatřeními. K těmto pracovním listům je třeba také vypracovat konečnou zprávu. Tato konečná zpráva by měla zachycovat všechny hlavní informace posbírané během provádění analýzy, které nejsou zakotveny v pracovních formulářích s okomentovanými opatřeními pro poruchy s vyšší mírou kritičnosti. Ve zprávě je nutné také zakotvit nastavení časových intervalů pro revize analýzy a informace, jak postupovat během revize. [3]

4 Aplikace metody FMECA na příkladech z praxe

Aplikace metody FMECA bude provedena na dvou příkladech. U prvního příkladu se bude jednat o metodu FMECA konstrukční, která bude aplikovaná na průmyslový vysavač používaný na čerpadlových stanicích. Na druhém příkladě bude provedena aplikace metody FMECA procesu, která se bude zabývat analýzou procesu kovoobrábění dílu, který slouží jako nosič přední nápravy pro nákladní vozidlo.

4.1 FMECA konstrukční pro průmyslový vysavač MV-11

Aplikace metody FMECA konstrukční bude aplikovaná na průmyslový vysavač MV-11 obr. 7, který je vyráběn firmou Kolrus elektro. Tato firma se zabývá vývojem a výrobou v oblasti průmyslové automatizace a elektroinstalace. Metoda je aplikovaná v období výroby zařízení.

4.1.1 Popis zařízení

Průmyslový vysavač MV-11 je konstruován pro suché vysávání automobilových interiérů s umístěním na čerpadlových stanicích. Využití vysavače je zpoplatněno, kdy po vhození mince jmenovité hodnoty 10 Kč do mechanického mincovníku, dojde k sepnutí vysávání po dobu 5 min. Funkce vysávání se zapne automaticky po vhození mince. Zařízení je vybaveno tlačítkem stop pro přerušení funkce a zároveň pozastavení ubíhajícího časového intervalu.

Zařízení je konstruováno pro venkovní podmínky. Skříň vysavače je vyrobena z nerezového plechu a skládá se z těla a předního víka, které je opatřeno zámkem. Zařízení je napájeno z elektrické sítě 230 V/50 Hz. Hlavním prvkem zařízení je vysavač KÄRCHER NT 35/1. Průmyslový vysavač obsahuje dále mechanický mincovník, modul čítače (včetně displeje), instalační krabici, hlavní rozvaděč (napájecí zdroj 12 V, stykač, jistič), a kabeláž. Hadice pro vysávání je vyvedena ze strany skříňě. Čítač je vybaven funkcí absolutního sčítání použití vysavače a počítadlem použití od poslední kontroly.

Obr. 7 – Průmyslový vysavač MV-11



4.1.2 Stanovení řešitelského týmu

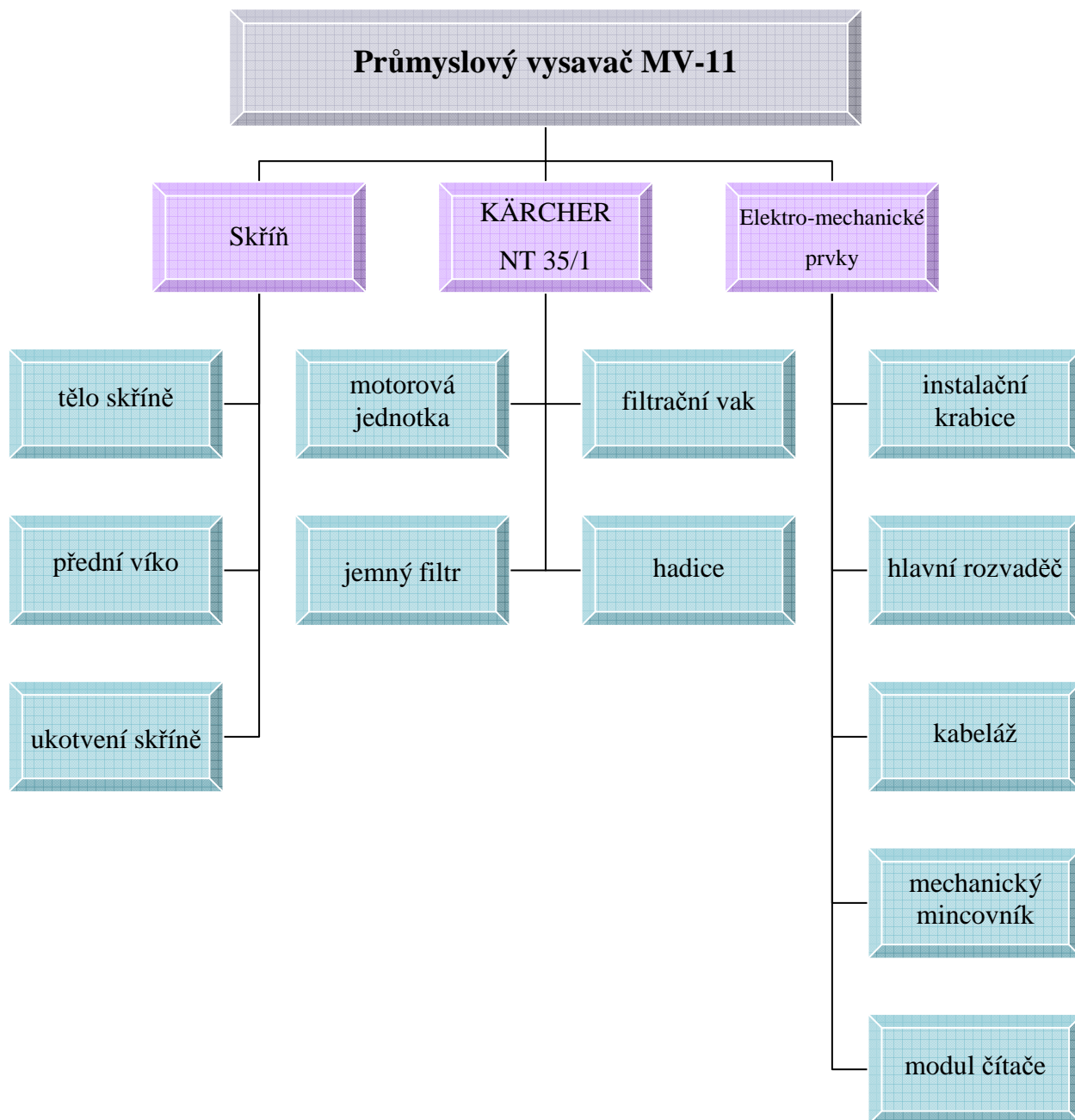
Pro aplikování metody FMECA byl sestaven tří členný tým. Tento tým je tvořen hlavním konstruktérem Ing. M. Kolrusem, jenž je zodpovědný za celkový koncept průmyslového vysavače včetně návrhu skříně. Ing. M. Samec je zodpovědný za elektroinstalaci zařízení. J. Doule má úlohu moderátora pro realizaci analýzy FMECA.

4.1.3 Určení hranic systému a struktury analýzy

Průmyslový vysavač MV-11 se skládá ze skříně, která je vyráběná na zakázku. Další prvky zařízení jsou pořizovány jako finální produkty. Hranice systému jsou zvoleny od instalační

plochy až po jednotlivé finální produkty. Při dekompozici zařízení došlo k rozčlenění systému na tři stupně, viz blokový diagram obr 8.

Obr. 8 – Blokové schéma zařízení



4.1.4 Prostředí systému

Zařízení je určeno pro venkovní prostředí, kde se teplotní rozsah pohybuje od -25°C až 40°C . Při přímém svitu slunce na skříň může docházet k ohřevu vnitřního prostředí až k 60°C . Prostředí systému bude vystaveno také vyšším hodnotám vlhkosti, zvláště ve vnitru skříně,

kdy může docházet k orosení. Na skříň budou přenášeny v menší míře vibrace při sepnutí vysávací jednotky.

4.1.5 Definování režimu zařízení

Průmyslový vysavač MV-11 je ve stálém pohotovostním režimu, který je označen na displeji textem „Vítáme Vás – 5 min/10 CZK“. Po vhození mince dojde k zapnutí vysávání na pěti minutový interval a na displeji se začne odpočítávat čas. Tento režim lze přerušit tlačítkem pozastavení chodu, kdy dojde k zastavení odpočítávání a zároveň k přerušení režimu vysávání. Po opětovném zmáčknutí tlačítka pozastavení chodu dojde k sepnutí zařízení po dobu zbývajících času. V případě, když se na displeji nezobrazuje žádný text, tak se jedná o stav, kdy zařízení je mimo provoz.

4.1.6 Analyzování způsobů poruch a vyhodnocení kritičnosti pomocí RPN

Stanovení možných způsobů poruch a vyhodnocení její míry kritičnosti bude analyzováno pomocí rizikového čísla (RPN – Risk Priority Number). Analyzování možných způsobů poruch bude zaměřeno na každý komponent, který byl zanesen do blokového schématu diagramu. Hodnota RPN pro překročení kritické hranice kritičnosti důsledku způsobu poruchy je stanovena na 100 bodech.

Tabulka 6 – Formulář FMECA konstrukční

Analýzy způsobů a kritičnosti poruch - FMECA konstrukční																
Produkt	Průmyslový vysavač MV -11		Tým	M. Kolrus, M. Samec, J. Doule				Verze: 2012/2		Datum: 18.3.2012						
			Moderátor	J. Doule				Revize: 18.3.2013		List: 1/5						
komponenta	porucha (číslo)	popis možné poruchy	důsledek poruchy	závažnost	možné příčiny	stávající opatření pro kompenzaci poruchy	výskyt	stávající opatření pro odhalení poruchy	odhalitelnost	RPN	opatření	termín	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN po opatřeních
Skříň - tělo skříňe	1	deformace skříňe	vznik mezistěných netěsností, zatékání vody	4	nevhodná konstrukce	lepší dimenzace návrhu	2	---	2	16						16
	2	zásah elektrickým proudem	ohrožení zdraví	10	porucha elektro zařízení	uzemnění skříňe	3	---	1	30						30
	3	koroze skříňe	nevzhlednost	4	vliv vnějšího prostředí - vlhkost	volba materiálu nerez	2	---	1	8						8
Skříň - přední víko	4	nefunkčnost zámku	nelze otevřít skříň	5	vliv vnějšího prostředí - vlhkost	1x za pololetí aplikovat mazivo	6	---	2	60						60
skříň - ukotvení	5	uvolnění kotvení	špatná stabilita, pád zařízení	7	ukotvení do zámkové dlažby	kotvení do pevného podkladu	5	---	1	35						35

Analýzy způsobů a kritičnosti poruch - FMECA konstrukční

Produkt	Průmyslový vysavač MV -11		Tým	M. Kolrus, M. Samec, J. Doule				Verze: 2012/2		Datum: 18.3.2012						
			Moderátor	J. Doule				Revize: 18.3.2013		List: 2/5						
komponenta	porucha (číslo)	popis možné poruchy	důsledek poruchy	závažnost	možné příčiny	stávající opatření pro kompenzaci poruchy	výskyt	stávající opatření pro odhalení poruchy	odhalitelnost	RPN	opatření	termín	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN po opatřeních
Kärcher NT 35/1 - motorová jednotka	6	přehřátí	nefunkčnost vysavače	8	teplota zařízení nad 40°C	větrací otvory ve skříni	5	---	2	80						80
	7	destrukce motoru	nefunkčnost vysavače	8	nadměrné zatížení	dodržení intervalu kontrol	2	---	2	32						32
	8	zanesení elektrod	nefunkčnost vysavače	8	nepravidelná údržba	1x za pololetí provést údržbu	2	---	3	48						48
Kärcher NT 35/1 - jemný filtr	9	zanesení jemného filtru	sací síla slabne	7	nepravidelná údržba	pravidelná výměna jemného filtru po 200-stém použití	3	---	3	63						63

Analýzy způsobů a kritičnosti poruch - FMECA konstrukční

Produkt	Průmyslový vysavač MV -11		Tým	M. Kolrus, M. Samec, J. Doule			Verze: 2012/2	Datum: 18.3.2012								
			Moderátor	J. Doule			Revize: 18.3.2013	List: 3/5								
komponenta	porucha (číslo)	popis možné poruchy	důsledek poruchy	závažnost	možné příčiny	stávající opatření pro kompenzaci poruchy	výskyt	stávající opatření pro odhalení poruchy	odhalitelnost	RPN	opatření	termín	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN po opatřeních
Kärcher NT 35/1 - filtrační vak	10	filtrační sáček je plný	sací síla slabne	7	nepravidelná údržba	kontrola po 50-ti použití	4	---	3	84						84
	11	roztržení filtračního sáčku	dochází k emisi prachu	6	násátí ostrých předmětů	použití hadice pouze s vysávacím nástavcem	2	---	1	12						12
Kärcher NT 35/1- hadice	12	mechanické poškození hadice, v místě prostupu skříně	sací síla slabne	7	ostré hrany skříně, nadměrné ohýbání	zaoblení hran u prostupu	8	---	2	112	opatření prostupu u skříně plastovou ochranou	30.5.2012	7	2	2	28
Elektro- mechanické prvky -	13	přerušení kontaktu, zkrat	nefunkčnost vysavače	8	vliv vnějšího prostředí - vlhkost	volba součástí s krytím IP 67	2	---	2	32						32

Analýzy způsobů a kritičnosti poruch - FMECA konstrukční

Produkt	Průmyslový vysavač MV -11		Tým	M. Kolrus, M. Samec, J. Doule			Verze: 2012/2	Datum: 18.3.2012								
			Moderátor	J. Doule			Revize: 18.3.2013	List: 4/5								
komponenta	porucha (číslo)	popis možné poruchy	důsledek poruchy	závažnost	možné příčiny	stávající opatření pro kompenzaci poruchy	výskyt	stávající opatření pro odhalení poruchy	odhalitelnost	RPN	opatření	termín	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN po opatřeních
Elektro-mechanické prvky - mincovník	14	propadnutí mince	nelze spustit zařízení	5	mince je elektrostaticky nabitá	---	2	---	7	70						70
	15	propadnutí mince	nelze spustit zařízení	5	mince je znečištěna	---	8	---	3	120	opatřit skříň tzv. škrábátkem	30.5.2012	5	2	3	30
	16	propadnutí mince	nelze spustit zařízení	8	dráha mincovníku obsahuje nečistoty	1x za poleletí provézt údržbu	5	---	2	80						80
	17	propadnutí mince	nelze spustit zařízení	8	mince neprojde kalibrem	nastavení kalibru s odpovídající vůlí s ohledem na tepelnou dilataci	3	---	3	72						72
	18	propadnutí mince	nelze spustit zařízení	8	vliv vibrací na nastavení kalibru mincovníku	---	6	---	4	192	ukotvení vysavače ke skříni pomocí silentbloků	30.5.2012	8	2	4	64

Analýzy způsobů a kritičnosti poruch - FMECA konstrukční

Produkt	Průmyslový vysavač MV -11		Tým	M. Kolrus, M. Samec, J. Doule			Verze: 2012/2		Datum: 18.3.2012							
			Moderátor	J. Doule			Revize: 18.3.2013		List: 5/5							
komponenta	porucha (číslo)	popis možné poruchy	důsledek poruchy	závažnost	možné příčiny	stávající opatření pro kompenzaci poruchy	výskyt	stávající opatření pro odhalení poruchy	odhalitelnost	RPN	opatření	termín	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN po opatřeních
Elektro-mechanické prvky - čítač	19	poškození displeje	displej má zhoršenou čitelnost, posléze nečitelný	5	dlouhodobý přímý svit	vyvarovat se instalace vysavače na jižní stranu	3	---	3	45						45
Elektro-mechanické prvky - kabeláž	20	přerušení kontaktu, zkrat	nefunkčnost vysavače	8	vliv vnějšího prostředí - vlhkost	volba součástí s krytím IP 67	2	---	2	32						32
Elektro-mechanické prvky - hlavní rozvaděč	21	přerušení kontaktu, zkrat	nelze spustit zařízení	8	vliv vnějšího prostředí - vlhkost	volba součástí s krytím IP 67	2	---	2	32						32

4.2 FMECA procesní pro obrábění na CNC stroji

Metoda FMECA procesní bude aplikována na kovoobrábění na obráběcím CNC stroji ve společnosti Strojírna Vimperk spol. s.r.o. Tato společnost byla založena před 14 lety a jejím hlavním předmětem činnosti je velkosériové obrábění dílů na CNC strojích pro osobní a nákladní automobily. Společnost je certifikována normou ISO 9001:2008 (systém řízení kvality) a ISO 14001:2004 (systém řízení ochrany životního prostředí). Aplikace metody FMECA je vyžadována přímo zákazníkem - automobilky MAN.

4.2.1 Popis procesu

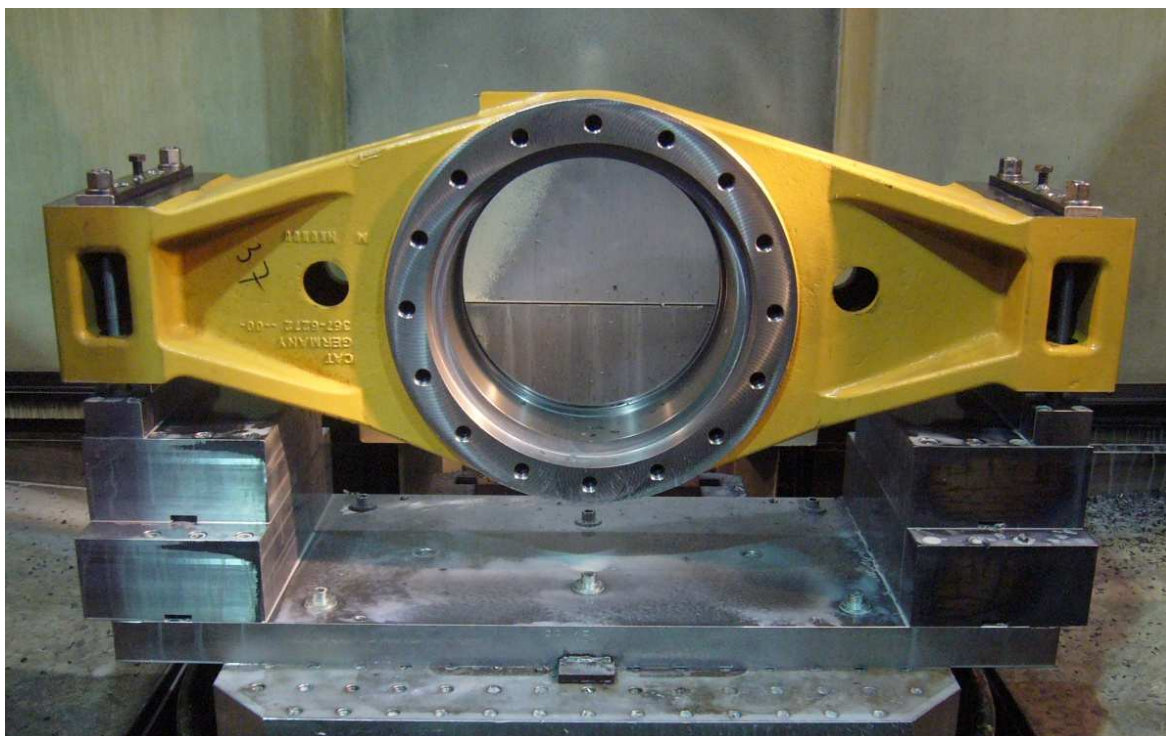
Předmětem procesu obrábění je díl do nákladního vozidla MAN. Tento díl je označován, jako Support-Trunnion 367 (viz obr. 9) sloužící pro uchycení přední nápravy vozidla. Dodávaný odlitek ze slévárny je obráběn na CNC stroji Hüller-Hille NBH 230. Po procesu obrábění dochází k transportu k zákazníkovi, kde je určen k montáži. Proces obrábění musí být nastaven tak, aby splňoval požadavky zákazníka, tzn. dosažení všech předepsaných tolerancí pro rozměry, souosost, rovinnost a drsnost.

Samotný proces obrábění je rozdělen na čtyři části. První část obsahuje vstupní kontrolu odlitku a posléze dochází k upnutí do přípravku CNC stroje. Druhou část tvoří samotné obrábění, kdy jsou frézovány čtyři základní plochy. Tyto plochy jsou obráběny nejprve hrubovací frézou a následně frézou načisto. V této části dochází také k vrtání čtyř průchozích otvorů pomocí vrtáku, výhrubníku a výstružníku. Po skončení druhé fáze procesu dochází k druhému upnutí odlitku.

Ve třetí části procesu dochází k frézování části odlitku, kde bude upnuta náprava. Tato část je tvořena třemi stupni průchozí díry. Tato část je frézovaná nejdříve hrubovací frézou a poté frézou načisto. V tomto sledu se takto postupuje i u čelní plochy. Po skončení fáze frézování následuje navrtání 16 -ti děr, do kterých bude posléze vytvořen závit. Zde je použit vrták a následně závitník.

Poslední fáze procesu spočívá v odhrotování všech obráběných hran pomocí ruční brusky. Po této operaci následuje nakonzervování obráběných ploch a uložení obrobku do přepravní palety dle balícího předpisu.

Obr. 9 – obrobek Support-Trunnion 367



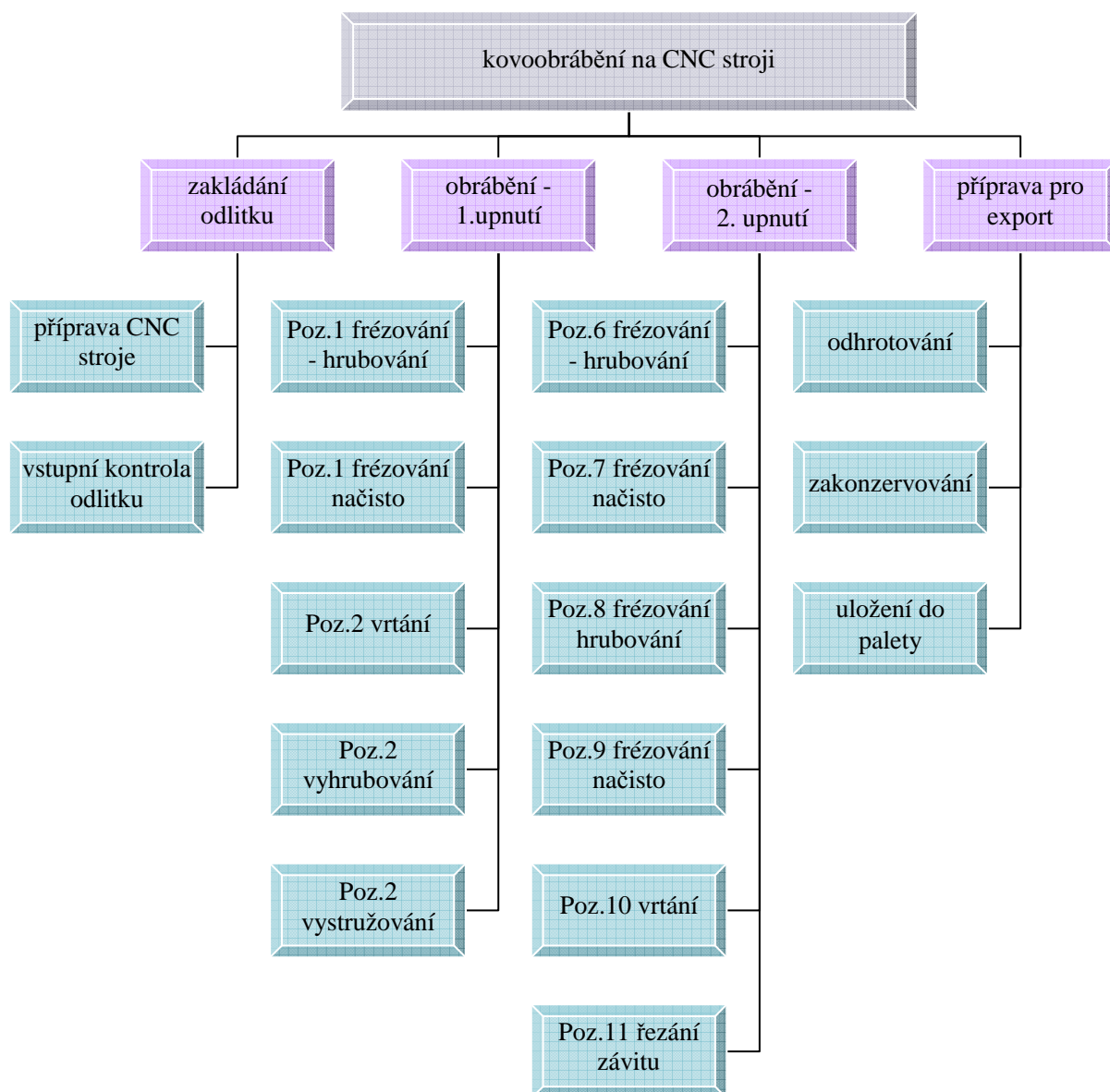
4.2.2 Stanovení řešitelského týmu

Pro aplikování metody FMECA byl sestaven čtyř členný tým. Tento tým tvoří technolog procesu obrábění (programátor CNC stroje), vedoucí oddělení kvality, vedoucí provozního úseku údržby nástrojů, který je zodpovědný za dodržování údržby a výměny nástrojů a moderátora.

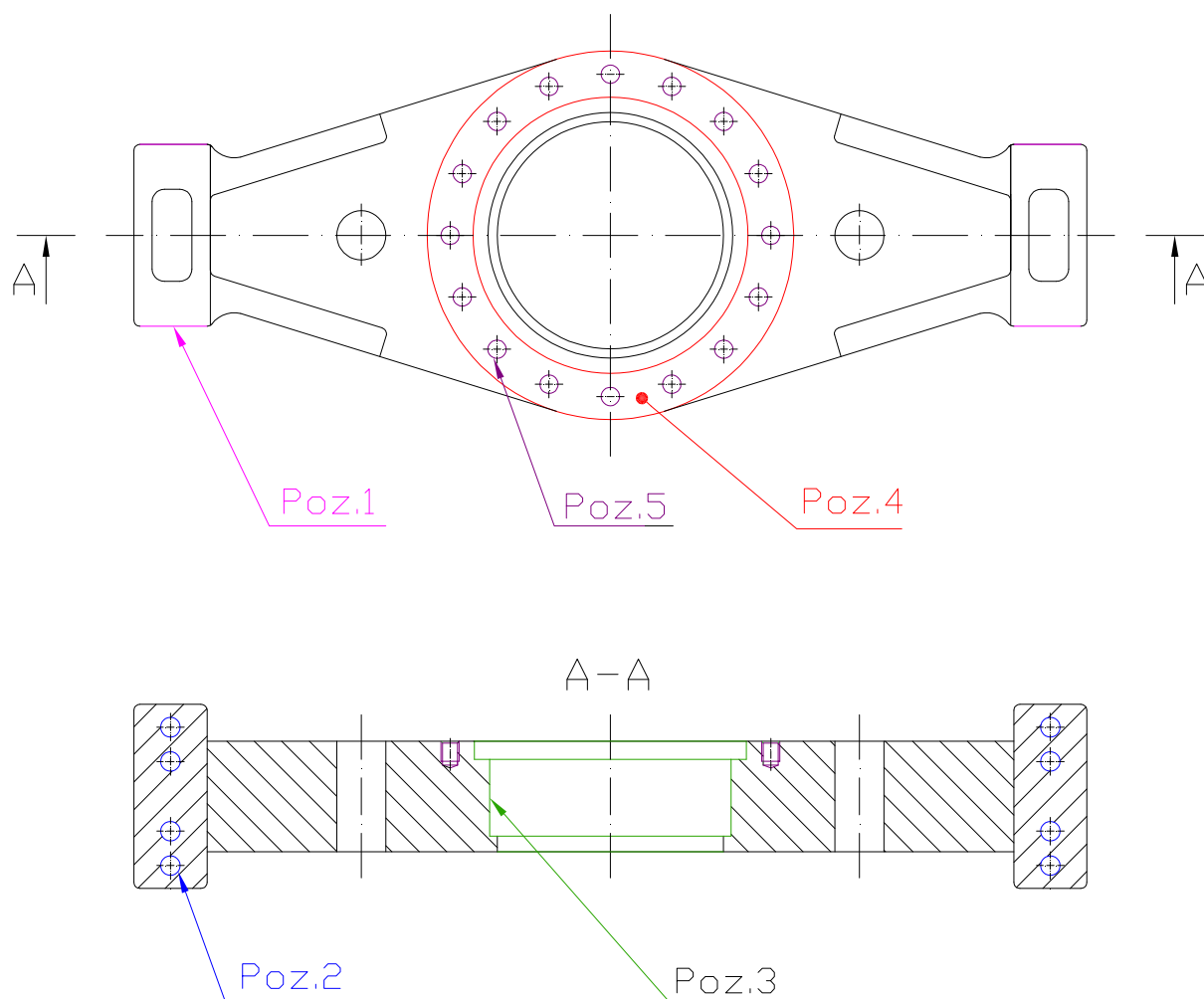
4.2.3 Určení hranic systému a struktury analýzy

Proces bude vymezen příjmem odlitku až po uložení do přepravní palety. Struktura celého procesu je znázorněna viz obr. 10.

Obr. 10 – Blokové schéma zařízení



Obr. 11 – Náčrt obrobku



4.2.4 Analyzování způsobů poruch a vyhodnocení kritičnosti pomocí RPN

Stanovení možných způsobů poruch a vyhodnocení její míry kritičnosti bude analyzováno pomocí rizikového čísla (RPN – Risk Priority Number). Analýza FMECA se bude zaměřovat na dosažení všech požadovaných rozměrů v daném tolerančním rozmezí. Bodová hranice pro překročení stanovené míry kritičnosti je nastavena na 75 bodech. Stanovení nižší hranice RPN je z důvodu určení obrobku pro automobilový průmysl. Pro zpřehlednění aplikace metody FMECA procesu jsou na náčrtu obrobku vytvořeny odkazy, které korespondují s označením jednotlivých fází procesu.

Tabulka 7 – Formulář FMECA procesní

Analýzy způsobů a kritičnosti poruch - FMECA procesní																
výrobek	Support-Trunnion 367		Tým	J. Šmrha, J, Šoul, P. Zdychynec				Verze: 2012/2		Datum: 5.3.2012						
proces	kovoobrábění		Moderátor	J. Doule				Revize: 5.9.2013		List: 1/5						
proces	porucha (číslo)	popis možné poruchy	důsledek poruchy	závažnost	možné příčiny	stávající opatření pro kompenzaci poruchy	výskyt	stávající opatření pro odhalení neshody	odhalitelnost	RPN	opatření	termín	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN po opatřeních
základání - příprava stroje	1	chybné upnutí odlitku do přípravku	nedodržení předepsané tolerance rozměrů	8	přípravek zanesen šponami z předešlého obrábění	čistění pomocí stlačeného vzduchu	2	---	2	32						32
	2	chybné upnutí odlitku do přípravku	nedodržení předepsané tolerance rozměrů	8	nepozornost obsluhy - chybná orientace odlitku	Poka - Yoke	2	---	1	16						16
vstupní kontrola odlitku	3	chybné upnutí odlitku do přípravku	nedodržení předepsané tolerance rozměrů	8	nedolitý odlitek	---	2	vizuální kontrola	3	48						48
1. upnutí Poz.1 frézování - hrubování	4	nedodržení požadované rovinnosti	narušení technologického postupu frézování	6	opotřebovaný nástroj	---	2	---	2	24						24

Analýzy způsobů a kritičnosti poruch - FMECA procesní

výrobek	Support-Trunnion 367	Tým	J. Šmrha, J. Šoul, P. Zdychynec			Verze:	2012/2	Datum:	5.3.2012							
proces	kovoobrábění	Moderátor	J. Doule			Revize:	5.9.2013	List:	2/5							
proces	porucha (číslo)	popis možné poruchy	důsledek poruchy	závažnost	možné příčiny	stávající opatření pro kompenzaci poruchy	výskyt	stávající opatření pro odhalení neshody	odhalitelnost	RPN	opatření	termín	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN po opatřeních
1.upnutí Poz.1 frézování - načisto	5	nedodržení předepsané tolerance rozměrů	nesprávné osazení při montáži	8	opotřebovaný nástroj	---	3	1x za směnu měření na 3D Zeiss	2	48						48
1.upnutí Poz.2 vrtání	6	neshodná pozice	narušení technologického postupu vrtání	6	chybná korigace nástroje	zaškolení obsluhy	2	---	2	24						24
1.upnutí Poz.2 vyhrubování	7	nedodržení předepsané tolerance rozměrů	narušení technologického postupu vrtání	6	opotřebovaný nástroj	---	2	---	2	24						24
1.upnutí Poz.2 vystružování	8	nedodržení předepsané tolerance rozměrů	nesprávné osazení při montáži	8	opotřebovaný nástroj	---	3	intervalové měření obrobku oboustraným kalibrem	3	72						72

Analýzy způsobů a kritičnosti poruch - FMEA procesní

výrobek	Support-Trunnion 367	Tým	J. Šmrha, J. Šoul, J. Doule			Verze:	2012/2	Datum:	5.3.2012							
proces	kovoobrábění	Moderátor	J. Doule			Revize:	5.3.2013	List:	3/5							
proces	porucha (číslo)	popis možné poruchy	důsledek poruchy	závažnost	možné příčiny	opatření pro kompenzaci poruchy	výskyt	Opatření pro odhalení neshody	odhalitelnost	RPN	opatření	termín	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN po opatřeních
2. upnutí Poz.3 frézování - hrubování	9	nedodržení předepsané tolerance rozměrů	narušení technologického postupu frézování	6	opotřebovaný nástroj	---	2	---	2	24						24
	10	nedodržení požadované soososti	narušení technologického postupu frézování	6	chybná korigace nástroje	---	3	---	3	54						54
2. upnutí Poz.3 frézování - načisto	11	nedodržení požadované soososti	chybné osazení ložisek	9	chybná korigace nástroje	---	2	1x za směnu měření na 3D Zeiss	2	36						36
	12	nedodržení předepsané tolerance rozměrů a drsnosti	chybné osazení ložisek	9	opotřebovaný nástroj	---	5	1x za směnu měření na 3D Zeiss	2	90	změna řezných podmínek			9	2	2

Analýzy způsobů a kritičnosti poruch - FMECA procesní

výrobek		Support-Trunnion 367	Tým		J. Šmrha, J. Šoul, P. Zdychynec			Verze: 2012/2		Datum: 5.3.2012						
proces		kovoobrábění	Moderátor		J. Doule			Revize: 5.9.2013		List: 4/5						
proces	porucha (číslo)	popis možné poruchy	důsledek poruchy	závažnost	možné příčiny	stávající opatření pro kompenzaci poruchy	výskyt	stávající opatření pro odhalení neshody	odhalitelnost	RPN	opatření	termín	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN po opatřeních
2.upnutí Poz.4 frézování - hrubování	13	nedodržení požadované rovinnosti	narušení technologického postupu frézování	6	opotřebovaný nástroj	---	2	---	2	24						24
2.upnutí Poz.4 frézování - načisto	14	nedodržení předepsané tolerance rozměrů	nesprávné osazení při montáži	8	opotřebovaný nástroj	---	3	1x za směnu měření na 3D Zeiss	2	48						48
2.upnutí Poz.5 vrtání	15	neshodná pozice	narušení technologického postupu řezání závitu	8	chybná korigace nástroje	---	2	---	2	32						32

Analýzy způsobů a kritičnosti poruch - FMECA procesní																	
výrobek	Support-Trunnion 367		Tým	J. Šmrha, J, Šoul, P. Zdychynec				Verze: 2012/2		Datum: 5.3.2012							
proces	kovoobrábění		Moderátor	J. Doule				Revize: 5.9.2013		List: 5/5							
proces	porucha (číslo)	popis možné poruchy	důsledek poruchy	závažnost	možné příčiny	stávající opatření pro kompenzaci poruchy	výskyt	stávající opatření pro odhalení neshody	odhalitelnost	RPN	opatření	termín	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN po opatřeních	
2. upnutí Poz.5 řezání závitu	16	nedodržení předepsané tolerance rozměrů	nesprávné osazení při montáži	8	opotřebovaný nástroj	---	5	intervalové měření obrobku oboustraným kalibrem	2	80	změna technologického postupu	1.5.2012	8	2	2	32	
	17	nedodržení předepsané tolerance rozměrů	nesprávné osazení při montáži	8	chybná korigace nástroje	---	4	intervalové měření obrobku oboustraným kalibrem	2	64							64
příprava pro export - odhrotování	18	ostré hrany	možné poranění	5	podpis obsluhy na každém formuláři palety	---	2	namátková kontrola	3	30			8	2	4	64	
příprava pro export - zakonzervován	19	korozie	obráběný povrch nedosahuje požadovaných vlastností	5	podpis obsluhy na každém formuláři palety	---	2	namátková kontrola	3	30							30
příprava pro export - balení	20	porušení balícího předpisu	poškození obrobku během dopravy	6	podpis obsluhy na každém formuláři palety	---	2	namátková kontrola	2	24							24

5 Návrh na zlepšení bezporuchovitosti

Návrh na zlepšení bezporuchovitosti bude vycházet z dosažených poznatků z aplikace metody FMECA. Aplikováním metody FMECA byly nalezeny možné způsoby poruch, které překračují stanovenou hranici kritičnosti 100 bodů. Pro tyto možné způsoby poruch bude navrženo opatření, které sníží jejich míru kritičnosti. Z výsledků analýzy FMECA budou také stanoveny údržbářské, kontrolní a revizní intervaly.

5.1 Návrh opatření pro průmyslový vysavač MV - 11

Aplikováním analýzy FMECA na systém průmyslového vysavače bylo definováno 21 možných způsobů poruch. Z těchto analyzovaných poruch celkem tři poruchy přesáhly nastavenou hranici míry kritičnosti. U pěti možných způsobů poruch byla zjištěna společná příčina. V šesti případech byly analyzovány možné způsoby poruch, u kterých je nutnost nastavení údržbářského a kontrolního intervalu.

5.1.1 Aplikace opatření pro poruchy s vysokou mírou kritičností

Analýza FMECA definovala v systému tři možné způsoby poruch, u nichž bude provedeno opatření s cílem snížení míry kritičnosti pod hranici 100 bodů RPN.

Porucha č. 12

Klasifikováním parametrů závažnosti, výskytu a odhalitelnosti bylo dosaženo 112 bodů RPN. Parametr závažnosti byl klasifikován sedmičkou, z čehož vyplývá, že u zařízení dochází ke snížení technických parametrů. Klasifikace výskytu byla ohodnocena osmičkou, což značí opakující se poruchu. Odhalení bylo klasifikováno dvojkou, jelikož pravděpodobnost odhalení možného způsobu poruchy je velmi vysoká.

U poruchy č. 12 může dojít k mechanickému poškození hadice prořezem nebo prasknutím. Hadice je v místě průchodu stěnou skříně nadměrně mechanicky namáhána. Stávající opatření spočívalo v zaoblení hran průchodu ve stěně vysavače. Toto opatření snižuje možnost prořezu, ale nesnižuje to mechanické namáhání v jednom bodě hadice. Návrh nového opatření spočívá v aplikování plastové ochrany hadice v místě prostupu s přesahem 10 cm na obou stranách. Tímto opatřením se zvýší rádius ohybu hadice a tím i rozložením mechanického namáhání na větší plochu.

Po zavedení nápravného opatření se hodnota RPN snížila na 28 bodů díky snížení klasifikace výskytu z osmičky na dvojku. Klasifikování výskytu dvojkou značí velmi nízký výskyt poruch.

Porucha č. 15

V případě poruchy č. 15 byla stanovena hodnota RPN na 120 bodech. Kdy závažnost byla klasifikovaná na úrovni pět, což značí provozuschopnost systému se snížením komfortem. Výskyt poruchy byl klasifikován osmičkou označující vysokou opakovatelnost poruchy. Odhalitelnost byla klasifikovaná na úrovni tři, z toho vyplývá vysoká pravděpodobnost odhalení.

Tato porucha se vyskytovala u prvku mechanického mincovníku, u kterého docházelo k propadávání mince z důvodu jejího znečištění mince. Pokud je mince znečištěna, klesá pravděpodobnost jejího průchodu kalibrovacím zařízením mincovníku. Navrženým opatřením pro eliminaci této poruchy bylo aplikování tzv. „škrábátka“ v podobě plechové destičky s vyšší hodnotou, která bude umístěna v blízkosti mechanického mincovníku. Pokud mince neprojde kalibrovacím zařízením a propadne, bude doporučeno ji o umístěnou destičku očistit.

Tímto navrženým opatřením dojde k poklesu výsledného RPN na 30 bodů. Tento pokles je způsoben snížením klasifikování výskytu poruchy z osmičky na dvojku (nízký výskyt poruch).

Porucha č. 18

Míra kritičnosti poruchy byla stanovena pomocí RPN na 192 bodů. Toto vysoké bodové ohodnocení bylo zapříčiněno vyšším klasifikováním závažnosti osmičkou (ztráta základní funkce), klasifikováním výskytu šestkou (občasná porucha) a odhalitelností na úrovni čtyři značící středně vysokou pravděpodobnost odhalení.

U poruchy č. 18 dochází k propadnutí mince z důvodu neprůchodnosti kalibrovacím zařízením mincovníku. Kalibrovací zařízení je stavitelné dle volby přijímané mince. Při působení mírných vibrací dochází ke změně nastavené rozteče kalibru, což má za následek zmenšený průchod pro minci a její následné propadnutí. Zdrojem vibrací je chod vysavače

KÄRCHER NT 35/1. Opatřením pro potlačení výskytu vibrací je uchycení vysavače ke skříni pomocí silentbloků, které tento jev potlačí.

Po zavedení opatření je očekáváno snížení RPN u této poruchy na 64 bodů. Kdy aplikováním opatření dojde ke snížení klasifikace výskytu ze šestky na dvojku (nízký výskyt poruch).

5.1.2 Poruchy se společnou příčinou

Aplikací metodou FMECA bylo nalezeno celkem pět poruch se společnou příčinou. Schopnost metody FMECA určit míru kritičnosti těchto důsledků poruch je velmi omezena, z důvodu vznikutí více způsobů poruch v jeden okamžik.

Ve formuláři FMECA (tab. 6) byla míra kritičnosti u jednotlivých poruch hodnocena nezávisle, nicméně je třeba se na tyto poruchy zaměřit jako na celek. Jako stávající opatření pro tuto poruchu je volba jednotlivých prvků se stupněm krytí IP 67 (odolnost proti prachu a vniknutí vody), použití materiálu z nerezů a aplikace maziva.

5.1.3 Návrh plánu údržby, kontroly a revize

Analýzou FMECA byly nalezeny možné způsoby poruch, u kterých byly stanoveny opatření formou kontrol a údržby. Stanovení plánu údržby bude na základě časového harmonogramu a také dle počtu využití vysavače. Revize pro průmyslový vysavač MV-11 je stanovena 1 x ročně.

Pro poruchy č. 4; 8 a 16 byl stanoven plán údržby 1 x za pololetí. Tento časový interval by měl potlačit vznik možných příčin pro vznik poruchy.

Stanovení plánu údržby a kontroly pro poruchy č. 9 a č. 10 bude na základě počtu využití vysavače. Zodpovědná osoba za provoz vysavače má k dispozici data z modulu čítače o počtu využití, dle kterých bude prováděna údržba a kontrola. Opatření v podobě výměny jemného filtru, které eliminuje příčiny poruchy č. 9, je nutné provádět v intervalech po každém dvoustém využití. Pro kontrolu sáčkového vaku je nastaven interval na hranici padesáti použití, po kterých má proběhnout kontrola naplnění sáčkového vaku. Pokud sáček nebude jevit známky naplnění, není třeba výměny. Toto opatření slouží k potlačení příčin poruchy č. 10.

5.2 Návrh opatření pro proces kovoobrábění

Při aplikaci metody FMECA na proces kovoobrábění na CNC stroji byly nalezeny dvě poruchy s překračující mírou kritičností. Pro tyto poruchy je nutné navrhnout opatření pro snížení jejich míry kritičnosti pod hranici 75 bodů RPN.

5.2.1 Aplikace opatření pro poruchy s vysokou mírou kritičností

Porucha č. 12

Při posuzování procesu obrábění vnitřní plochy tří stupňové díry (Poz. 3) bylo dosaženo 108 bodů RPN (max. 75 bodů pro splnění míry kritičnosti). Tolerance rozměrů na tyto plochy jsou z důvodu osazení ložisek menší a zároveň závažnost dané poruchy je klasifikovaná devítkou (nebezpečná porucha s varováním). Z důvodu požadavku na vyšší přesnost tolerance rozměrů může docházet k většímu výskytu neshod klasifikovaným šestkou (občasné poruchy 2×10^{-3}). Odhalitelnost této poruchy je velmi vysoká díky měření na tří souřadnicovém stroji ZEISS.

Jako nápravné opatření pro dosažení rozměrů v požadovaném tolerančním poli je změna řezných podmínek snížením rychlosti posuvu nástroje. Tímto opatřením by mělo dojít ke snížení klasifikování výskytu na dvojku (nízký výskyt). Po zavedení tohoto opatření by mělo dojít k dosažení 36 bodů RPN.

Porucha č. 16

Pro řezání závitu (Poz. 5) byla stanovena míra kritičnosti na 80 bodech RPN. Klasifikování závažnosti bylo ohodnoceno osmičkou (velmi vysoká), výskyt pětkou (občasné poruchy) a odhalitelnost dvojkou (velmi vysoká pravděpodobnost odhalení). Technologický postup tvorby závitu je tvořen vrtáním a řezáním závitu. Z důvodu funkčnosti závitu je nutné, aby míra výskytu byla co možná nejmenší.

Pro dosažení nižšího bodového ohodnocení, než je stanovená hranice je zvoleno opatření ve formě změny technologického postupu, kdy je nutné mezi fázemi vrtání a řezání závitu provést hrubování díry. Díky hrubování dojde ke zlepšení geometrických požadavků na válcovitost, kdy následné řezání závitu bude významně zpřesněné. Po zavedení tohoto opatření je očekáváno snížení klasifikace odhalitelnosti na dvojku, což ovlivní celkové hodnocení RPN na 32 bodů.

5.2.2 Návrh plánu kontroly a revize

Aplikováním metody FMECA byly stanoveny intervaly měření vybraných rozměrů. Pro kontrolu závitů (Poz. 5) a vrtaných děr (Poz. 2) bylo stanoveno intervalové měření obsluhou CNC stroje u každého třetího obrobku pomocí oboustranných kalibrů. U obráběných pozic 1; 3 a 4 je nastavena kontrola měření na tří souřadnicovém stroji ZEISS jedenkrát za směnu.

Revizi aplikace metody FMECA pro kontrolu dosažení splnění požadavků skrze opatření, vyhodnocení dosažení celkové bezporuchovitosti procesu a možnosti nalezení nových způsobů poruch je nutné provádět jedenkrát za pololetí.

6 Závěr

V teoretické části diplomové práce došlo k seznámení se s metodou FMECA, jejím zařazením v oblasti zajištění jakosti a spolehlivosti systémů včetně uvedení přínosu a nedostatků její aplikace. Rešeršní část obsahuje přesný postup metody pro její aplikování v praxi. V závěru teoretické části jsou představeny jednotlivé softwarové aplikace pro zavádění metody FMECA, které usnadňují a zpřehledňují její vypracování.

V praktické části práce byla vypracovaná metoda FMECA pro dva příklady z praxe formou FMECA konstrukční na průmyslový vysavač a FMECA procesní na proces kovoobrábění. Pro zpracování metody byla vypracovaná počítačová podpora v tabulkovém editoru Excel, která je k dispozici v elektronické podobě na přiloženém CD nosiči. Při vypracovávání metody se postupovalo dle předložené metodiky v teoretické části práce. Aplikací metody byly odhaleny kritická místa systémů, pro které byly navrženy opatření pro zlepšení bezporuchovitosti.

Aplikací metody na konstrukční řešení průmyslového vysavače, který se nachází ve fázi výroby, byly nalezeny celkem tři možné způsoby poruch, jejichž míra kritičnosti důsledků přesahovala požadovanou hranici. Pro tyto možné způsoby poruch byly vypracovány nápravné opatření. Aplikací metody byl také nastaven plán údržby a kontroly zařízení včetně revize metody FMECA. Po provedení nápravných opatření a zavedení plánu údržby a kontroly se předpokládá odstranění 90 % možných způsobů poruch s vysokou mírou kritičnosti a zlepšení bezporuchovitosti systému.

V druhém příkladě aplikace metody na proces kovoobrábění byla použita FMECA procesní. Z poznatků aplikace metody byly nalezeny celkem dva možné způsoby poruch s vysokou mírou kritičností jejich důsledků. V tomto případě byla požadovaná mez kritičnosti nastavena níže oproti předešlé aplikaci z důvodu procesu na dílu, který spadá do automobilové oblasti výroby. Pro tyto možné způsoby poruch byly navrhovány nápravné opatření, které snížily jednotlivé ohodnocení míry kritičnosti pod požadovanou mez. Pro proces kovoobrábění byl také navržen plán kontroly a termín revize aplikace metody FMECA. U procesu kovoobrábění se předpokládá odstranění 85 % slabých míst systému.

V nedostacích a omezení metody FMECA se pojednává o neschopnosti metody poskytnout celkový ukazatel bezporuchovitosti systému z důvodu aplikace metody v době návrhu popřípadě výroby. Bez těchto hodnot nelze stanovit ani přesný ekonomický přínos aplikace metody.

V případě průmyslového vysavače je předpokládán ekonomický přínos v podobě zvýšení provozuschopnosti systému a snížení časového fondu oprav. Na straně nákladů se nachází výdaje na zavedení opatření pro odstranění možných způsobů poruch a realizaci metody FMECA.

Pro proces kovoobrábění dílu pro automobilový průmysl se očekává snížení podílu neshodných obrobků, což má za následek snížení nákladů na odlitek a na proces obrábění. Náklady jsou tvořené realizací opravnými opatřeními na proces a samotným zaváděním metody. Pokud by stanovení ekonomického přínosu bylo hodnoceno v širším kontextu finálního produktu, tak lze opravdu stěží stanovit celkové náklady na odstranění poruchy u zákazníka, jelikož obráběný díl je pouze součástí objektu.

Literatura

- [1] AIAG. *Potential failure mode and effects analysis, third edition*, 2001. vyd.
- [2] *Analýza možných způsobů a důsledků závad (FMEA)*. 3. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2001, 72 s. ISBN 80-020-1476-6.
- [3] ČSN EN 60812. *Techniky analýzy bezporuchovitosti systému - Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. 2007. vyd.
- [4] ČSN EN ISO 9000. *Systémy managementu kvality – Základní principy a slovník*. Praha, Český normalizační institut, 2006. vyd.
- [5] Holub, R, - VINTR,Z: *Základy spolehlivosti*. VA, Brno 2002. 174s.
- [6] LEGÁT, V, a kol.: *Manažer údržby. Skripta pro kurz ČZU. ČSPÚ, 2010*.
- [7] MYKISKA, A.: *Spolehlivost v systémech jakosti*. ČVUT, Praha 1995.103s
- [8] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2008, 377 s. ISBN 978-80-7261-186-7 (BROŽ.).
- [9] PLURA, J.: *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Praha, Computer Press 2001, 244 s. (ISBN 80-7226-543-1)
- [10] PLURA, J.: *Plánování jakosti výrobků a procesů metodou FMEA – vývoj a současnost*. In: JAKOST '98, Ostrava, 1998, s. I 45 – I 50.
- [11] SAE J1739:2000. *Potential failure mode and effects analysis in design (design FMEA) and potential failure mode and effects analysis in manufacturing and assembly processes (Process FMEA), and potential failure mode and effects analysis for machinery*. 2002. vyd.
- [12] ZAJÍČEK, Jaroslav. Disertační práce. *Postupy semikvantitativní analýzy FMECA*. 2010. vyd. Liberec, 84 s.

Internetové zdroje:

- [13] ITEMSOFTWARE. *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* [online]. [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.itemsoft.com/fmea.html>
- [14] PALSTAT CAQ. FMEA [online]. [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.palstat.cz/cs/produkty/fmea>
- [15] PTC. [online]. [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.ptc.com/product/windchill/fmea>

Seznam zkratek

ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
ČSN	Česká technická norma
FMEA	Analýza možnosti vzniku vad a jejich následků
FMECA	Analýza způsobů a kritičnosti důsledku poruch
DFMECA	Analýza způsobů a kritičnosti důsledku poruch pro produkt
PFMECA	Analýza způsobů a kritičnosti důsledku poruch pro proces
CCF	Poruchy se společnou příčinou
AIAG	Organizace automobilového průmyslu
SAE	Mezinárodní asociace techniků
RPN	Rizikové číslo
VDA	Strukturovaná německá norma
IP	Stupeň krytí odolnosti elektrospotřebiče
CNC	Číslicové řízení počítačem

Seznam obrázků

OBR. 1 – SCHÉMA POSTUPU ANALÝZY FMECA	7
OBR. 2 – VZTAH MEZI ZPŮSOBY PORUCH A DŮSLEDKY PORUCH	11
OBR. 3 – PRACOVNÍ LIST ANALÝZY FMECA	22
OBR. 4 – NÁHLED SOFTWARE PALSTAT CAQ	23
OBR. 5 – NÁHLED SOFTWARE ITEM TOOLKIT	24
OBR. 6 – NÁHLED SOFTWARE RELEX FMEA/FMECA.....	24
OBR. 7 – PRŮMYSLOVÝ VYSAVAČ MV-11	27
OBR. 8 – BLOKOVÉ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ.....	28
OBR. 9 – OBROBEK SUPPORT-TRUNNION 367	36
OBR. 10 – BLOKOVÉ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ.....	37
OBR. 11 – NÁČRT OBROBKU	38

Seznam tabulek

TABULKA 1 – PŘÍKLAD SEZNAMU OBECNÝCH ZPŮSOBŮ PORUCH.....	13
TABULKA 2 – KLASIFIKACE ODHALENÍ PORUCHY	16
TABULKA 3 – KLASIFIKACE ZÁVAŽNOSTI PORUCHY	17
TABULKA 4 – KLASIFIKACE VÝSKYTU PORUCHY.....	18
TABULKA 5 – MATICE KRITičNOSTI.....	21
TABULKA 6 – FORMULÁŘ FMECA KONSTRUKČNÍ	30
TABULKA 7 – FORMULÁŘ FMECA PROCESNÍ.....	39