



Fakulta elektrotechnická
Katedra technologií a měření

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza rizik procesu s ohledem na specifické požadavky zákazníka

Autor práce: Bc. Monika Kovářová
Vedoucí práce: Ing. Petr Netolický, Ph.D.

Plzeň 2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:

Osobní číslo:

Studijní program:

Studijní obor:

Název tématu:

Zadávací katedra:

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s
2. Se zvolenými metodami realizujte
3. Shrňte výsledky měření a vyvoďte příslušné závěry

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce:

Konzultant diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **18. října 2010**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2011**

děkan

vedoucí katedry

V Plzni dne 18. října 2010

Abstrakt

Tato práce se zabývá základními metodami pro analýzu rizik procesu, jejich četnost využití a efekt ve firmách. Hlavním cílem práce bylo sledování metody FMEA a její realizace ve společnosti WITTE Nejdek. Metoda FMEA je v textu rozdělena na dvě části: FMEA produktu a FMEA procesu. Každá tato část je doplněna o praktickou ukázkou realizace, která obsahuje analýzy a hodnocení současného stavu, závažnosti rizika a návrh opatření. Další kapitola je zaměřena na specifické požadavky zákazníků. Předposlední část textu se věnuje generické FMEA s praktickým příkladem. V závěru práce je navržen nový informační systém pro metodu FMEA.

Klíčová slova

Nástroje pro analýzu rizik procesu, FMEA, DFMEA, PFMEA, specifické požadavky zákazníků, GFMEA.

Abstract

Kovářová, Monika. *Risk analysis focused on specific customer requirements [Analýza rizik procesu s ohledem na specifické požadavky zákazníka]*. Pilsen, 2015. Master thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Technologies and Measurement. Supervisor: Petr Netolický

This work contains basic methods for risk analysis process, their frequency of use and the effect on businesses. The main point of this work is the FMEA and its implementation in the company WITTE Nejdek. FMEA is divided into two parts: FMEA product and process FMEA. Every part of this is complemented by a practical demonstration of implementation, which includes the analysis and evaluation of the current situation, the seriousness of the risk and the draft measures. Another point of the work is focused on specific customer requirements. The penultimate part of the text refers to a generic FMEA with a practical example. At the end of this paper proposes a new information system for the FMEA.

Keywords

Tools for risk analysis process, FMEA, DFMEA, PFMEA, specific customer requirements, GFMEA.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 9. května 2015

Bc. Monika Kovářová

.....

Podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat Ing. Petru Netolickému, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, cenné rady a odborný dohled. Děkuji také Dipl. Ing. Vladimíru Votápkovi ze společnosti WITTE Nejdek za věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích.

Obsah

Seznam symbolů a zkratek	vii
1 Úvod	1
2 Preventivní metody managementu kvality	2
2.1 Efekt QM-metod	3
3 Nástroje pro analýzu rizik	6
3.1 Metoda DFMA	6
3.2 Metoda DMU	9
3.3 Metoda DoE	9
3.4 Metoda FTA	10
3.5 Metoda Poka Yoke	11
3.6 Metoda SPC	13
3.7 Metoda SWOT	16
3.8 Metoda TRIZ/TIPS	17
4 FMEA jako nástroj pro analýzu rizik	19
4.1 Strategie a plánování FMEA	22
4.1.1 Stanovení intenzity poruch	28
4.2 Realizace FMEA	31
4.2.1 Metoda FMEA produktu	33
4.2.2 FMEA procesu	39
5 Software SCIO-FMEA	46
6 Požadavky zákazníků na FMEA	47
6.1 Specifické požadavky zákazníků	48
6.1.1 Ford Motor Company	48
6.1.2 Analýza požadavků WITTE Nejdek	51
6.1.3 Analýza specifických požadavků	53
7 Generická FMEA	56

8	Nové podněty a nápady pro FMEA	59
8.1	Nový informační systém	59
9	Závěr	62
	Reference, použitá literatura	64

Seznam symbolů a zkratek

QM metody	preventivní metody managementu kvality
VDA	Verband der Automobilindustrie
ANOVA	Analysis of Variance - analýza rozptylu
DoE	Design of Experiments - navrhování experimentů
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis - analýza možnosti vzniku vad a jejich následků
FTA	Fault Tree Analysis - analýza stromu poruch
QFD	Quality Function Deployment - rozpracování funkce kvality
SPC	Statistical Proces Control - statistické řízení procesů
SWOT	Streanghts-Weaknesses/Opportunities-Threats - analýza silných a slabých stránek, ohrožení a příležitostí
TRIZ/TIPS	Teorija Resenija Izobretatelnych Zadec/Theorie of Inventive Problems Solving - metoda systematických inovací
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly - návrh s ohledem na výrobu
DFM	Design for Assembly - návrh s ohledem na montáž
DFS	Design for Service - návrh s ohledem na servis
DFE	Design for Environment - návrh s ohledem na životní prostředí
CAD	Computer Aided Design - počítačem podpořený návrh
DFMEA	FMEA produktu
PFMEA	FMEA procesu
DMU	Digital Mock Up - digitální modelování
VPM	Virtual Product Management
FMECA	Failury Modes Effects and Criticality Analysis - analýza způsobů a kritičnosti poruch
APQP	Advance Product Quality Planning
RPZ	rizikové číslo
BOM	rozpisky materiálu
CSR OEMs	Customer Specific Requirments, Original Equipment Manufactu- res
IATF	International Task Force Automotive
PZZ	potencionální zvláštní znaky

ZZ	zvláštní znaky
A	hodnocení výskytu závady
E	odhalitelnost závady
B	hodnocení závažnosti
σ	směrodatná odchylka
μ	střední hodnota
f_p	variační rozpětí
T	tolerance
USL	horní mezní rozměry
LSL	dolní mezní rozměry
C_p	charakteristika přesnosti procesu
C_{pk}	charakteristika správnosti nastavení
λ	intenzita poruch
α	podíl poruch
β	podmíněná pravděpodobnost důsledků poruch
C_i	číslo kritičnosti
t_j	doba provozu součásti
P_i	pravděpodobnost výskytu poruchy

Kapitola 1

Úvod

Tato problematika je v současnosti - při rozvoji průmyslové výroby - stále důležitější. Během studia a stáží jsem měla možnost blíže se seznámit s tímto procesem a rozhodla jsem se důkladněji s ním seznámit při praxi u firmy WITTE Nejdek.

Tato diplomová práce se zabývá problémem analýzy rizik procesu. Nejprve jsou zde uvedeny základní nástroje pro analýzu rizik mezi které patří: DFMA, DMU, DoE, FTA, Poka Yoke, SWOT a TRIZ/TIPS. Práce obsahuje i porovnání těchto metod s ohledem na četnost využívání metod a odhad efektu při používání těchto metod ve firmách. Metody jsou následně rozděleny podle užití v jednotlivých fázích realizace produktu. V každé metodě pro analýzu rizik je stručný popis metody, případně postup metody při realizaci ve firmách.

Další kapitola této práce se zaměřuje na FMEA jako nástroj pro analýzu rizik. Obsahuje podrobný popis strategie, plánování, stanovení intenzity poruch, pravděpodobnosti, čísla kritičnosti způsobů poruch a realizace. Metoda FMEA je zde rozdělena do dvou částí podle toho, jestli se jedná o FMEA produktu, nebo o FMEA procesu. V textu je následně uvedeno, jak společnost WITTE Nejdek analyzuje a hodnotí současný stav, jak navrhuje opatření a jak následně hodnotí stav po realizaci opatření.

V práci je uveden stručný popis softwaru, který společnost WITTE Nejdek využívá pro realizaci FMEA. Díky tomuto softwaru SCIO-FMEA je možné automatizovat vytváření procesní i konstrukční FMEA.

K metodě FMEA se také vztahují požadavky zákazníků, které lze dělit na dvě velké skupiny: Standardy a Lastenhefty. V této diplomové práci jsou uvedeny dvě společnosti: Ford Motor Company a WITTE Nejdek.

Další část práce je věnována generické FMEA (GFMEA). Jsou zde uvedeny výhody i nevýhody GFMEA a praktický příklad generické FMEA pro nýtování.

V závěru práce je uveden nový návrh softwaru pro FMEA. Software obsahuje grafické rozhraní a nové funkce oproti stávajícímu softwaru, který společnost WITTE Nejdek využívá.

Kapitola 2

Preventivní metody managementu kvality

Dnes již existuje řada preventivních metod managementu kvality (tzv. QM-metody), které jsou podstatnou součástí každého systému kvality v organizaci. Vytvářejí systém k úspěšnému řízení organizací, k plnění požadavků zákazníků, k realizaci robustních procesů, a snaží se o spolehlivé produkty. Pro dosažení větší jistoty při výběru QM-metody byly zavedeny VDA ukazatele, které objektivně hodnotí efekt metod [1].

Při výběru metod a při návrhu hodnocení efektu se vychází z toho, že QM-metody jsou elementární pomocné nástroje, které jsou rozděleny do tří preventivních kategorií [1]:

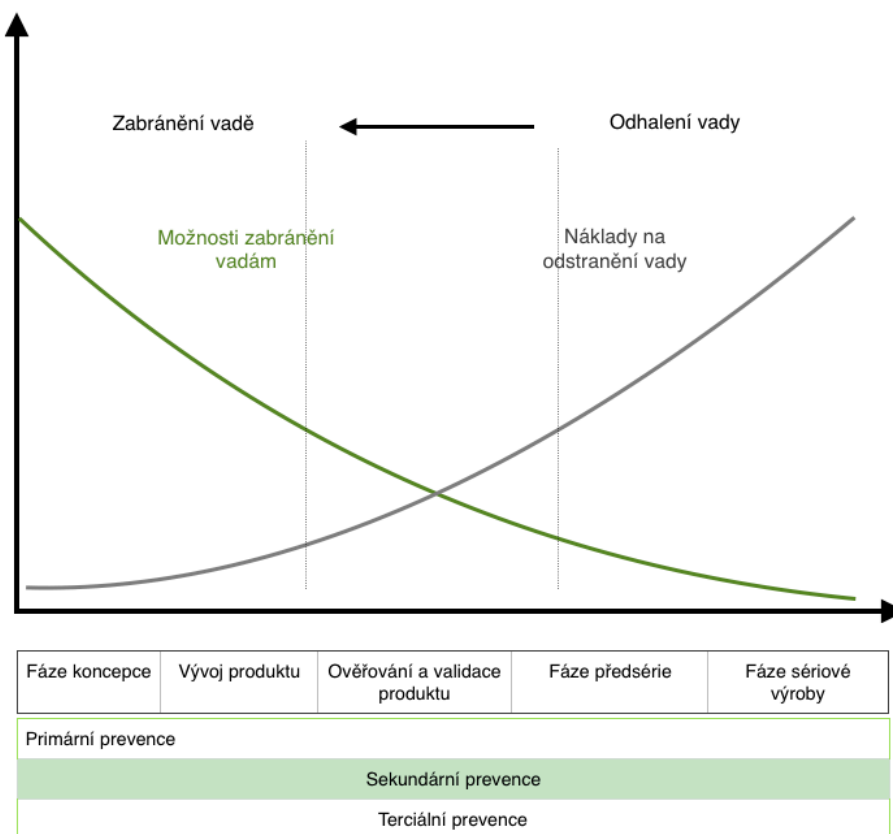
- primární prevence,
- sekundární prevence,
- terciární prevence.

Primární prevence především zkoumá předpoklady, podmínky a příčiny jevů, kterým se má zabránit a hledá způsoby, jak jim předejít (viz obrázek 2.1). Sekundární prevence nám pomáhá zachytit příslušné jevy a zároveň brání jejich prohlubování a šíření. Terciární prevence slouží jako ochrana proti opakujícím se nežádoucím jevům (např. regresivní výpočty nebo metoda ANOVA) [1].

V roce 2002 proběhl průzkum na četnost využívání vybraných QM-metod. Tato studie Fraunhoferova Institutu pro výrobní technologie vznikla na základě výsledků z 440 firem zabývajících se automobilovým průmyslem, výrobou strojů a zařízení. Studie se především zaměřila na následující preventivní metody [1]:

- statické navrhování experimentů (DoE),
- produktová FMEA (FMEA-D),
- procesní FMEA (FMEA-P),
- analýza stromu poruch (FTA),

- Poka Yoke,
- rozpracování funkce kvality (QFD),
- statistické řízení procesů (SPC),
- analýza silných a slabých stránek, ohrožení a příležitostí (SWOT),
- metoda systematických inovací (TRIZ/WOIS).

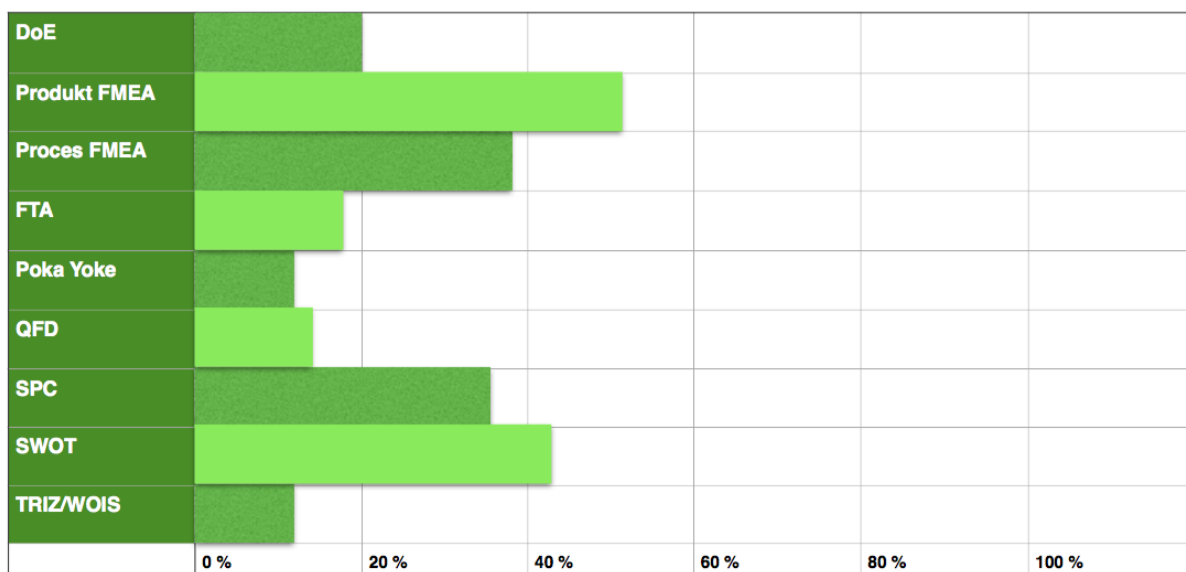


Obrázek 2.1: Vztah mezi možnostmi zabránění vadám a náklady na odstranění vad [1]

Vyhodnocení této studie ukazuje, že jsou uvedené metody sice téměř v polovině organizací známy, ale přesto jsou velmi zřídka pravidelně využívány. V následujícím obrázku 2.2 jsou znázorněny vyjmenované metody a rozděleny s ohledem na jejich četnost pravidelného využití [1].

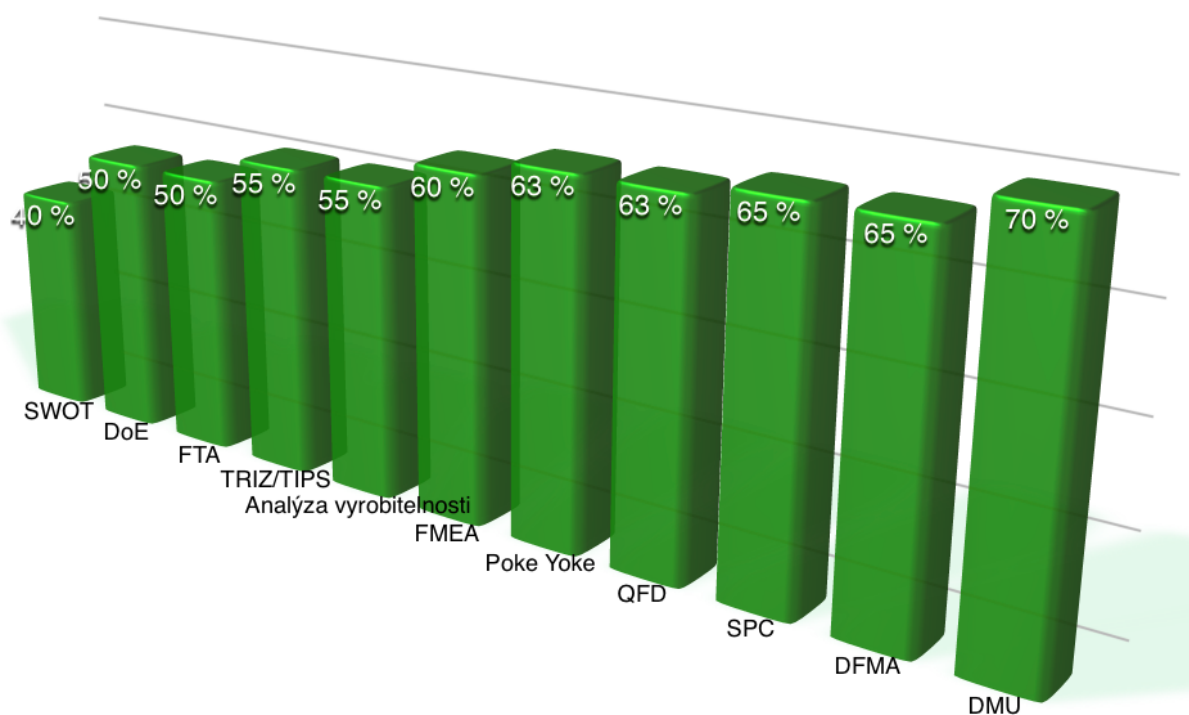
2.1 Efekt QM-metod

Abychom měli správnou motivaci pro používání QM-metod, podívejme se na obrázek 2.3, který nám ukazuje odhad efektu při používání zkoumaných metod. Průzkum prokázal, že efekt QM-metod je vesměs střední až vysoký. Literatura a výsledky studií dokládají,



Obrázek 2.2: Četnost využívání vybraných metod [1]

že objektivní měření rentability preventivních metod a metod provázejících procesy neexistuje. Přesto existují jednotlivá vyjádření k vyhodnocení efektu. Abychom podpořili efekt QM-metod, je potřeba zvolit vhodný výběr metod podle charakteru úlohy [1].



Obrázek 2.3: Odhad efektu při používání zkoumaných metod [1]

Přehled metod provázejících realizaci produktu

Při realizaci musí produkt projít různými fázemi (fáze koncepce, vývoj produktu, ověřování a verifikace produktu, fáze předsériové výroby, fáze sériové výroby). Tyto rozdílné fáze užití u jednotlivých metod jsou přehledně vyobrazeny na obrázku 2.4 [1].

Fáze koncepce	Vývoj produktu	Ověřování a verifikace produktu	Fáze předsériové výroby	Fáze sériové výroby
DFMEA				
DMU				
DoE				
FMEA				
FTA				
Analýza vyrobiteľnosti				
	Poke Yoke			
		SPC		
SWOT				
TRIZ/TIPS				

Obrázek 2.4: Užití metod v jednotlivých fázích realizace produktu [1]

Kapitola 3

Nástroje pro analýzu rizik

Při analýze rizik se používají dostupné informace k identifikaci potenciálního nebezpečí, odhadu rizika s ohledem na ochranu oprávněného zájmu společnosti z hlediska ochrany života, zdraví, majetku a životního prostředí. Analýza a snížení rizika se provádí pomocí metod a technik prevence rizik, které eliminují existující nebo odhalují budoucí faktory zvyšující riziko [4].

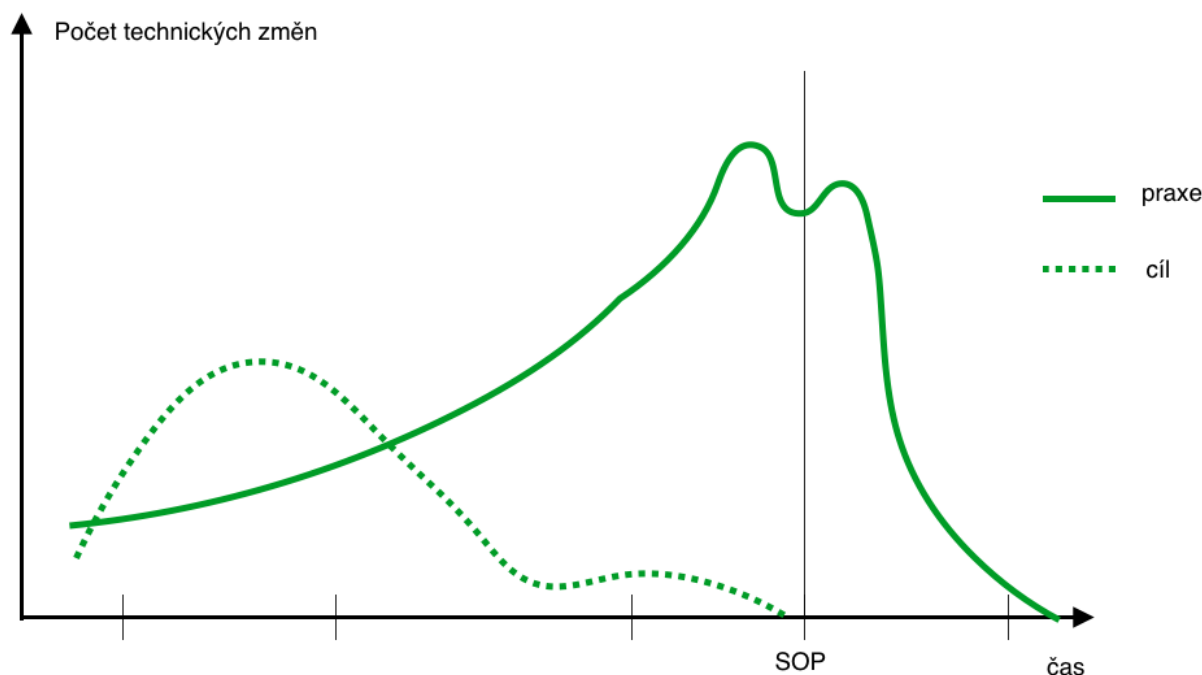
3.1 Metoda DFMA

Název této metody je zkratka z anglického názvu Design for Manufacturing and Assembly. Cílem této metody je optimalizace konstrukčního provedení, výrobních nákladů, minimalizace počtu dílů, zkrácení doby vývoje, snížení montážních nákladů a zvýšení kvality. Tato metoda má využití především v rané fázi vývoje, konstrukce, plánování, výroby a managementu kvality.

V praxi během rané fáze procesu vzniku produktu často nemáme k dispozici dostatečné zdroje pro intenzivní a správné uspořádání s ohledem na výrobu a montáž. Proto produkty z předvýroby musí být dále dopracovány a potřebné změny jsou realizovány z důvodu časového tlaku už jen částečně a s vysokými náklady. Před sériovou výrobou je dále nutná optimalizace. Pro názornost si na obrázku 3.1 ukážeme počet technických změn během vývoje (jaký je žádoucí průběh a jaká je skutečnost v praxi) [3].

Metoda DFMA se dále dělí na podskupiny, které jsou rozděleny podle toho, v jaké oblasti návrhu jsou využívány [3]:

- DFM (Design for Manufacture) - návrh s ohledem na výrobu,
- DFA (Design for Assembly) - návrh s ohledem na montáž,
- DFS (Design for Service) - návrh s ohledem na servis,
- DFE (Design for Environment) - návrh s ohledem na životní prostředí.



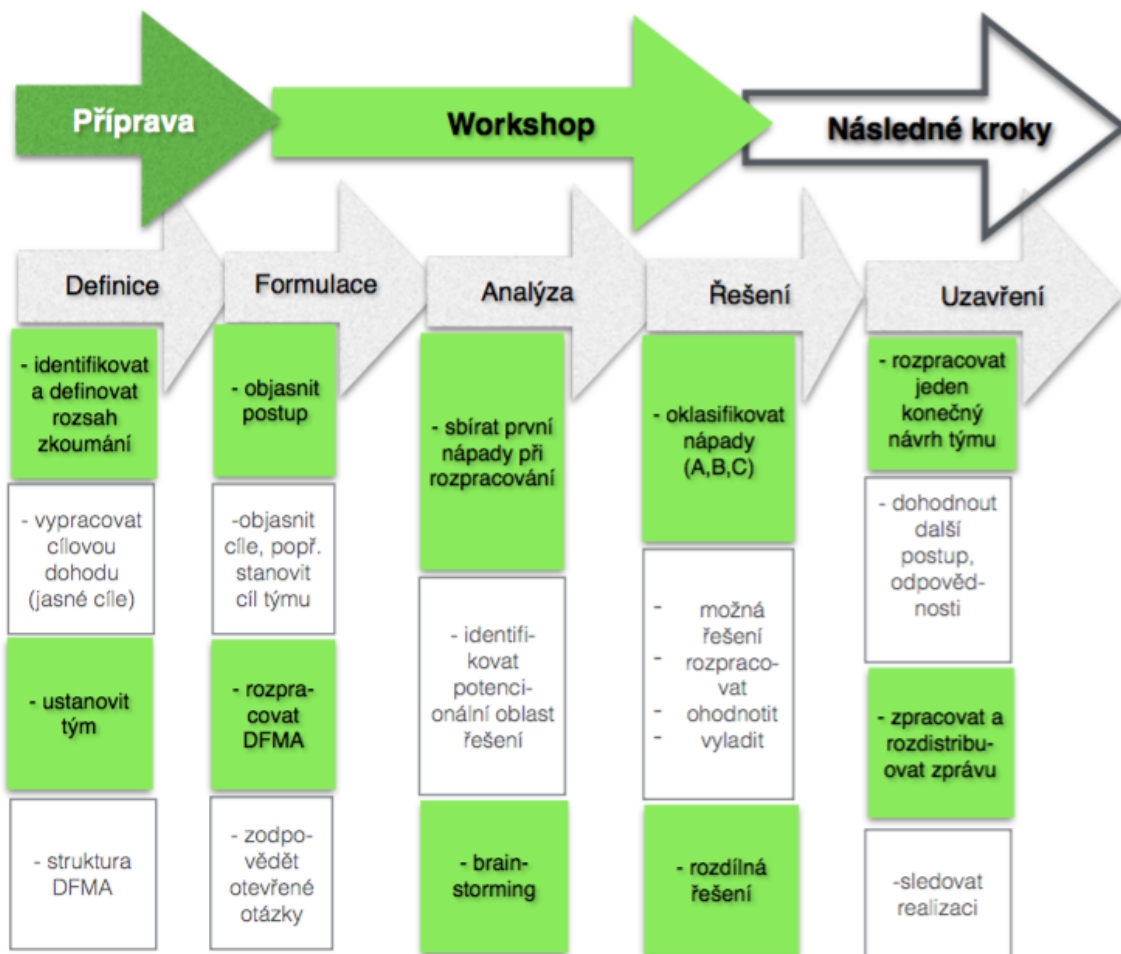
Obrázek 3.1: Počet technických změn během vývoje [3]

Postup metody DFMA

V přípravné fázi je třeba stanovit pozorovaný systém s ohledem na jeho rozsah rozhraní a hloubku zkoumání. Dále je potřeba se zabývat podklady, které máme k dispozici (náčrty, popisy, výkresy). Provádění metody probíhá v následujících krocích [3]:

1. Analýza stávajícího stavu pomocí vytvoření diagramu struktury a přiřazení charakteristických parametrů k jednotlivým prvkům struktury.
2. Systematické projednání předložené struktury spolu s cíleným katalogem otázek pro nalezení potenciálu pro optimalizaci.
3. Nalezené nápady příp. formulace/alternativy řešení budou tříděny a s objednávkou na překontrolování dále předávány na odpovědné pracovníky. Detailní šetření týkající se funkce vyrobiteľnosti, nákladů, termínů, významu, servisu a zvláštních omezujících podmínek (bezpečnost, právní předpisy, atd.) vede k novým, realizovatelným řešením.
4. Znázornění možných alternativ a jejich srovnání ve vztahu k výchozí situaci ukazuje potenciály ke zlepšení a usnadňuje rozhodování při volbě optimalizovaného systému.

Názorný postup je uveden na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Průběh DFMA [3]

Doplňkové pomocné prostředky [3]:

- nástroje vizualizace pro strukturu produktu včetně příslušných nákladů a investic,
- systém pro zjišťování výrobních časů,
- systém pro identifikaci potenciálů optimalizace u dílů a procesních kroků,
- simulace montáže pomocí CAD,
- postupy k hodnocení a stanovení priorit nápadů,
- nástroje dokumentování,
- databanky normalizovaných dílů, materiálů, operací a strojů,
- příklady správného a chybného uspořádání produktu s ohledem na výrobu,
- výukový program pro účastníky workshopu DFMA.

3.2 Metoda DMU

DMU (Digital Mock Up - digitální modelování) je strukturální a prostorový popis vozidla v CAD systému, který umožňuje virtuální sestavení stavebních prvků s příslušnou modulární strukturou. Cílem této metody je zajistit odstranění kolizí, minimálních odstupů a montovatelnosti celého vozidla, které se provádí pomocí virtuální zástavby a simulace všech 3D-geometrických dat [3].

Parametrizovaná 3D-geometrická data jsou spravována v VPM (Virtual Product Management), který má všechny informace o materiálech a struktuře. Dále jsou v něm uvedeny informace o kinematických mechanismech a administrativních atributech [3].

Tato metoda nám poskytuje vysokou kvalitu a vysoký stupeň zralosti dílů. Díky této metodě se zkracuje doba vývoje a snižují se náklady [3].

3.3 Metoda DoE

Metoda DoE (Design of Experiments - navrhování experimentů) je praktická objektivní analýza systémů prostřednictvím statistického plánování experimentů. Oblast využití této metody je především v konstrukci, plánování, testování, výrobě a v managementu kvality. Cílem této metody je snížit náklady na experimenty a dosáhnout optimálních procesů. Aby bylo možné při náběhu sériové výroby zajistit spolehlivé a vyrobitelné výrobky, je nutné ve vývojové fázi pomocí experimentů ověřit konstrukční a výrobní alternativy [3].

Tato metoda navrhuje experimenty a zkoumá působení změn ovlivňující vlastnosti cílových veličin. Před zahájením experimentu je stanoven rozsah experimentu, hloubka informace a výsledek musí být statisticky ověřen. Ovlivňující veličiny, sběr a přípravu dat získáme z jednoduchých nástrojů jako jsou [3]:

- sběrná karta závad, diagram výskytu závad,
- Paretova analýza,
- grafické znázornění (spojnicový, sloupkový, výsečový diagram),
- stratifikace dat, histogramy, korelační diagramy, Box Plots, pravděpodobností síť.

Postup metody DoE

Postup provádění se člení do čtyř kroků [1]:

1. exaktní popis systému se stanovením rozsahu systému, hranic systému (rozhraní), sestavení priorit problémů a úkolů (analýza problému),
2. zachycení a strukturování všech známých, na systém působících veličin prostřednictvím popisu druhů, vlivů a jejich vzájemného ovlivňování,

3. stanovení nejdůležitějších ovlivňujících veličin a jejich měrných hodnot systematickým plánováním a výběrem experimentů,
4. výběr nejlepšího řešení a návazná realizace s průběžným ověřením efektivnosti.

Ovlivňující veličiny identifikujeme pomocí brainstormingu, techniky „metaplánů“, diagramu příčin a následků a analýzy stromu poruch. Zjištěné ovlivňující veličiny se rozdělí do dvou skupin [3]:

- vzájemně nezávislé, říditelné a ovlivnitelné,
- těžko ovlivnitelné nebo vůbec neovlivnitelné.

Po těchto skupinkách se budou nadále zpracovávat.

Výsledkem této metody je dokumentace s vyhodnocením posuzovaných vlivů a doporučení uskutečnitelného řešení.

3.4 Metoda FTA

Cílem této metody FTA (Fault Tree Analysis - analýza stromu poruch) je analyzovat a znázornit logické vazby výpadků prvků a následně odstranit slabá místa, nebo porovnat různé alternativy [3].

Postup metody FTA

1. vytvoření analýzy systému k jednoznačnému stanovení funkcí systému pro znázornění všech požadovaných funkcí a přiřazení systémových prvků,
2. definování nežádoucích událostí a kritérií selhání, který rozdělíme dále na dvě podskupiny:
 - přístup založený na prevenci (definování nežádoucích událostí z neplnění funkcí nebo požadavků),
 - přístup založený na nápravných opatření (definuje se vzniklé selhání systému jako nežádoucí událost),
3. zjištění pravděpodobností a časové intervaly,
4. zjištění způsobů selhání prvků,
5. stanovení nežádoucích událostí zkoumaného systému jako výchozího bodu stromu poruch.

Úkolem těchto postupů je zjistit pravděpodobnost možných výskytů poruch systému a ukázat jejich možné následky, které by mohly být využity k hodnocení poškození nebo průběhu nehody při výskytu systémového výpadku. Riziko je tedy funkce jak pravděpodobnosti, tak z toho vyplývajících důsledků. Proto se při analýzách rizika průběžně zajímáme o dvě veličiny [3]:

- četnost výskytu,
- následky poruchy systému.

Tato metoda má využití především v rané fázi vývoje, konstrukce, plánování, výroby a managementu kvality.

3.5 Metoda Poka Yoke

Hlavním cílem této metody je zabránit neúmyslným lidským chybám s pomocí vhodných technických opatření ve výrobě [3].

Uplatnění této metody je především v oblasti konstrukce, plánování a výroby. Dále si uvedeme seznam chyb, který popisuje deset typických neúmyslných chyb [3]:

1. chybná obsluha - přetočení, použití jiných dílů nebo vzájemná záměna dílů,
2. zapomnětlivost - pokud se člověk nesoustředí, často něco zapomene,
3. chyba díky nepochopení - někdy vidí lidé zdánlivé řešení dříve, než se seznámí se situací,
4. chyba díky přehlédnutí - někdy lidé hledí příliš krátce, a nebo povrchně na to, aby pozorované dostatečně poznali,
5. chyba díky nezkušenosti - lidé občas dělají chyby, protože jim chybí zkušenosti,
6. nevědomá chyba - chyba vznikne, pokud jsou lidé nepozorní a pak sami nevědí, jak se to mohlo stát,
7. chyba díky pomalosti - někdy chyba vznikne, když jsou úkony neočekávaně brzděny, nebo zpomalovány,
8. chyba díky chybějícím standardům - někdy chyba vznikne, když jsou procesní nebo pracovní návody chybné, neúplné nebo nevhodné,
9. překvapivá chyba - někdy chyba vznikne, pokud chod probíhá jinak, než jak je očekáváno,
10. svévolné chyby - tyto chyby vznikají, pokud člověk úmyslně obejde jistá pravidla nebo předpisy.

Tento seznam slouží jako kontrolní seznam pro hledání možných příčin omylů. Některé chyby ze seznamu lze snadno odstranit pomocí pomůcek. Jako příklad lze uvést ták s prohlubněmi pro komponenty, který slouží jako vizuální pomůcka při zapomenutí vložení dílu nebo čidla, jež detekují špatnou polohu součástky. Zamezit chybám může i správná konstrukce, např. pokud konstrukce dovoluje vložit díl pouze jedním způsobem [5].

Postup metody Poka Yoke

1. Znázornění průběhu procesu, obsluhy,
2. identifikace chybných úkonů ohrožujících kroky procesu, obsluhy,
3. odhalení a volba alternativy k zamezení chybných úkonů,
4. stanovení řešení u koncepcie produktu, uspořádání, provozních prostředků, pracoviště a v posloupnosti operací,
5. přezkoušení řešení s ohledem na trvalou působnost.

Výsledkem této metody by měla být opatření k zamezení neúmyslných chyb [3].

Tato metoda je nejvíce využívána v oblasti vývoje, programování a v managementu kvality. Pokud chceme použít tuto metodu, je nutné si v přípravné fázi definovat pozorovaný systém s ohledem na rozsah, rozhraní a hloubku zkoumání. Je potřeba si shromáždit všechny potřebné podklady, které máme již k dispozici (náčrty, popisy, výkresy, ...)[3].

Aplikace této metody je rozdělena do deseti kroků:

1. zjištění vyslovených i nevyslovených požadavků zákazníka na systém (produkt, proces) vyjádřených v jeho řeči a posouzení charakteristik z pohledu zákazníka (stanovení priorit),
2. porovnání s nejdůležitějšími konkurenčními produkty,
3. zjištění a popis hlavních charakteristik produktu,
4. stanovení směrů optimalizace charakteristik produktu,
5. vytvoření a ohodnocení závislostí mezi požadavky zákazníka a charakteristikami produktu v matici vztahů,
6. stanovení vzájemných technických vztahů mezi jednotlivými charakteristikami produktu,
7. zhodnocení technických potíží při realizaci,
8. stanovení konkrétních cílů s cílovými hodnotami pro charakteristiky produktu,

9. porovnání produktu z inženýrského hlediska s konkurenčním produktem s cílem stanovení technického profilu produktu,
10. odhadnutí technického významu charakteristik produktu vynásobením váhy z pohledu zákazníka spolu s hodnocením v matici vztahů.

Po splnění všech popsaných kroků dostaneme komplexní matici vztahů, která převádí zákaznické požadavky na charakteristiky produktu a poskytuje hodnotový žebříček pro cíle a realizaci.

3.6 Metoda SPC

Tato SPC metoda (Statistical Process Control - statistické řízení procesu) sleduje řízení znaků produktu a procesu pomocí statistických metod a postupů. Předpokladem je způsobilý proces a výpočet regulačních mezí. SPC využijeme především v oblasti plánování a ve výrobě [3].

Proces se s pomocí statistických metod (regulační karta kvality) průběžně sleduje, hodnotí a řídí prostřednictvím vhodných nápravných opatření. Postup metody SPC je následující [3]:

1. definování nebo volba parametru rozhodujícího o kvalitě s jmenovitou hodnotou a tolerancemi,
2. volba hodnoty,
3. volba okamžiků a četnosti měření v procesu a rozsahu výběrů,
4. volba velikosti a průběhu měřeného parametru vede k zavedení nápravných opatření k regulaci procesu.

Výsledkem této metody je kvalitativně způsobilý produkt.

Obecně je statistické řízení realizováno pravidelnou a periodickou kontrolou regulované výstupní veličiny, při níž se zjišťuje, zda tato veličina odpovídá požadované úrovni. V první fázi je cílem minimalizace počtu neshodných jednotek např. počtu neshod. Po statisticky zvládnutém procesu a dosažení požadované úrovně nastává další fáze - udržování regulované veličiny a celého procesu na této úrovni tak, aby byla zajištěna shoda znaků jakosti produktu s požadavky zákazníka [6].

Statistické řízení procesu lze provádět pomocí dvou metod:

1. měřením,
2. srovnáváním.

Metoda měření zpracovává data získaná měřením sledovaného parametru, to znamená, že data mají číselnou podobu. Druhá metoda srovnáváním zpracovává data získaná srovnáváním nějakého hodnocení výstupu [6].

Z hlediska regulace výroby a schopnosti procesu existují tři typy výrobního procesu:

1. typ A (výrobní proces schopný regulace - stabilní),
2. typ B (výrobní proces schopný regulace - nestabilní),
3. typ C (výrobní proces neschopný regulace - nestabilní).

Naším hlavním cílem je samozřejmě vytvářet stabilní procesy, které jsou schopné regulace (typ A). V procesu typu B lze zabezpečit jakost pouze krátkodobě pomocí třídění součástí na dobré a vadné (což nás stojí čas a hlavně peníze), nebo pokud zjistíme příčinu vzniku vad a navrhne vhodná opatření. Nestabilní procesy typu C, které nelze v daném stavu regulovat, vyžadují energické řešení [6].

Ať už se jedná o jakoukoli metodu, vždycky nás bude zajímat finanční hledisko. Způsoby, jak měřit finanční náklady a přínosy uplatnění této metody, zahrnují [6]:

1. sběr informací o nákladech výrobce jako jsou náklady na sešrotování, třídění, přepracování a opravy,
2. sběr informací o nákladech odběratele v průběhu životnosti produktu,
3. odhady rozsahů obchodních ztrát a pracovních příležitostí, protože nespokojení zákazníci přecházejí ke konkurenci nebo odmítají platit příplatky za vyšší jakost, která není zřejmá,
4. kvantifikaci přínosů všech útvarů organizace z rychlého odstraňování poruch a větší potenciál pro inovaci procesu nebo produktu.

Vlivy ovlivňující výrobní proces

Rozptylové vlivy lze rozdělit do dvou skupin [6]:

1. náhodné rozptylové chyby,
2. systematické rozptylové chyby.

Náhodné rozptylové vlivy jsou závislé na náhodné interakci a variabilitě parametrů procesu jako jsou: výrobní nepřesnosti stroje, výrobní postup, upínací zařízení, nástroj, chladicí médium, materiál a tvar obrobku.

Systematické rozptylové vlivy se nevyskytují na rozdíl od náhodných vlivů v průběhu procesu. Při zjištění těchto vlivů v procesu musí být proces zastaven, tyto vlivy musí být odstraněny a poté může být proces obnoven. Tyto vlivy jsou přičítány zvláštním

účinkům například změnám, a proto mohou být identifikovány a odstraněny. Tyto vlivy mohou vznikat například seřizením nástroje, změnami na nástroji, změnami okolních vlivů, změnami jakosti materiálu nebo změnami chladicího prostředí.

Proces tedy lze hodnotit podle počtu eliminací systematických rozptylových vlivů. Pokud se eliminuje co nejvíce systematických vlivů proces se označí jako stabilní nebo systematicky zvládnutelný.

Schopnost procesu a jeho znaky

Pokud působí na výrobní proces pouze náhodné vlivy, lze jej charakterizovat dvěma parametry normálního rozdělení: σ a μ . První parametr je směrodatná odchylka, která vyjadřuje rozptýlení hodnot kontrolovaného parametru vzhledem ke střední hodnotě a charakterizuje přesnost výrobního procesu. Druhý parametr vyjadřuje střední hodnotu neboli rozměr, na který je výrobní zařízení seřizeno. Jako další parametry v metodě SPC se používají charakteristiky C_{pk} , C_p a variační rozpětí f_p [6].

Variační rozpětí by nemělo být větší než 75% tolerance výrobku u měřitelných znaků. Kde f_p se spočítá pomocí rovnice:

$$f_p = \frac{6 \cdot \sigma}{T} \cdot 100 [\%] \quad (3.1)$$

Kde T je tolerance a vypočítá se podle vzorce:

$$T = USL - LSL \quad (3.2)$$

Kde USL a LSL jsou horní a dolní mezní rozměry.

Dále je potřeba si uvést vztah mezi tolerancí a rozptýlením [7]:

$$1) \ 6 \cdot \sigma = 0,75T \rightarrow \frac{T}{6 \cdot \sigma} = \frac{1}{0,75} = 1,33 \quad (3.3)$$

$$2) \ 6 \cdot \sigma = 0,6T \rightarrow \frac{T}{6 \cdot \sigma} = \frac{1}{0,6} = 1,67 \quad (3.4)$$

$$3) \ 6 \cdot \sigma = T \rightarrow \frac{T}{6 \cdot \sigma} = 1 \quad (3.5)$$

Další parametr, o kterém jsme se v textu zmínili byl, C_p neboli charakteristika přesnosti procesu. Tento parametr se bere v úvahu pouze u rozptylu výrobního procesu a velikosti výrobní tolerance a počítá se pomocí rovnice [7]:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma} \quad (3.6)$$

Šířka pásma výrobního procesu by měla využívat výrobní toleranci asi ze 75%, což nám dává jistotu, že se mezní rozměry výrobku nepřekročí. Tato podmínka dává kvantitativní minimální hodnotu charakteristiky C_p 1,33 nebo 1,67.

Parametr C_{pk} (charakteristika správnosti nastavení) určuje polohu střední hodnoty vzhledem ke středu tolerančního pole. Tato charakteristika je schopná nám poskytnout informaci o procesu. V úvahu se bere kolísání výrobního procesu a poloha průměrné hodnoty rozdělení vzhledem ke specifikovaným omezením [7].

Výpočet C_{pk} nám ukazuje vzorec:

$$C_{pk} = \min \left[\frac{USL - \mu}{3 \cdot \sigma}, \frac{\mu - LSL}{3 \cdot \sigma} \right] \quad (3.7)$$

Výrobní proces je považován za stabilní, pokud $C_p \geq 1,33$ nebo $C_p \geq 1,67$ a $C_{pk} \geq 1,33$ nebo $C_{pk} \geq 1,67$. Pokud se nám tyto hodnoty zvětšují, znamená to, že se výrobní proces zlepšuje [7].

3.7 Metoda SWOT

Cílem metody SWOT (Strengths-Weaknesses/Opportunities-Threats - analýza silných a slabých stránek/příležitostí a hrozeb) je stanovení aktuálních pozic produktů a systémů (silných a slabých stránek/příležitostí a hrozeb) v prostředí trhu a v hospodářské soutěži. Oblast využití této metody je v rané fázi vývoje, konstrukce, plánování a managementu kvality [3].

Postup se provádí zápisem do tabulky, která je rozdělena do čtyř polí (silné stránky, slabé stránky, příležitosti a hrozby). Tabulka se vyplňuje podle následujících kroků [1]:

1. výběr systému k analýze (organizace, produkt, proces), systému ke srovnání (konkurence, předcházející produkt) a stanovení kritérií porovnání z různých témat a odborných oblastí,
2. vytvoření soupisu kritérií porovnání (charakteristiky) s hodnocením (formulace kritérií a charakteristik) a případně váhou kritérií (charakteristik),
3. znázornění výpovědi jako spektra nebo profilu, který obsahuje jak systém výsledků, tak systém vztahů,
4. odvození hlavních úkolů např. potřebu jednat.

Výsledkem metody je zhuštění vyjádřených existujících silných stránek a slabín s příležitostmi a riziky (jak by tabulka mohla vypadat, je uvedeno na obrázku 3.3).

SWOT analýza		Interní analýza	
		Silné stránky	Slabé stránky
Externí analýza	Příležitosti	sleduje nové možnosti, které jsou v souladu se silnými stránkami organizace	eliminuje slabé stránky a využívá nové možnosti
	Hrozby	využívá silné stránky k odvrácení hrozeb	vyvíjí obranu k tomu, aby se existující slabé stránky nenechaly ve finále postihnout hrozbami

Obrázek 3.3: Prvky analýzy SWOT [3]

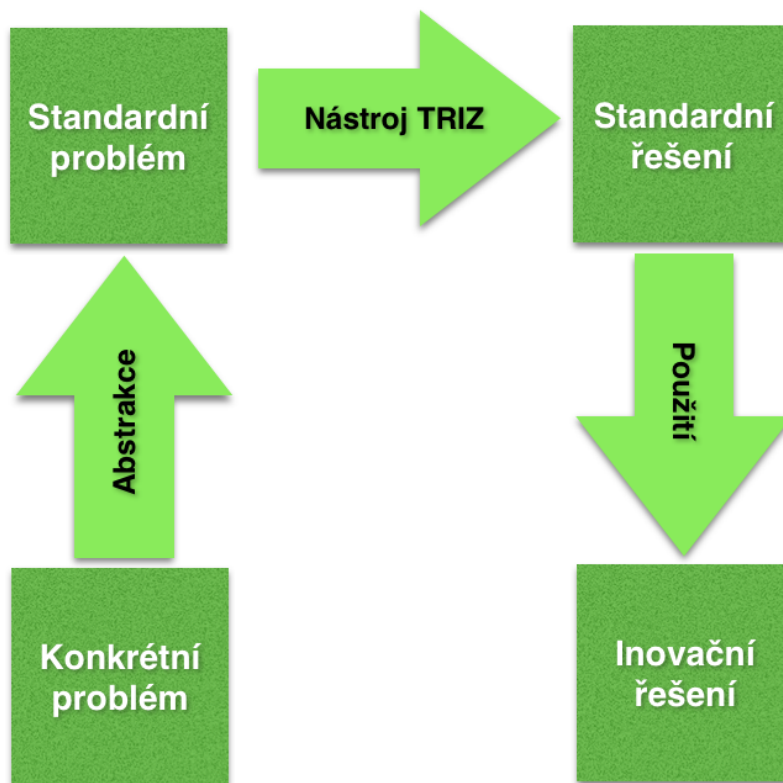
3.8 Metoda TRIZ/TIPS

Cílem metody TRIZ/TIPS (Teorija Resenija Izobretatelnyh Zadec Theorie of Intentional Problems Solving - teorie inovativního řešení problémů) je nalezení inovativních řešení a optimalizace stávajícího systému prostřednictvím cíleného definování úloh a vyvolávání protikladů. Metoda má využití v konstrukci, plánování a v managementu kvality [3].

Postup této metody si popíšeme v pěti krocích (viz obrázek 3.4):

1. popis výchozí situace se sledováním okolí k oddělení hlavních cílů s ohledem na společenské a technologické trendy,
2. analýza funkcí a odvozená funkční analýza systému za použití pozorování generací a zákonů evoluce techniky vyjadřuje současný stav,
3. vytvoření matice okruhu problémů z cílových faktorů a systémových parametrů k definování a identifikaci protikladů,
4. hledání řešení pomocí nástrojů kreativity za použití známých principů, efektů, standardů, zákonitostí,
5. prezentace možných řešení problémů a výběr optimálního řešení podle vhodných kritérií.

Výsledkem je řešení s vysokým stupněm inovativnosti a částečně také překvapivé výsledky.



Obrázek 3.4: Postup pro nasazení TRIZ při řešení problémů [3]

Tato metoda dále může být rozšířena o doplňkové nástroje:

- analýza prostřednictvím iniciačních slov,
- předvídání vad,
- matematický model.

Metoda lze realizovat i pomocí softwaru „Tri-Solver“ a „CIA“.

Kapitola 4

FMEA jako nástroj pro analýzu rizik

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis - analýza možného výskytu a vlivu vad) je analytickou metodou, která se používá s cílem zajistit zohlednění a řešení potenciálních problémů v průběhu vývoje produktu a procesu (obrázek 4.1). Podrobněji můžeme FMEA popsat jako systematickou skupinu aktivit, které jsou navrženy tak, aby [2]:

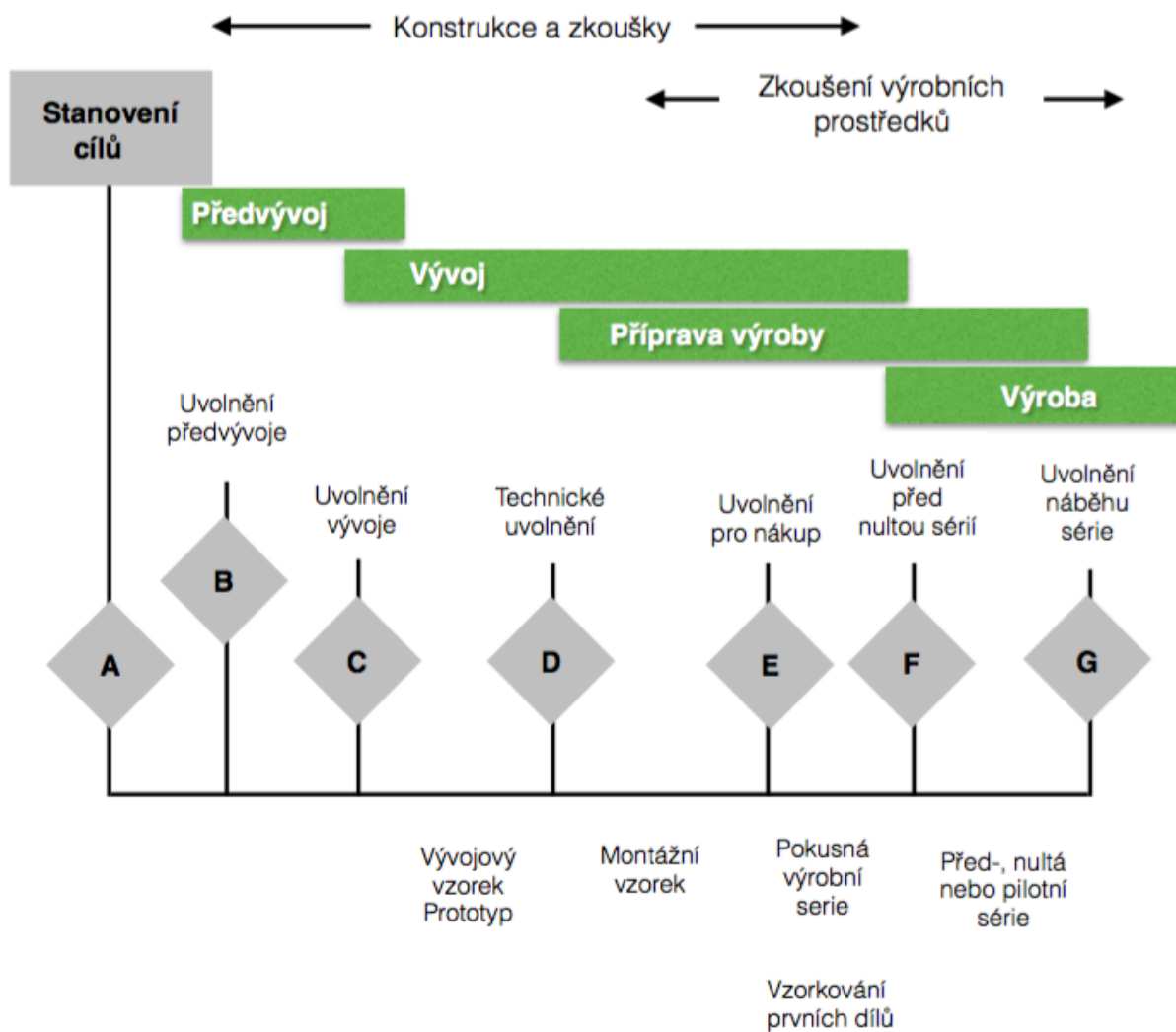
- rozpoznaly a vyhodnotily potenciální selhání produktu/procesu a identifikovaly možné důsledky a rizika,
- identifikovaly činnosti, které eliminují nebo redukují možnosti na potencionální výskyt rizika,
- splnily požadavky zákazníků.

Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA) je popsán v normě ČSN EN 60812, která je českou verzí evropské normy EN 60812:2006. Cílem této normy je popis analýzy způsobů a důsledků poruch FMEA a analýza způsobů a kritičnosti poruch (FMECA¹). Navíc tato norma obsahuje návod, jak se mohou tyto analýzy používat [8].

Použitím FMEA by se mělo zajistit, že se bude věnovat pozornost každému komponentu nebo prvku v rámci produktu nebo montážní sestavy. Aby mohla být realizace FMEA úspěšná, je potřeba ji provést před realizací produktu nebo procesu, u nichž existuje možný způsob poruchy. Tím si zajistíme čas na případné změny produktu nebo procesu, které budeme moci provést snadněji a levněji.

Opatření, které nám poskytuje FMEA, si zajistíme redukcí nebo eliminací pravděpodobnosti realizace změny. FMEA se v průběhu každé etapy procesu návrhu a vývoje výroby vyvíjí a je možné ji také použít pro řešení problémů. Výsledkem FMEA by měl být dokument, který obsahuje kolektivní znalosti průřezových týmů [2].

¹FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) analyzuje způsoby, důsledky a kritičnosti poruch a je rozšířením analýzy FMEA. FMECA spočívá v tom, že jsou do ní zahrnuty prostředky pro klasifikaci závažnosti způsobů poruch, aby bylo možné stanovit prioritu protiopatření. Tato klasifikace se provádí kombinováním míry závažnosti a četnosti výskytu, což vytváří metriku (relativní míru) zvanou kritičnost.



Obrázek 4.1: Plán průběhu projektu vozu s vývojovými fázemi [3]

Hlavním účel FMEA je:

- zlepšování kvality a spolehlivosti produktu/procesu,
- snížit náklady na změny procesu/produktu,
- redukovat riziko,
- vyhovět požadavkům zákazníků.

Existují tři základní případy, ve kterých by se měl postup FMEA používat:

1. při návrhu nového produktu nebo procesu,
2. při modifikaci stávajícího návrhu produktu nebo procesu,
3. při použití stávajícího návrhu produktu nebo procesu v novém prostředí nebo pro novou aplikaci.

FMEA je víceoborovou činností, která ovlivňuje celý proces realizace produktu a její realizace musí být dobře naplánována. Jak již bylo řečeno, je potřeba dodržet termíny a počítat s tím, že realizace vyžaduje hodně času. Dále nesmíme zapomenout na angažovanost vlastníka procesu a vrcholového vedení. FMEA nelze považovat za jednorázovou událost, ale za dlouhodobé pracovní nasazení, které doplňuje vývoj produktu nebo procesu a zmírňuje rizika [2].

FMEA je nedílnou součástí procesu pokročilého plánování kvality APQP - Advanced Product Quality Planning. Tento pokročilý proces (APQP) se zaměřuje na pět obecných oblastí, především na [3]:

1. plánování a definování programu,
2. návrh a vývoj produktu,
3. návrh a vývoj procesu,
4. zpětná vazba, posuzování a opatření k nápravě,
5. validace produktu a procesu.

Dodavatel tedy od zákazníka dostane podrobný popis požadavků na konkrétní produkt, poté společně projednávají proveditelnost plnění jednotlivých požadavků. Po schválení se vybrané týmy postarají o návrhy a vývoje produktu a následně procesu. Tým se především zaměří na kritické znaky u jednotlivých funkcí a navrhne opatření na snížení rizika u těchto kritických znaků. Jako zpětná vazba slouží číslo RPZ, podle kterého zjistíme, zda navržené opatření dostatečně snižuje riziko výskytu chyby na produktu/procesu. Nakonec se provede ověření, zda dodavatel splnit všechny požadavky zákazníka [2].

4.1 Strategie a plánování FMEA

Dříve než se pustíme do samotné realizace FMEA, je třeba si definovat tým, předmět projektu a shromáždit veškeré informace, které budeme potřebovat pro efektivní a účinný proces vypracování FMEA. Je třeba si uvědomit, že neexistuje jediný ani jedinečný postup pro vypracování FMEA, existují však společné prvky [2]. Na těchto společných prvcích budeme stavět náš konkrétní proces FMEA a zdůrazníme si i prvky, které navíc využívá společnost WITTE Nejdek.

Za vypracování FMEA odpovídá víceoborový tým, který zajistí vstupy ze všech funkčních oblastí a jejich součinnost. Vedoucí týmu by tedy měl volit členy s příslušnými znalostmi, aby bylo možné realizovat FMEA, která bude úspěšná. Dále je v týmu FMEA moderátor, který zajišťuje efektivní a metodický průběh použité metody. Jeho úlohou je příprava použití metody, ustanovení týmu po dohodě s vedoucím projektu, organizace a realizace setkávání týmu, zajištění systematiky a dokumentování aplikace metody. FMEA moderátor musí ovládat použité pomocné prostředky (ve firmě WITTE Nejdek je především využíván software SCIO-FMEA). V každém týmu FMEA by měl být zástupce z vývoje, kvality, výroby, technologie a logistiky.

Dále je třeba si přesně vymezit hranice analýzy FMEA, tj. definovat předmět, stanovit si, co bude zahrnuto a co bude vynecháno v:

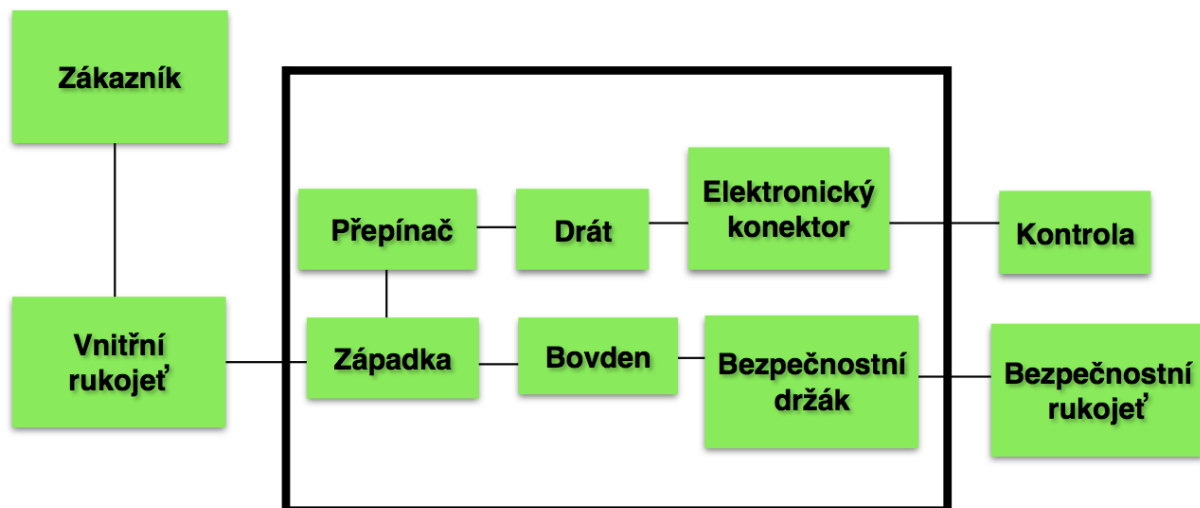
- FMEA systému,
- FMEA subsystému,
- FMEA komponentu.

Záměrem **FMEA systému** je vyřešit všechna rozhraní a interakce mezi systémy, subsystémy, prostředím a zákazníkem [2].

FMEA subsystému je dílčím souborem FMEA systému. Příkladem subsystému je subsystém zavěšení přední nápravy, který je dílčím souborem systému podvozku. Záměrem FMEA subsystému je vyřešit všechna rozhraní a interakce mezi komponenty subsystému a interakce s ostatními subsystémy nebo systémy [2].

FMEA komponentu je dílčím souborem FMEA subsystému. Například brzdová destička je komponentem sestavy brzdné soustavy, která je subsystémem systému podvozku [2].

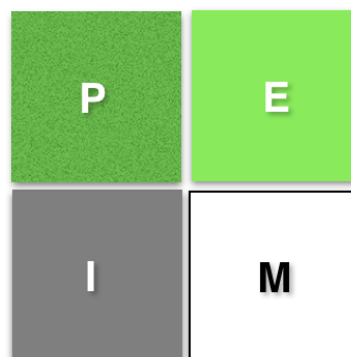
Dále je třeba si uvědomit, co se bude hodnotit v rámci FMEA. Předmět musí být stanoven na začátku postupu a následně se vymezí hranice analýzy FMEA. Pokud máme například složitější komponent, můžeme si jeho jednotlivé části rozdělit a každou tuto část zpracovávat odděleně. Je potřeba vymezit hranice, aby se jednotlivé FMEA nepřekrývaly, nebo aby se na nějakou část soustavy nezapomnělo. K tomuto účelu společnost WITTE Nejdek používá tzv. **blokové diagramy vztahů (Boundary diagram)**. Blokový diagram zobrazuje fyzikální a logické komponenty produktu (viz obrázek 4.2).



Obrázek 4.2: Zjednodušené schéma Boundary diagramu pro zámek

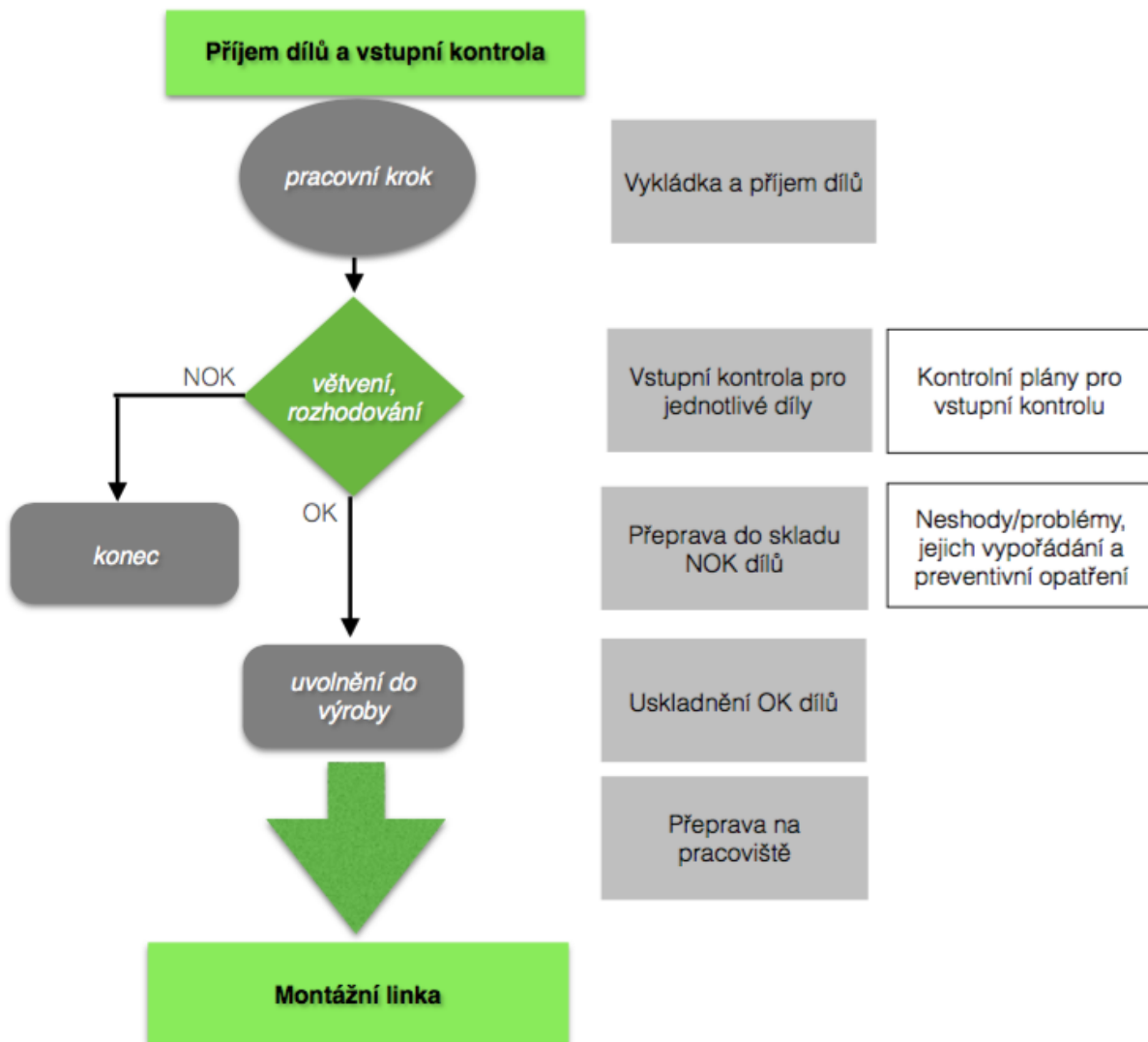
Proces nebo produkt nelze definovat jen pomocí Boundary diagramu, proto se tým FMEA dále zaměřuje na [2]:

- funkční model,
- diagramy parametrů (P),
- diagramy rozhraní,
- vývojové diagramy procesu (Process Flow Diagram),
- matice vzájemných vztahů (Interface Description (viz obrázek 4.3)),
- základní schéma,
- rozpisky materiálů (BOM).



Obrázek 4.3: Matice vzájemných vztahů (kde **P** je fyzický kontakt, **E** je přenos energie, **I** je přenos informace a **M** je materiálová výměna)

Funkční model si můžeme vyrobit třeba na 3D tiskárně, abychom zjistili, zda všechno funguje, tak jak má. Diagramy parametrů je strukturovaný nástroj, jehož pomocí tým dokáže porozumět fyzikální podstatě vztahující se k funkci návrhu produktu. Systém diagramy rozhraní ilustruje vztah mezi subsystemy, sestavami a komponenty v rámci celého objektu. Vývojový diagram procesu popisuje tok produktu procesem od vstupu až po výstup (počáteční vývojový diagram je obecně považován za rámcovou mapu procesu, která vyžaduje podrobnější analýzu pro identifikování možných způsobů poruch viz obrázek 4.4).



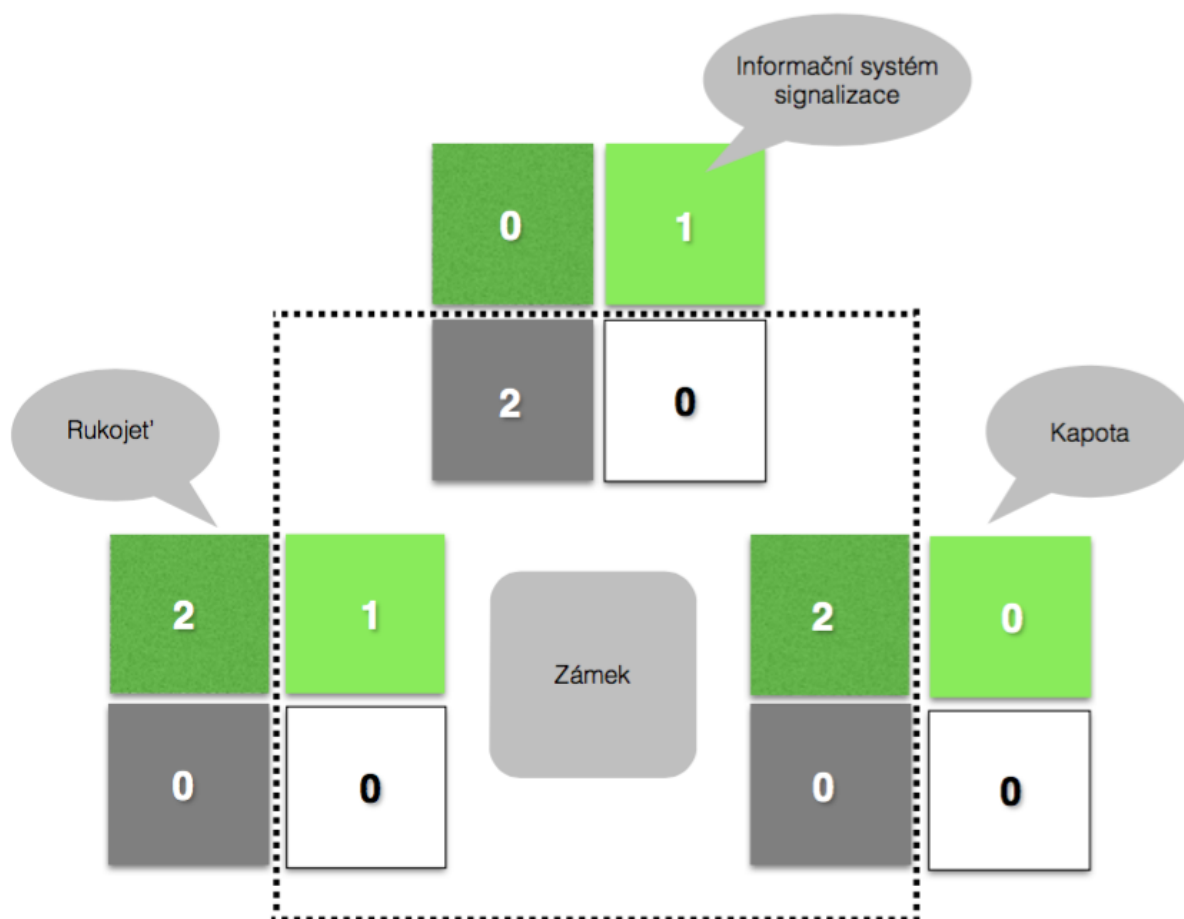
Obrázek 4.4: Vývojový diagram pro příjem zboží

Matice vzájemných vztahů identifikuje systémové rozhraní, účinky rozhraní a rozhraní systému. Pomocí těchto rozhraní ilustruje vztah mezi komponentami v rámci objektu, které je dáno číslem od -2 do +2. Jednotlivé vztahy lze tedy „dekódovat“ takto [9]:

- +2: interakce je nezbytná pro funkci,
- +1: interakce je výhodná, ale není nezbytně nutná pro funkci,

- **0**: interakce nemá vliv na funkci,
- **-1**: interakce vyvolává negativní účinek, ale nebrání funkci,
- **-2**: interakce vyvolává negativní účinek a je zabráněno funkci.

Jako příklad zde uvedu matici vzájemných vztahů pro zámek kapoty (obrázek 4.5).



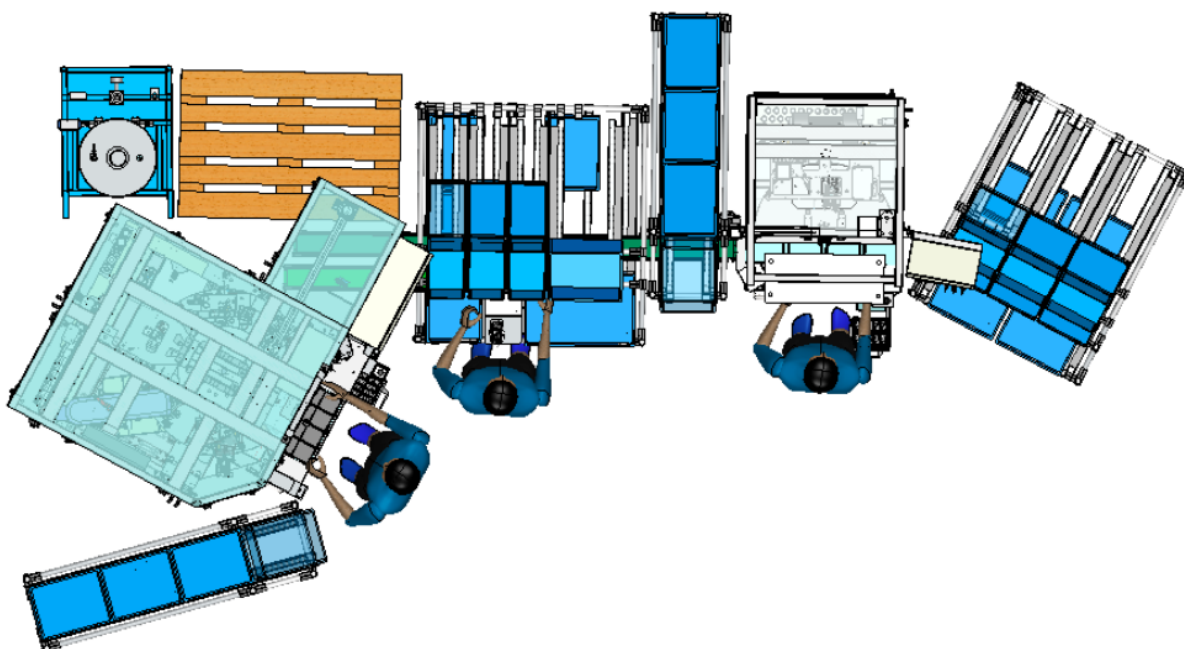
Obrázek 4.5: Matice vzájemných vztahů pro zámek ke kapotě

Základní schémata mohou být tři: výrobu, konstrukce nebo layoutu (základní schéma layoutu je uvedeno na obrázku 4.6 a znázorňuje rozvržení linky při montování výrobku).

Rozpisky materiálů jsou ukládány do tabulky, která slouží jako přehled všech použitých materiálů. Konkrétně pro zámek ke kapotě jsou materiály následující:

- základní plech,
- krycí plech,
- rohátka,
- pouzdro,
- zámek,

- vyhadzovací páka,
- distanční trubka,
- nýt rohátky,
- nýt zámku,
- pružina rohátky,
- pružina zámku,
- tažná pružina,
- pryžová vložka.



Obrázek 4.6: Základní schéma layoutu

Před zpracováním FMEA je potřeba si definovat zákazníky. Pokud totiž budeme mít jasně definovány všechny zákazníky, můžeme specifikovat funkce mnohem důkladněji a také podpořit určování důsledků souvisejících s poruchami. Literatura [2] uvádí, že zákazníci se dělí do čtyř skupin:

1. konečný uživatel (organizace, která bude daný produkt využívat),
2. montážní a výrobní centra (pracoviště, kde se provádějí výrobní operace a montáž),
3. zpracování v rámci dodavatelského řetězce (pracoviště dodavatele),

4. kompetentní orgány (orgány státní správy, které definují požadavky na bezpečnost a jiné předpisy).

Společnosti WITTE Nejde si však zákazníci dělí do šesti skupin. První 4 zákazníci jsou stejní jako v literatuře, další dvě skupiny jsou:

1. zaměstnanci WITTE,
2. investoři WITTE.

Je nutné poznamenat, že FMEA se nemusí dělat pro všechny skupiny zákazníků.

Tímto tento proces samozřejmě stále nekončí. Dále musíme identifikovat funkce, požadavky, specifikace, způsoby poruchy, možné důsledky a příčiny, nástroje řízení, posuzovaná rizika a v neposlední řadě se zaměříme na doporučená opatření a výsledky [2].

Identifikovat funkce, požadavky a specifikace je důležité pro vyjasnění záměru návrhu objektu, nebo pro účel procesu. Zákazník si musí být jist, že dostane přesně to, co zaplatil a dodavatel chce, aby byl zákazník maximálně spokojen. Proto zákazník posílá dodavateli dokument, ve kterém jsou obsaženy všechny podrobné informace o požadavcích na produkt [2].

Způsob poruchy je dodefinován jako postup nebo forma, při kterých by produkt nebo proces mohl selhat při plnění záměru návrhu produktu nebo požadavků procesu. Tato porucha se vyskytnout může, ale nemusí. Ke každé poruše je nutné napsat stručný a srozumitelný komentář (popis poruchy). Pokud se nám objeví velký počet způsobů poruch spojených s jedním požadavkem, může to být důsledek toho, že definovaný požadavek není přesný a výstižný [2].

Možné důsledky poruch jsou označeny jako důsledky způsobu poruchy, jak je vnímá zákazník. Důsledky nebo dopad poruchy jsou popsány tak, jak by je zákazník mohl postřehnout nebo pocítit. Možná příčina poruchy je náznakem toho, jak by k poruše mohlo dojít. Je popsána jako něco, co lze napravit nebo řídit. Možná příčina poruchy může poukazovat na slabou stránku produktu, jejímž následkem je způsob poruchy [2].

Nástroje řízení jsou činnosti, které zabraňují příčině a odhalují příčinu poruchy i způsob poruchy. Při vypracování nástrojů řízení rizik je důležité identifikovat, kde vzniká problém, jak by se problému mohlo zabránit nebo jak by se riziko poruchy mohlo odhalit. Nástroje řízení jsou použitelné u návrhu produktu i u výrobních procesů [2].

Posuzování rizik se hodnotí z hlediska:

- závažnosti,
- výskytu,
- detekce.

Závažnost posuzuje úroveň dopadu poruchy na zákazníka, výskyt určuje, jak často se může příčina vyskytnout a detekce je posuzování, jak dobře nástroje řízení produktu či procesu zjistí příčinu poruchy nebo způsob poruchy [2].

Záměrem doporučených opatření je zmírnit riziko a snížit pravděpodobnost výskytu určitého způsobu poruchy. Doporučená opatření řeší snižování závažnosti, výskytu a detekce. Pro přijetí odpovídajících opatření lze mimo jiné použít:

- ujištění, že jsou dosaženy požadavky návrhu produktu včetně bezporuchovosti,
- přezkoumání technických výkresů a specifikací,
- potvrzení začlenění do procesu/montáže výroby,
- přezkoumání souvisejících FMEA, plánů kontroly a řízení provozních instrukcí.

Pokud jsou opatření splněna a výsledky jsou zachyceny, měla by se rovněž zaznamenat aktualizovaná hodnocení závažnosti, výskytu a detekce.

4.1.1 Stanovení intenzity poruch

Jestliže jsou k dispozici intenzity poruch u způsobů poruch podobných objektů a tyto intenzity byly stanoveny za obdobných podmínek namáhání, vlivu prostředí a provozu jako jsou podmínky předpokládané u analyzovaného systému, mohou být četnosti událostí důsledků přímo přidány k analýze FMECA. Jestliže, a to je častější případ, jsou k dispozici intenzity poruch spíše pro objekty než pro způsoby poruch a jsou pro odlišné podmínky namáhání vlivy prostředí a provozu, je zapotřebí intenzity poruch způsobů poruch vypočítat. Obecně platí následující vztah [8]:

$$\lambda_i = \lambda_j \cdot \alpha_i \cdot \beta_i \quad (4.1)$$

Kde λ_i označuje odhad intenzity poruch pro způsoby poruch i (pokud je tato intenzita poruch konstantní), λ_j znamená intenzitu poruch součásti j , α_i je podíl poruch i ze všech způsobů poruch (tj. pravděpodobnost, že bude objekt mít způsob poruchy i), β_i je podmíněná pravděpodobnost důsledků poruch v případě, že má objekt způsob poruchy i [8].

Hlavní nedostatky tohoto přístupu spočívají v implicitním předpokladu konstantní intenzity poruch a ve skutečnosti, že mnohé faktory jsou pouze předpovědi nebo nejlepší odhady.

V některých aplikacích, jako je kvantitativní přístup k analýze kritičnosti, se místo intenzity poruch λ_i používá číslo kritičnosti C_i . Číslo kritičnosti vytváří vazbu mezi podmíněnou četností poruch a dobou provozu, což může pomoci získat realističtější odhad rizika způsobu poruch během předem stanoveného období používání produktu. Výpočet tohoto čísla kritičnosti je následující [8]:

$$C_i = \lambda_i \cdot t_j \quad (4.2)$$

Kde t_j označuje dobu provozu součásti během celé předem stanovené doby pro analýzu FMECA. Dobu, pro kterou se tato pravděpodobnost vyhodnocuje.

Číslo kritičnosti součásti, které má m způsobů poruch, určuje vzorec:

$$C_j = \sum_{i=1}^m \lambda_j \cdot \alpha_i \cdot \beta_i \cdot t_j \quad (4.3)$$

Ke stanovení pravděpodobnosti výskytu P_i způsobu poruch za dobu t_j z vypočtené kritičnosti se používá vztah:

$$P_i = 1 - e^{-c_i} \quad (4.4)$$

V případě proměnných intenzit poruch nebo četností poruch je vhodnější výpočet pravděpodobnosti výskytu než kritičnost, která je založena na předpokladu konstantní intenzity poruch (četností) [8].

Matice kritičnosti

Kritičnost lze vyčíst v matici kritičnosti, jak je zobrazeno na obrázku 4.7. Z obrázku matice kritičnosti vyplývá, že závažnost se zvyšuje s rostoucím pořadovým číslem. Číslo IV má nejvyšší závažnost (ztrátu lidského života, narušení plnění úkolu, provozu). Rovněž z matice vyplývá, že se pravděpodobnost výskytu na ose Y zvyšuje. Jestliže nejvyšší pravděpodobnost dané kategorie výskytu nepřekračuje hodnotu 0,2, jsou si hodnoty pravděpodobnosti výskytu a kritičnosti přibližně rovny. Jedna z matic, které se často používají, má následující stupnici [8]:

- číslo kritičnosti 1 nebo E = nepravděpodobný výskyt, pravděpodobnost výskytu:
 $0 \leq P_i < 0,0001$
- číslo kritičnosti 2 nebo D = velmi slabý výskyt, pravděpodobnost výskytu:
 $0,001 \leq P_i < 0,01$
- číslo kritičnosti 3 nebo C = občasný výskyt, pravděpodobnost výskytu:
 $0,01 \leq P_i < 0,1$
- číslo kritičnosti 4 nebo B = pravděpodobný výskyt, pravděpodobnost výskytu:
 $0,1 \leq P_i < 0,2$
- číslo kritičnosti 5 nebo a = častý výskyt, pravděpodobnost výskytu:
 $P_i < 0,2$

V případě uvedeném na obrázku matice kritičnosti (obrázek 4.7) má způsob poruchy 1 vyšší pravděpodobnost výskytu než způsob poruchy 2, který má naopak vyšší závažnost. Rozhodování o způsobu poruchy závisí na způsobu stanovení stupnice závažnosti, tříd četnosti a také na principech klasifikace [8].

Klasifikace pravděpodobnosti výskytu	5 (A)				Vysoké riziko
	4 (B)		Způsob poruchy 1		
	3 (C)				
	2 (D)			Způsob poruchy 2	
	1 (E)	Nízké riziko			
			I	II	III
Závažnost					

Obrázek 4.7: Matice kritičnosti

Posouzení přijatelnosti rizika

Když je požadovaným koncovým produktem analýza matice kritičnosti, lze ji vyhodnotit na základě přidělených limitů závažností a četností události. Přijatelnost rizika se stanovuje subjektivně nebo se řídí profesionálními a finančními rozhodnutími. Je však odlišná v různých odvětvích průmyslu. Na obrázku 4.8 jsou uvedeny některé příklady tříd přijatelnosti rizika a modifikované matice kritičnosti [8].

Četnost výskytu důsledků poruchy	Úrovně závažnosti			
	1 Nevýznamná	2 Okrajová	3 Kritická	4 Katastrofická
5: Četný výskyt	Nežádoucí	Nepřípustné	Nepřípustné	Nepřípustné
4: Pravděpodobný výskyt	Přípustné	Nežádoucí	Nepřípustné	Nepřípustné
3: Občasný výskyt	Přípustné	Nežádoucí	Nežádoucí	Nepřípustné
2: Velice slabý výskyt	Zanedbatelné	Přípustné	Nežádoucí	Nežádoucí
1: Nepravděpodobný výskyt	Zanedbatelné	Zanedbatelné	Přípustné	Přípustné

Obrázek 4.8: Matice rizika

4.2 Realizace FMEA

Metoda FMEA se ve WITTE Nejdek používá již dlouho. Proto na každý nový projekt není potřeba vytvářet nové tabulky, ale lze využít již vytvořené šablony. Tyto šablony nám zajistí, že se na žádnou část nezapomene a každý zaměstnanec se bude snadno orientovat v daných tabulkách (společnost WITTE Nejdek pro vytváření FMEA tabulek využívá software od společnosti PLATO).

Na začátku nového projektu se vyplní následující šablona (viz obrázek 4.9), která nám hned v úvodu dokumentu sdělí název objektu, objekt, projekt, kdo projekt upravuje, pro jakého zákazníka se projekt realizuje, kdo je zodpovědný pracovník, jaké oddělení zodpovídá za projekt, jaká oddělení se na projektu podílí, kdy se naposledy dokument upravoval, o jaký typ FMEA se jedná (konstrukce/proces), v jakém statusu FMEA je (uvolněna případně pozastavena), kteří zaměstnanci jsou v základním týmu a nakonec je kolonka komentářů kam se zapisuje datum a aktualizace dokumentu.

Název objektu			Zákazník		
Objekt	Projekt	Upravil	Upravil dne	Typ	Status
Zodpovědný spolupracovník	Zodpovědné oddělení	Dotčená oddělení		Základní typ	
Komentáře					

Obrázek 4.9: Šablona pro projekt FMEA

Když už víme, o jaký produkt se jedná, kdo je zodpovědný za zpracování FMEA a atd, je potřeba se zaměřit na důležitější část, a to na funkce a požadavky.

Pro názornost uvedeme příklad vypracování FMEA u zámku auta. **Hlavní funkcí** zámku je, aby byl schopen odemknout a zamknout zámek kapoty. Za **požadavky** lze považovat vzhled, odolnost vůči korozi či chemickým vlivům. Zákazníka jistě bude dále zajímat, jaký hluk bude způsobovat zámek při otvírání/zavírání, jak je zabezpečen proti vandalismu a jak dlouho dokáže vzdorovat hrubé síle při krádeži. Je třeba si také vyjasnit místo, kde se bude daný díl/součástka montovat (zda u zákazníka nebo rovnou u dodavatele) a jaký bude způsob dopravy k zákazníkovi (toto je důležité u nadměrného nebo těžkého zboží).

Specifikací produktu bude například požadavek na maximální sílu, která má být použita, aby se zámek otevřel nebo zavřel. Dále pevnost, která je testována v různých

směrech. Jako specifikace lze brát různé zkoušky: zkouška na vlhkost, stárnutí, vysoké/nízké teploty. Tyto tři položky: funkce, požadavky, specifikace jsou zapsány v jedné tabulce (viz obrázek 4.10). Na obrázku jsou zobrazeny pouze základní informace, tyto data jsou ve skutečnosti daleko rozsáhlejší.

Funkce	Specifikace
odemknout kapotu	maximální síla pro otevření 30N
zamknout kapotu	kapota se sama zavře pokud je spuštěna ze vzdálenosti od 250mm do 300mm
Požadavky na:	
vzhled	většinou definováno pomocí obrázku/modelu
sílu	pevnost na zámek ve směru z $\geq 1000N$
korozi	definice podle norem
vlhkost	testovací cyklus, po tomto cyklu musí zámek zůstat funkční a nesmí se na něm projevit žádné viditelné změny při mytí exteriéru a motoru nesmí dojít k poškození zámku
klimatickou odolnost	testovací cyklus, po tomto testování musí zámek zůstat funkční a nesmí se na něm projevit žádné viditelné změny
chemickou odolnost	barva zámku se nesmí vlivem chemických změn změnit
hluk	při zavírání/otvírání nesmí způsobovat žádné skřípání
hořlavost	definice podle norem
chvění	definice podle norem
odolnost proti vandalismu	testovací cyklus, zámek musí odolat vandalismu $\geq 30s$
odolnost proti krádeži	testovací cyklus, zámek musí být odolný proti krádeži $\geq 30s$
dopravu	při převozu se nesmí zámek poškodit
montáž	u dodavatele, pomocí bezolovnaté pájky

Obrázek 4.10: Funkce produktu, specifikace a požadavky na FMEA

Aby bylo možné předcházet všem různým poruchám, je třeba sepsat všechny příčiny, jejich následky, posoudit rizika, zrealizovat jejich opatření (aktuální opatření, doporučená opatření) a uvést výsledky (přijatá opatření a v jakém jsou stavu). Z důvodu přesnosti, zapisují se tato data do tabulky, která navíc obsahuje sloupce **B** (závažnost důsledků), **klasifikace** (značení potenciálních kritických znaků, detailněji v následující kapitole), **A** (četnost výskytu závad), **E** (pravděpodobnost odhalení), **RPZ** (rizikové číslo), **vyřídícím a termínem**.

4.2.1 Metoda FMEA produktu

Analýza příčin a následků při návrhu produktu je označována jako DFMEA, tj. FMEA návrhu produktu. Podporuje proces návrhu produktu zmírňováním rizik tím, že [2]:

- napomáhá při hodnocení cílů návrhu produktu včetně požadavků na funkce a zkoumáním alternativ návrhu produktu,
- hodnotí počáteční návrh produktu z hlediska požadavků na výrobu a montáž,
- zvyšuje pravděpodobnost, že způsoby možné poruchy a jejich důsledky s ohledem na systém a provoz vozidla jsou zohledněny v procesu návrhu,
- poskytuje doplňující informace, které napomáhají při plánování detailních a účinných programů návrhu produktu,
- vytváří struktury otevřených otázek pro doporučování a sledování opatření zmírňujících riziko,
- poskytuje budoucí odkaz pro řešení provozních záležitostí, hodnocení změn návrhu produktu a pro vypracování pokročilých návrhů produktů.

DFMEA je brán jako živý dokument a jeho vypracování by mělo být zahájeno před dokončením koncepce návrhu produktu. Tento dokument musí být vždy platný, proto by měl být průběžně aktualizován. DFMEA dokument by měl být dokončen před uvolněním sériové výroby a měl by sloužit jako zdroj pro budoucí návrhy [2].

Návrh produktu se snaží zajistit důsledné zkoumání návrhu produktu s cílem již v etapě návrhu odhalit nedostatky, které by předpokládaný návrh mohl mít. Ještě před jeho schválením pak realizovat opatření, která by tyto nedostatky odstranila.

Analýza a hodnocení současného stavu

Na začátku se odpovědný pracovník podrobně seznámí [10]:

- s požadavky zákazníka,
- s navrhovaným řešením,
- s jednotlivými komponenty produktu,
- se základními charakteristikami,
- s funkcemi produktu.

Poté se produkt systematicky rozčlení na jednotlivé součásti a postupně se provádí vlastní analýza. Aby byla FMEA co nejúčinnější, je potřeba co nejsvědomitěji vyplnit následující tabulku (viz obrázky 4.11 a 4.12) a pokusit se napsat všechny funkce, které má daný produkt mít, a postupně doplňovat další údaje v tabulce. Což znamená ke každé funkci vypsát všechny chyby, které by mohly u produktu nastat. Následně odvodíme, jaký dopad bude mít porucha na zákazníka. Dále je nutné zjistit četnost projevení závad a pravděpodobnost odhalitelnosti.

Funkce	Pot. chyba	Pot. následek	B	Klasifikace	Příčina	A	Aktuální opatření	E	RPZ
Otevření zámku kapoty	zablokuje se rohátka	ztráta funkce, nelze otevřít kapotu	8	YS	uchycení obštíku rohátky-obštíku nedrží ve správné pozici	8	D:DV - netestováno D: PV funkce otevírací síla	8	512

Obrázek 4.11: Příklad konstrukční FMEA 1. část

Dop. opatření	Vyřídít kým & termín	Výsledek přijatých opatření					
		Přijaté opatření	B	A	E	RPZ	Stav
P: prověřit možnost otestování v DV fázi	Jméno Datum	P: lze otestovat v DV fázi	8	2	2	32	Uzavřeno
P: DV zkouška potvrdila odstávání - doplnění podepření a otestování, změna materiálu	Jméno Datum	P: DV zkouška potvrdila odstávání - doplnění, podepření a otestování					Uzavřeno
P: změna konstrukce - změna z klipu na standardní obštíku	Jméno Datum	P: změna konstrukce - změna z klipu na standardní obštíku					Uzavřeno
P: přezkoumání znaku	Jméno Datum	P: znak nepotvrzen - obštíkováný díl					Uzavřeno

Obrázek 4.12: Příklad konstrukční FMEA 2. část

Stanovení rizik produktu

Jak již bylo zmíněno, k ověření vhodnosti navrhovaného řešení před uvolněním do realizační fáze se posuzují tři dílčí kritéria, která se následně hodnotí známkou:

- závažnost důsledků (4.13),
- očekávaný výskyt závady (4.14),
- odhalitelnost vady (4.15).

Tato kritéria již nespádají do analýzy rizik, ale do hodnocení rizika. Hodnocení rizik je proces, při kterém se utváří úsudek o přijatelnosti rizika na základě analýzy rizika, a při kterém se berou v úvahu faktory, jako jsou sociálně-ekonomická hlediska a hlediska vlivu na životní prostředí. Hodnocení těchto kritérií se provádí na bodové stupnici od 1 do 10 bodů.

V praxi tedy máme následující postup. Nejprve určíme příčiny vady neboli technické možnosti vzniku vady, a potom z nich odvozujeme odhad četnosti vad. Při hodnocení výskytu se berou v úvahu používaná preventivní opatření. Pokud je odhalitelnost vady či příčiny vysoká, je bodové hodnocení nízké, ale pokud vadu nelze odhalit, je bodové hodnocení vysoké.

Po stanovení všech tří bodových hodnocení se pro každou možnou vadu, která je vyvolána určitou příčinou, vypočítává integrované kritérium tzv. rizikové číslo (na obrázcích značeno jako RPN). Toto číslo představuje součin příslušných bodových hodnocení jednotlivých kritérií a jeho hodnoty se mohou pohybovat v rozmezí od 1 do 1000 [2]:

$$\text{rizikové číslo} = \text{význam} \times \text{výskyt} \times \text{odhalitelnost} \quad (4.5)$$

Po provedeném hodnocení a stanovení rizikových čísel následuje vyčlenění skupiny těchto možných vad, jejichž riziková čísla jsou příliš vysoká a bude u nich nutné navrhnout opatření ke snížení rizika [2]. Jak tedy stanovit, u kterých funkcí se bude navrhnout opatření? Snížení rizika bude nutné zvláště ve dvou případech. První případ se objeví při zobrazení kritického znaku ve FMEA (viz níže). A druhý případ nám vyplyne při použití Paretovy analýzy.

Pro hodnocení závažnosti rizika se používají tzv. potencionální zvláštní znaky (PZZ) (viz obrázek 4.11, sloupec **klasifikace**). Množství a třídění takových znaků je věcí konkrétní organizace. Metodika WITTE používá tyto dva znaky (obrázek 4.16):

- YS,
- YC.

Kategorie	Kritéria závažnosti důsledku	Známka
Bezpečnost a zákonné požadavky	Velmi vysoké hodnocení závažnosti, když možný způsob závady ohrožuje bezpečný provoz vozidla a/nebo znamená nesplnění závazného předpisu bez výstrady.	10
	Velmi vysoké hodnocení závažnosti, když možný způsob závady ohrožuje bezpečný provoz vozidla a/nebo znamená nesplnění závazného předpisu s výstrahou.	9
Základní funkce Závažný	Ztráta základní funkce - neovlivní ale bezpečné provozování vozidla.	8
	Vozidlo/prvek funguje, ale úroveň funkce je snižena.	7
Sekundární funkce	Ztráta sekundární funkce vozidlo/prvek funguje, ale položky podmiňující komfort/pohodlí nefungují.	6
Ovlivňující komfort	Vozidlo/prvek funguje, ale položky podmiňující komfort/pohodlí fungují se sníženým výkonem. Nespokojený zákazník.	5
Obtěžuje, ruší	Vzhled nebo hluk, vozidlo pojízdné, vady si všimne většina zákazníků (> 75%).	4
	Vzhled nebo hluk, vozidlo pojízdné, vady si všimne hodně zákazníků (50%).	3
	Vzhled nebo hluk, vozidlo pojízdné, vady si všimnou jen velmi nároční zákazníci (< 25%).	2
Bez efektu	Žádný znatelný důsledek.	1

Obrázek 4.13: Konstrukční FMEA (návrh kritérií K-FMEA pro vyhodnocení závažnosti důsledků)

Podle vybrané metodiky můžeme konstatovat, jaká jsou kritéria výběru YS a YC potenciálních zvláštních znaků. Pokud si zvolíme metodiku WITTE, bude se PZZ vyskytovat při hodnocení závažnosti od 7 do 10. Znak YS se bude vyskytovat pro hodnotu závažnosti 7 nebo 8 a zároveň výskyt musí být hodnocen od 4 do 10.

Pravděpodobnost závady	Možné četnosti závad	Známka
Velmi vysoká: Neustálé závady	≥ 100 na tisíc vozidel/prvků	10
	50 na tisíc vozidel/prvků	9
Vysoká: Časté závady	20 na tisíc vozidel/prvků	8
	10 na tisíc vozidel/prvků	7
Mírná: Občasné závady	5 na tisíc vozidel/prvků	6
	2 na tisíc vozidel/prvků	5
	1 na tisíc vozidel/prvků	4
Nízká: Poměrně málo závad	0,5 na tisíc vozidel/prvků	3
	0,1 na tisíc vozidel/prvků	2
Nepravděpodobná závada	$\leq 0,01$ na tisíc vozidel/prvků	1

Obrázek 4.14: Konstrukční FMEA (návrh kritérií pro vyhodnocení výskytu četnosti závady)

Znak YC se bude vyskytovat pro hodnoty závažnosti 9 nebo 10.

Tyto PZZ² zapisujeme do sloupce klasifikace. Znaky PZZ jsou důležité pro další zpracování a především pro návrhy opatření.

Stanovení rizik (neboli stanovení možných chyb) se určuje pomocí očekávané funkce (např. zámek se zamkne a drží zamčený) a následně se ptáme na možné chyby této funkce. Vycházíme přitom z nápovědy:

- žádná funkce (např. zámek se nezamkne),
- částečná funkce (např. zámek nemá pevnost),
- přerušovaná funkce (např. zámek se zamkne jenom někdy),
- nečekaná funkce (např. zámek se zamkne a poškodí přitom striker).

Následně se vytvoří strom příčin, kde se zaznamená, jak k chybě došlo a způsob redukce příčiny vzniku vady.

²Tyto PZZ se mohou, ale nemusí v podobě CC a SC znaků objevit na výkresu.

Odhaltelnost	Kritéria pravděpodobnosti odhalení nástroji řízení návrhu	Známka
Absolutní nejistota	Kontrola návrhu neodhalí a/nebo nemůže odhalit potencionální příčinu/mechanismus a následný způsob závady, nebo kontrola neexistuje.	10
Velmi nepravděpodobné	Je velmi nepravděpodobné, že kontrola návrhu odhalí potencionální příčinu/mechanismus a následný způsob závady.	9
Nepravděpodobné	Je nepravděpodobné, že kontrola návrhu odhalí potencionální příčinu/mechanismus a následný způsob závady.	8
Velmi nízká pravděpodobnost	Velmi nízká pravděpodobnost, že kontrola návrhu odhalí potencionální příčinu/mechanismus a následný způsob závady.	7
Nízká pravděpodobnost	Pravděpodobnost, že kontrola návrhu odhalí potencionální příčinu/mechanismus a následnou závadu je nízká.	6
Střední pravděpodobnost	Střední pravděpodobnost, že kontrola návrhu odhalí potencionální příčinu/mechanismus a následnou závadu odhalí.	5
Poněkud vyšší pravděpodobnost	Poněkud vyšší pravděpodobnost, že kontrola návrhu odhalí potencionální příčinu/mechanismus a následnou závadu odhalí.	4
Vysoká pravděpodobnost	Vysoká pravděpodobnost, že kontrola návrhu odhalí potencionální příčinu/mechanismus a následnou závadu odhalí.	3
Velmi vysoká pravděpodobnost	Velmi vysoká pravděpodobnost, že kontrola návrhu odhalí potencionální příčinu/mechanismus a následnou závadu odhalí.	2
Téměř jistota	Kontrola návrhu odhalí potencionální příčinu/mechanismus a následnou závadu odhalí téměř jistě.	1

Obrázek 4.15: Konstrukční FMEA (návrh kritérií K-FMEA pro vyhodnocení odhalitelnosti)

Návrh opatření

U nejrizikovější skupiny možných vad, které jsou vyvolány příslušnými příčinami, členové týmu navrhuji vhodná opatření (prevence), která by vedla ke snížení rizika těchto možných vad. Především tam, kde se v dokumentu FMEA vyskytují kritické znaky, je potřeba navrhnout speciální opatření. Opatření se dělí na aktuální a doporučené opatření.

Aktuální opatření (Current Design Controls) nám v části **P** (Prevention) říkají, proč si myslíme, že design bude proveden dobře (provedeme toleranční výpočet, FEM³ analýzu nebo převezmeme zkušenosti z jiného projektu). Část **D** (Detection) popisuje, jak se bude návrh testovat a měřit. Pokud testy nedopadnou podle očekávání musíme navrhnout další opatření.

³FEM (Finite Elements Methods), neboli Metoda konečných prvků.

Znak	Popis
YS	Potential significant characteristic (potencionální významný znak)
YC	Potencial critical characteristic (potenciální kritický znak)

Obrázek 4.16: Potencionální zvláštní znaky

Doporučená opatření (Recommended Action) mají dvě části **PV** (Product Verification - neboli ověření produktu) a **DV** (Design Verification - neboli ověření designu před vývojevou fází).

Hodnocení stavu po realizaci opatření

Po realizaci opatření se hodnotí nová rizika jednotlivých možných vad, na které byla příslušná opatření zaměřena. Do základního formuláře se zaznamenávají nově provedená opatření a příslušná bodová hodnocení včetně nových hodnot rizikových čísel. Tento postup nám umožní hodnotit účinnost provedených opatření. Pokud se účinnost neprojeví, je třeba navrhnout účinnější opatření a opětovně přepočítat riziková čísla [2].

4.2.2 FMEA procesu

FMEA procesu se obvykle provádí před zahájením výroby nových či inovovaných výrobků, ale také při změnách technologického postupu. Obvykle následuje po FMEA návrhu produktu, na kterou navazuje a jejíchž výsledků využívá. Za provedení FMEA procesu je nejčastěji odpovědný pověřený pracovník vývoje technologie. Jako u FMEA produktu se i zde hledají příčiny všech možných vad výrobního procesu, a to pomocí navrhovaného postupu realizace, který umožňuje odhalit slabá místa procesu a iniciovat jeho zkvalitnění. Technologický postup by měl zahrnovat všechny fáze výroby, ale i rovněž povýrobní operace až do okamžiku předání výrobku zákazníkovi [2].

PZZ z FMEA produktu musí být „zajištěny“. Jinými slovy musíme rozhodnout, co je nutno udělat, aby bylo riziko označené PZZ eliminováno. Tento problém je možné vyřešit v rámci procesní FMEA (například použitím pouze povolených látek místo zakázaných). Pak jsou obvykle tyto znaky označovány jako **SC** nebo **CC**. Z označení nám vyplývá, že z PZZ se stávají ZZ (zvláštní znaky viz obrázek 4.17) a jejich zajištění ve výrobě je obvykle kontrolováno nějakou 100% kontrolou (není to ale pravidlo). Jako příklad můžeme uvést výšku hlavy nýtu. Stroj, na kterém nýtují, označím CC znakem a výšku nýtu budu sledovat s využitím SPC. Ukazatel C_{pk} si nastavím na hodnotu 1,67. Pokud C_{pk} skutečně udržím na hodnotě 1,67, pak mám jistotu, že počet vadně zanýtovaných spojů nepřekročí 1 z milionu (1ppm).

Znak	Popis
SC	Significant characteristic (významný znak)
CC	Critical characteristic (kritický znak)

Obrázek 4.17: Procesní FMEA (Zvláštní znaky)

Analýza a hodnocení současného stavu

Úkolem týmu je identifikovat všechny možné vady, které se mohou v průběhu dané operace na vyráběném produktu vyskytnout. Týká se to především vad, které se přenesou do konečného produktu a vad, které způsobí, že některá z následujících operací nebude úspěšná. Ke každé vadě se opět stanoví všechny možné příčiny, které by ji mohly vyvolat. U vad se nejprve analyzují preventivní opatření, která zamezují působení možné příčiny vady a tedy i vzniku vady.

Pro hodnocení významu očekávaného výskytu, odhalitelnosti a závažnosti vad se používají desetibodové stupnice (obrázky 4.20, 4.21, 4.22). Šablona na FMEA procesu je shodná jako šablona na FMEA produktu, pouze se řeší jiné problémy (již ne konstrukční, ale procesní).

Ukázkovou procesní FMEA je možno vidět na obrázcích 4.18 a 4.19, kde **A** je hodnocení výskytu závady, **E** je odhalitelnost závady a **B** je hodnocení závažnosti. Pokud je závažnost hodnocená stupněm 9 nebo 10 je potřeba ve sloupečku klasifikace poznamenat **CC** znak (potenciální kritický znak). Pokud je závažnost hodnocená stupněm 7 nebo 8, značí se kritický znak **SC**. Pokud se nám v procesní FMEA objeví kritický znak, proces musí být statisticky zvládnutelný. Statisticky zvládnutelný proces se hodnotí pomocí C_{pk} (míra stability procesu, viz kapitola **Metoda SPC**).

Pokud se uvedený znak objeví v procesní FMEA, je potřeba vypracovat kontrolní plán, který zahrnuje požadavek, jak často se mají provádět kontroly na stanovišti. Každé stanoviště s kontrolním plánem musí být jednoznačně označeno a každý výsledek kontroly se musí zapsat do regulační karty.

Stanovení rizik procesu

Při posuzování pravděpodobnosti odhalení vady tým posuzuje účinnost používaných kontrolních postupů pro odhalení možné vady před tím, než produkt nebo součást opustí místo výroby nebo montáže. Rizikové číslo jednotlivých možných vad vyvolaných určitou příčinou se stejně jako u FMEA návrhu produktu vypočítává jako součin bodového hodnocení významu vady, pravděpodobnosti výskytu vady a pravděpodobnosti odhalení vady [2].

Výpočet rizikového čísla je tedy:

$$\text{rizikové číslo} = \text{význam} \times \text{výskyt} \times \text{odhalitelnost} \quad (4.6)$$

V tabulkách FMEA se značí jako **RPN** a toto číslo se pohybuje v rozmezí od 1 do 1000.

Posuzování rizika se může provádět s využitím vývojového diagramu procesu s cílem zjistit, která z těchto operací nebo jednotlivých kroků může mít dopad na výrobu a montáž produktu.

Návrh opatření

V rámci doporučených opatření (Recommended Action) uplatňujeme různá opatření (například již zmiňovanou metodu Poka Yoke, preventivní údržbu, vizuální kontrolu, periodickou kontrolu, 100% kontrolu a další). Navržená opatření jsou v zásadě zaměřena na změnu konstrukce, technologie nebo kontroly.

Hodnocení stavu po realizaci opatření

Po navržení opatření na snížení kritických hodnot vad se přepočítá číslo **RPN** a vyhodnocuje se, zda dosud navržená opatření jsou dostatečná. Pokud je riziko stále vyšší než přijatelné, navrhneme další opatření. Jestliže jsme spokojeni s hodnotou rizikového čísla, do kolonky **Stav** zapisujeme stav realizace konkrétního opatření (viz obrázek 4.19).

Je důležité si uvědomit, že každý návrh opatření nás něco stojí. Proto je důležité najít kompromisní řešení mezi cenou a závažností důsledků vad.

Operace/ montážní krok	Pot. chyba	Pot. následek	B	Klasi fikace	Příčina	A	Aktuální opatření	E	RPZ
Do krycího plechu vložit kabel s konektorem , kabel založit pod výstupek v plechu	Kabel nezaložen pod výstupek plechu	možné poškození kabelu při montáži krycího plechu, ztráta signalizace otevřené kapoty v provozu	9	CC	chyba obsluhy	2	D: vizuální kontrola	8	144

Obrázek 4.18: Ukázka procesní FMEA 1. část

Dop. opatření	Vyřídít kým & termín	Výsledek přijatých opatření					Stav [%]
		Přijatá opatření	B	A	E	RPZ	
D: kontrola přítomnosti kabelu ve správné poloze	Jméno & Datum	D: 100% kontrola přítomnosti a polohy	9	2	2	36	60

Obrázek 4.19: Ukázka procesní FMEA 2. část

Pravděpodobnost závady	Možné četnosti závad	Známka
Velmi vysoká: Neustálé závady	> 100 na tisíc kusů	10
	50 na tisíc kusů	9
Vysoká: Časté závady	20 na tisíc kusů	8
	10 na tisíc kusů	7
Mírná: Občasné závady	5 na tisíc kusů	6
	2 na tisíc kusů	5
	1 na tisíc kusů	4
Nízká: Poměrně málo závad	0,5 na tisíc kusů	3
	0,1 na tisíc kusů	2
Vzácná: Závada nepravděpodobná	$\leq 0,01$ na tisíc kusů	1

Obrázek 4.20: Procesní FMEA (návrh kritérií P-FMEA pro vyhodnocení výskytu)

Odhalení	Kritéria	Druh kontroly			Návrh rozsahu metod odhalování	Známka
		Zajištěno proti chybám	Kontrola kalibrem	Ruční kontrola		
Téměř vyloučené	Absolutní jistota, že porucha nebude odhalena.			X	Nedá se odhalit nebo se nekontroluje.	10
Velmi nepravděpodobné	Kontrola poruchu pravěpodobně neodhalí.			X	Kontrola se provádí jen nepřímo nebo náhodnými kontrolami.	9
Nepravděpodobné	Kontrola má malou šanci poruchu odhalit.			X	Kontrola se provádí jen vizuální kontrolou.	8
Velmi nízká pravděpodobnost	Kontrola může poruchu odhalit.			X	Kontrola se provádí jen dvoji vizuální kontrolou.	7
Nízká pravděpodobnost	Kontrola může poruchu odhalit.		X	X	Kontrola se provádí pomocí diagramů jako je SPC.	6
Mírná pravděpodobnost	Kontrola má dobrou šanci poruchu odhalit.		X		Kontrola se opírá o měření, když součásti opustily pracoviště, NEBO kontrolu kalibrem sta procent součástí, když opustily pracoviště.	5
Poněkud vyšší pravděpodobnost	Kontrola má dobrou šanci poruchu odhalit.	X	X		Odhalování chyb v následných operacích, NEBO kontrolu kalibrem prováděná po seřízení a kontrola prvního kusu (jen po seřizování).	4
Vysoká pravděpodobnost	Kontrola má dobrou šanci poruchu odhalit.	X	X		Odhalení chyb na pracovišti NEBO v následujících operacích vícenásobnými přejímkami: při dodání, výběru, instalaci, verifikaci. Nedají se převzít neshodné součásti.	3
Velmi vysoká pravděpodobnost	Kontrola téměř s jistotou poruchu odhalí.	X	X		Odhalení chyb na pracovišti (automatické měření s automatickým pozastavením). Nemůže propustit neshodné díly.	2
Téměř jistota	Kontrola odhalí poruchu s jistotou.	X			Neshodné součásti se nedají vyrobit, protože prvek byl návrhem procesu/výrobku proti vzniku vad zajištěn.	1

Obrázek 4.21: Procesní FMEA (návrh kritérií P-FMEA pro vyhodnocení odhalitelnosti)

Důsledek	Kritéria závažnosti důsledku		Známka
	Dopad na zákazníka	Dopad na výrobu/montáž	
Kritický bez výstrahy	Velmi vysoké hodnocení závažnosti, když možný způsob závady ohrožuje bezpečný provoz vozidla a/ nebo znamená nesplnění závažného předpisu bez výstrahy.	Nebo může bez výstrahy ohrožovat operátora (stroj nebo sestavu).	10
Kritický s výstrahou	Velmi vysoké hodnocení závažnosti, když možný způsob závady ohrožuje bezpečný provoz vozidla a/ nebo znamená nesplnění závažného předpisu s výstrahou.	Nebo může ohrožovat operátora (stroj nebo sestavu) s výstrahou.	9
Velmi závažný	Vozidlo/prvek nefunkční (ztráta základní funkce).	Nebo se musí 100% výrobků sešrotovat, nebo se musí vozidlo/prvek opravit v opravárenské dílně za dobu delší než 1 hodina.	8
Závažný	Vozidlo/prvek funguje, ale úroveň výkonu snižena. Zákazník velmi nespokojen.	Nebo se musí výrobek přetřídit a část (méně než 100%) výrobků sešrotovat, nebo se musí vozidlo/prvek opravit v opravárenské dílně za dobu od 1/2 do 1 hodiny.	7
Mírný	Vozidlo/prvek funguje, ale položky podmiňující komfort/pohodlí nefungují. Zákazník nespokojen.	Nebo se musí část (méně než 100%) výrobků sešrotovat bez třídění, nebo se musí vozidlo/prvek opravit v opravárenské dílně za dobu kratší než 1/2 hodiny.	6
Nízký	Vozidlo/prvek funguje, ale položky podmiňující komfort/pohodlí fungují se sníženým výkonem. Zákazník poněkud nespokojený.	Nebo se musí 100% výrobků nebo vozidel/prvků přepracovat mimo linku, ale nemusí jít do opravárenského oddělení.	5
Velmi nízký	Úprava/skřípot a drnčení prvku neodpovídá. Vady si všimne většina zákazníků (přes 75%).	Nebo se výrobek musí přetřídit bez sešrotování a část (menší než 100%) se musí přepracovat.	4
Nepatrný	Úprava/skřípot a drnčení prvku neodpovídá. Vady si všimne 50% zákazníků.	Nebo se musí část (menší než 100%) výrobků přepracovat bez šrotování, na lince, ale mimo normální pozici.	3
Zanedbatelný	Úprava/skřípot a drnčení prvku neodpovídá. Vady si všimnou kritičtí zákazníci (méně než 25%).	Nebo se musí část (menší než 100%) výrobků přepracovat bez šrotování, na lince a na normální pozici.	2
Žádný	Žádný znatelný důsledek.	Nebo nepatrná obtíž v operaci nebo pro operátora nebo žádný dopad.	1

Obrázek 4.22: Procesní FMEA (návrh kritérií P-FMEA pro vyhodnocení závažnosti)

Kapitola 5

Software SCIO-FMEA

Software SCIO-FMEA poskytuje společnost PLATO, která vyvíjí profesionální softwarové řešení pro [11]:

- strojírenství,
- management kvality.

Pro strojírenství jsou určeny softwary pro systém a analýzu rizik (FMEA), požadavky na řízení, specifikace procesu a další. U managementu kvality se užívají softwary pro správu dokumentů, řízení vztahu se zákazníky a vedení auditů. Všechny tyto moduly je možné propojit a díky centrální databázi je využívat společně [11].

Díky softwaru SCIO-FMEA, který využívá společnost WITTE Nejdek, je možné automatizovat vytváření procesní i konstrukční FMEA. Tento software funguje jako preventivní metoda, která zabraňuje selhání, redukuje případné chyby v produktech i v procesech a dokáže navrhnout vhodná opatření. Při využívání tohoto softwaru společnost WITTE Nejdek snižuje náklady na vývoj [11].

SCIO-FMEA se používá pro výroby a výrobní procesy v oblasti automobilového průmyslu, letectví, strojírenství a v dalších odvětvích. Tento software ukládá všechna data z výrobního plánu a z blokových schémat do jedné centrální databáze. Tím je zajištěna efektivní účinnost týmové práce ve všech odděleních [11].

Společnost PLATO garantuje jednoduchou obsluhu softwaru, kterou zvládnou i začátečníci. Díky grafickému znázornění se každý uživatel může v tomto programu snadno orientovat. SCIO-FMEA dokáže porovnávat a hodnotit výsledky, čímž usnadňuje práci zaměstnancům. Vytvořené tabulky je možné exportovat do Microsoft Excelu nebo do formátu pdf. Tento software dokáže analyzovat rizikové číslo RPN, umí vytvořit Paretovu analýzu a zobrazit „grafy rizik“ [11].

Kapitola 6

Požadavky zákazníků na FMEA

V současnosti představuje automobilový průmysl špičku kvality a spolehlivosti dosahovanou v systémech managementu kvality, a to nejen na úrovni požadavků technické specifikace ČSN P ISO/TS 16949, ale především dynamickým rozvojem progresivních metod a technik řízení kvality ve výrobě sériových produktů a náhradních dílů pro montážní závody automobilů na základě specifických požadavků výrobců automobilů CSR OEMs (Customer Specific Requirements, Original Equipment Manufacturers). Například skupina VW vydala ve svém Formel Q požadavek na jmenování zmocněnce pro bezpečnost výrobků, který musí být uveden v databance dodavatelů [12].

Zmiňovaná technická specifikace ČSN P ISO/TS 16949 byla vyvinuta společně s členy IATF (International Automotive Task Force). Tato norma rozšiřuje systém jakosti o zvláštní požadavky na používání ISO 9001:2008 v organizacích zajišťujících sériovou výrobu a výrobu náhradních dílů v automobilovém průmyslu [12].

IATF (International Task Force Automotive) je skupina automobilových výrobců, jejichž profesní sdružení má poskytnout zlepšení kvality produktů pro automobilové zákazníky po celém světě. IATF je odpovědná za [12]:

- rozvoj konsensu o mezinárodních požadavcích na systém základní kvality,
- rozvoj zásad a postupů pro registrační systémy třetích stran.

Účelem dokumentu je popsat hlavní požadavky, které musí organizace dodržet, aby mohly produkty pro zákazníky dodávat. Všichni dodavatelé jsou žádáni, aby se zavázali k dodržování specifických požadavků. Hlavní požadavky zákazníků jsou velmi rozsáhlé téma a mohou být rozděleny do dvou podskupin:

- Standardy,
- Lastenhefty.

Mezi Standardy patří právní i jiné požadavky (např. bezpečnost, odolnost proti krádeži), které jsou závislé na trhu, pro který je výrobek určen. Do Lastenheftu patří např. obecné požadavky, konkrétní popis výrobku a další.

Dále společnost může vycházet i z vlastních zkušeností. Díky těmto zkušenostem může firma zahrnout další vlastní požadavky, a tak předejít případným rizikům.

Zákazník tedy poskytne dodavateli specifické požadavky, projektový tým FMEA tyto požadavky vyhodnotí. Tyto požadavky buď akceptuje, nebo připomínkuje, a odešle zpátky zákazníkovi na další projednávání (jedná se tedy o vícekolový proces). Pokud připomínky zákazník schválí, sepíše se smlouva a dodavatel se snaží o dodržení daných podmínek, které je možné zpřesňovat během celého vývoje.

6.1 Specifické požadavky zákazníků

Jak již bylo řečeno, každý zákazník může mít jiné požadavky, i když se třeba jedná o stejný produkt. Jedním z důvodů může být rozdílné podnebí. Pokud u nás například stačí, aby zámek od dveří fungoval při teplotách od -40°C do $+90^{\circ}\text{C}$, v Rusku to již stačit nemusí. Každý stát má také jiné právní požadavky, standardy nebo jiný druh značení. Jako příklad bych zde uvedla třeba potraviny. Vezmeme-li jogurt v marketu u nás a stejný koupíme v Německu a porovnáme-li mezi sebou etikety, zjistíme, že se mohou lišit ve složení. Stejně je to v oblasti automotive.

Je v zájmu dodavatele zjistit si, jaké jsou na daném trhu právní požadavky, a podle toho se řídit již při vývoji a výrobě produktu. Všechny tyto právní požadavky musí dodavatel splnit, a to bez výjimky. O specifických požadavcích je možné mezi dodavatelem a zákazníkem jednat a dojít tak ke kompromisu. Zákazník případně může ustoupit ze svého požadavku, protože není ochoten zaplatit vyšší částku, kterou dodavatel požaduje za akceptování daného požadavku.

V další části textu je uveden stručný přehled požadavků společnosti Ford Motor Company a analýza požadavků zákazníka firmy WITTE Nejdek. Je nutné podotknout, že zde nejsou uvedeny veškeré informace. Z důvodu citlivých dat nebylo možné všechny požadavky zveřejnit. Protože jsem nedostala povolení od jiných společností, nemohla jsem uvést data z jiných firem.

6.1.1 Ford Motor Company

Společnost Ford Motor Company svoje specifické požadavky shrnuje ve velkém množství norem, pokynů a dalších dokumentů. Lze je dělit do následujících skupin:

- všeobecné,
- logistické,
- standardy,
- požadavky na jakost,
- prodej,

- životní prostředí.

Produkty a postupy mají popsané specifické vlastnosti (požadavky), které se charakterizují pomocí speciálních znaků (obrázek 6.1). Tyto speciální znaky vyžadují zvláštní pozornost a musí se kontrolovat, aby se minimalizovalo riziko nepříznivých důsledků. V textu jsme se již zmiňovali o SC, YC, YS a CC znacích. Ford rozlišuje tyto speciální znaky [9]:

- ∇ (nebo CC),
- HI.

	Typ FMEA	Klasifikace	Indikace	Hodnocení	Požadavek
Zakazník / účinek produktu	Procesní	∇	kritický znak	závažnost (9,10)	speciální požadavek na kontrolu
	Procesní	SC	významný znak	závažnost (5-8) výskyt (4-10)	speciální požadavek na kontrolu
Výroba / účinek výroby	Procesní	HI	vysoký dopad	závažnost (5-8) výskyt (4-10)	zvýšená pozornost
	Procesní	OS	operátor bezpečnosti	závažnost (9,10)	bezpečnostní hlášení
	Procesní	Blank	nespecifikováno	ostatní	žádný

Obrázek 6.1: Ford: specifické znaky [9]

Znak ∇ označuje kritické vlastnosti (jedná se o znak CC, Ford má pouze jiné značení). Jsou to takové parametry a požadavky na výrobky, které mohou mít vliv na soulad s nařízením vlády a bezpečnou funkci vozidla/výrobků. Pokud se tento znak objeví v návrhu FMEA, musí se navrhnout speciální postup a znak musí být uveden v kontrolním plánu. Znak ∇ má vliv jak na produkt, tak i na zákazníka [9].

OS (Operator Safety) označuje bezpečnost operátora a vztahuje se k parametrům, které nemají vliv na proces, ale mohou mít vliv na bezpečnost v provozu procesu (například bezpečnost a ochranu zdraví při práci).

Znak HI (High Impact) je spojen s parametry, které výrazně ovlivňují fungování procesu.

Ford dále požaduje tyto speciální požadavky:

1. je potřeba vyvinout veškeré úsilí k odstranění všech rizik, která jsou u specifických znaků pomocí různých opatření, tato opatření mají zlepšit odolnost produktu a zlepšit procesy,

2. dodavatel zodpovídá za výrobní proces, který byl schválen zákazníkem,
3. dodavatel musí zajistit včasnou revizi, distribuci a musí dodržovat technické normy,
4. pokud dodavatel udělá změnu ve výrobním plánu, musí být včas provedena analýza proveditelnosti, jejíž doba trvání nesmí překročit dva pracovní týdny,
5. každá změna musí být zaznamenána a zdokumentována (včetně data provedení změny),
6. organizace musí provést procesní studie u všech výrobních procesů, které mají ověřit schopnost procesu a poskytnout další vstup pro řízení procesu,
7. výsledky procesu studií musí být doloženy se specifikacemi, měřením a testováním a s pokyny k údržbě,
8. dokumenty musí obsahovat cíle výrobního procesu schopnosti, spolehlivosti, udržovatelnosti a dostupnosti, jakož i kritéria pro přijetí,
9. organizace musí dodržovat kapacitu a výkon výrobního procesu (jak bylo schváleno zákazníkem),
10. organizace musí zajistit, aby kontrolní plán a postup byly dodržovány především v
 - měření,
 - plánech odběru vzorků,
 - kritériích pro přijetí dodávky,
11. organizace zajistí 100% kontrolu nad částí procesu, která není statická nebo je nestabilní (tyto plány jsou přezkoumány a odsouhlaseny zákazníky, je-li to nezbytné),
12. analýza měřicího systému,
 - ve statistických studiích se musí analyzovat rozdíly u jednotlivých typů měření (tento požadavek se vztahuje na plánování kontroly),
 - analytické metody a přijímací kritéria musí odpovídat příručkám pro analýzu měření systému (další analytické metody a přijímací kritéria mohou být použity, jestliže jsou schváleny zákazníkem),
13. jakékoliv změny se musí posuzovat, schvalovat a musí být v souladu s požadavky zákazníků (musí být ověřeny před zavedením),
14. zákazník musí být informován o všech změnách.

6.1.2 Analýza požadavků WITTE Nejdek

Ve firmě WITTE Nejdek jsou specifické požadavky zákazníků archivovány v souboru s názvem **Analýza požadavků zákazníků** a průběžně jsou aktualizovány v informačním systému pro každého zákazníka zvlášť. Tento soubor Analýza požadavků zákazníka se dále dělí na 6 samostatných listů:

- Product characteristics (charakteristika produktu),
- Customer specific requirements (analýza specifických požadavků zákazníka),
- Legal requirement, Standards (analýza zákonných požadavků a norem),
- Quality history (poučení ze zkušeností z předchozích projektů),
- Other requirements (ostatní požadavky, které nelze uvést do předcházejících listů),
- Open points (seznam otevřených bodů k řešení se zákazníkem).

Některé tyto specifikace mohou být obecné a některé jsou svázané s konkrétním produktem.

Pro lepší názornost si uvedeme příklad určitého produktu: zámek kapoty u automobilu. Charakteristika produktu je v tomto případě rozdělena do tří částí:

- zámek,
- systém,
- striker.

Funkce produktu a specifikace produktu se zaznamenají do tabulky. Do sloupečku funkce zapíšeme hlavní funkce částí produktu například: otevírání, zavírání, indikace, vzhled, životnost, síla koroze, klimatická odolnost, chemická odolnost, hluk, hořlavost, chvění, odolnost proti vandalismu, rozhraní zámku x vozidla, rozhraní zámku x kabelového svazku, rozhraní zámku x bovdenového kabelu, rozhraní zámku x úderníku, označení, doprava, montáž a servis. Do sloupečku specifikace zapíšeme určité specifikace pro danou funkci. V tomto konkrétním případě by tabulka mohla vypadat takto:

1. hlavní funkce: **uvolnění kapoty při otvírání a návratu zpátky do výchozí polohy**

specifikace:

- síla pro odjištění háku maximálně 20N, minimálně 14N,
- dráha pro odjištění háku maximálně 32,5mm, minimálně 24,5mm,
- celková dráha pro zdvih páky je maximálně 26mm,
- síla pro odjištění háku je maximálně 20N, minimálně 14N,

- zajištění kapoty váhou je maximálně 55N,

2. hlavní funkce: **uzavření kapoty na striker**

specifikace:

- při zavírání kapoty vlastní vahou musí hák zajistit striker,
- lze zajistit nebo zavřít,

3. pevnost:

specifikace:

- provést zkoušku na vytržení páky při teplotách od -35°C až do 110°C alespoň 10krát,
- provést zkoušku na pevnost páky v krutu při teplotách od -35°C až do 110°C alespoň 10krát,

4. vzhled:

specifikace:

- černá barva,

5. koroze:

specifikace:

- musí odolávat červené korozi více než 720 hodin,
- musí být funkční i po korozní zkoušce,
- musí odolávat bílé korozi více než 200 hodin,

6. klimatická odolnost:

specifikace:

- odolnost při 80°C ,
- vysokotlaké mytí,

7. odolnost proti krádeži:

specifikace:

- zámek není možné otevřít z vnějšku za méně než dvě minuty,

8. hluk:

specifikace:

- otevírání je bez rušivých zvuků,

9. chemická odolnost:

specifikace:

- musí odolat působení provozních kapalin minimálně 5 minut,
- hluk v provozu bez rušivých zvuků

10. rozhraní zámku x vozidla:

specifikace:

- vzdálenost od kapoty v uzamčené poloze maximálně 45mm, minimálně 10mm,
- vzdálenost od kapoty v odemčené poloze minimálně 25mm,
- vzdálenost páky od vnitřního panelu při zavírání minimálně 25mm,

11. rozhraní zámku x strikeru:

specifikace:

- minimální průměr strikeru je 7,1mm,

12. označení:

specifikace:

- viditelné značení i po montáži,

6.1.3 Analýza specifických požadavků

Zákazník (v našem příkladě Ford Motor Company) pošle dodavateli (WITTE Nejdek) svoje požadavky na určitý produkt. Pro lepší přehlednost se tyto požadavky dále dělí. Například požadavek na kvalitu, spolehlivost, materiál, životnost a mnoho dalších. Dodavatel (neboli odborný tým) se s touto analýzou seznámí a ke každému požadavku se vyjádří. Způsoby, jak se může rozhodnout, jsou tři:

- akceptováno (schváleno),
- neakceptováno (zamítnuto),
- upřesnit.

Pod pojmem akceptováno dodavatel říká, že splní zákazníkům požadavek, popřípadě napíše nějakou poznámku za jakých podmínek lze požadavek splnit. Dodavatel může zákazníkům požadavek zamítnout z několika důvodů. Jedním z důvodů může být, nerealizovatelnost požadavku (například zákazník chce levou a pravou kliku, ale zároveň chce aby byly symetrické). Pokud zákazník nedostatečně upřesní svůj požadavek a dodavateli není zcela jasné zadání, je třeba lépe definovat požadavek a označit ho jako nepřesný. Ukázkový příklad analýzy specifických požadavků je znázorněn na obrázcích 6.2 a 6.3.

Číslo	Odkaz na kapitulu	Požadavek na ...	Analýza požadavku	Datum	Jméno	Poznámka	Důvod
1	kap. 1	Předmluva	Tato předložená specifikace konstrukčního dílu (BT-LAH) vychází ze specifikace struktury komponent VDA Modul 2 (www.vda-qmc.de) a popisuje požadavky týkající se komponent. VDA-Modul 1 je uveden pomocí VW 99000 a popisuje všeobecné požadavky nejen na komponenty pro zajištění výkonů v rámci vývoje konstrukčních dílů.			akceptováno	
2			Speciálními vlastnostmi je vzhled, dotyk a snadnost použití. Zejména nesmí být na klíče hmatné hroty. Vybrání na klíče v oblasti zapuštění klíky nejsou dovolena. Musí být zajištěno zamezení míst s propadlinami.			neakceptováno	Je nutno definovat co je propadlina.
3	kap. 2	Kvalita a spolehlivost	Platí požadavky a postupy týkající se kvality řady Formel-Q-Reihe a VW 99000.			akceptováno	
4			Funkční teplotní rozsah -40;C - +90°C (včetně zkoušky 1000N).			upřesnit	Teoreticky možné, vyžaduje ale podstatně větší průřezy v oblasti funkce klíky, simulace FEM není možná z důvodu nedostatku dat materiálu pro T=90°C.
5			Lakovací teplota podle VW 80000; 15min. 130°C a 1hod. při 110°C.			akceptováno	
6			Bezúdržbové po celou dobu životnosti.			akceptováno	

Obrázek 6.2: Analýza zákaznických požadavků pro vnější kliku 1. část

Číslo	Odkaz na kapitolu	Požadavek na ...	Analýza požadavku	Datum	Jméno	Poznámka	Důvod
7	kap. 3	Technické požadavky na materiál	Pro díly, které jsou umístěny venku nebo v oblastech s drsnými podmínkami (např.: proud- stříkaní vody, solná mlha, oblast ponoru) je zakázáno použití tavných materiálů.			akceptováno	
8			Použití tavných materiálů pro obstřík osazených komponentů není dovoleno.			akceptováno	
9			Využití tavných materiálů pro utěsnění a ochranu proti vlhkosti není dovoleno.			akceptováno	
10			Odchyly od uvedených zásad vyžaduje kvalifikační osvědčení v celém rozsahu podmínek provozu vozidel.			akceptováno	
11	kap.4	Životnost	Konstrukční díly musí být navrženy podle normy TL 855 na statistickém životnostním požadavku 300.000 km najetých kilometrů.			akceptováno	
12			Realizace požadavku je zajistit, aby bylo splněno dodržování právních předpisů pro komponenty ovlivňující emise a palivo pro životnost 15 let nebo 150.000 mil.			akceptováno	
13			Doklad je nutno předložit do B- uvolnění.			akceptováno	Předpokládáme, že se jedná o protokol z životnostního testu.

Obrázek 6.3: Analýza zákaznických požadavků pro vnější kliku 2. část

Kapitola 7

Generická FMEA

Generickou metodu FMEA (GFMEA) lze definovat jako obecnou metodu FMEA pro určitý typ konstrukčního řešení nebo procesního kroku, které se ve společnosti často objevuje. Nemá smysl psát generickou FMEA na proces, který použijeme pouze jednou. Metodu budeme používat na opakující se proces nebo konstrukci.

Výhodou generické FMEA je, že její výstupy můžeme použít pro další analýzy FMEA. Není nutné jí již znova zpracovávat, a postačí pouze obecné zpracování problému. Generická FMEA může sloužit i jako nápověda, pokud nevíme, jak přesně se tvoří.

Nevýhodou generické FMEA je, že může být příliš obecná a nemusí zahrnovat náš konkrétní problém, který potřebujeme vyřešit. Rizikem GFMEA mohou být i specifické požadavky, které lze přehlédnout. Proto je nutné GFMEA nastudovat, zjistit, co již obsahuje, co nám chybí, a zbytek nezbytných věcí si sami doplnit.

Nyní si ukážeme, jak by mohla vypadat GFMEA pro nýtování (obrázky 7.1, 7.2 a 7.3).

Funkce	Pot. chyba	Pot. následek	B	Klasifikace	Příčina	A	Aktuální opatření	E	RPZ
manuální vložení nýtu	nýt nevložen	další operace není možná	2	-	chyby obsluhy	2	P: montážní postup D: 100% kontrola přítomnosti nýtu	2	8
	nýt umístěn obráceně	rozklad sestavy	10	CC	chyby obsluhy	1	P: poka yoke D: 100% kontrola přítomnosti nýtu	2	20
nýtovat strojně - s odměřováním od nýtu (celková délka nýtu před a po zanáťování CC znak požadováno Cpk 1,67)	nýtování neprovedeno	ztráta funkce	10	CC	chyby SW	1	P: Cíl přejímka D: zpětná vazba o provedení operace pro řídicí SW - 100% kontrola čídem	2	20
					mechanické poškození nýtovačky nebo nýtováku	2	P: pravidelná údržba D: kontrola po namontování D: zpětná vazba o provedení operace - 100% kontrola čídem	4	80
					výška nýtu před zanáťováním mimo toleranci	2	P: vstupní kontrola D: 100% kontrola procesu nýtovačkou - výška před zanáťováním D: zpětná vazby o provedení operace pro řídicí SW - 100% kontrola čídem D: 100% kontrola funkce (pokud se nezanáťování projeví na funkci)	2	40
	zanýtováno nedostatečně	volný spoj	10	CC	seřízení stroje - tlak nýtování/ pracovní + vstupní tlak, špatně nastavená kalibrace nýtovačky	2	P: záznam o nastavení stroje D: zápis obsluhy D: kontrola po nastavení D: kontrola procesu nýtovačkou (zpětná vazba o provedení operace pro řídicí SW)	2	40
					poškození nýtu nástroje	1	P: výběr nástroje P: pravidelná údržba P: nastavení síly na nýtováku D: vizuální kontrola D: vizuální kontrola při SPC a záznam stavu nýtováku do regulační karty D: kontrola po nastavení D: kontrola procesu nýtovačkou (zpětná vazba o provedení operace pro řídicí SW)	4	40
					velká tvrdost nýtu	2	P: nekalené nýty P: výběr materiálu D: kontrola procesu nýtovačkou	2	40
					opotřebeně zaklekládání	2	P: preventivní údržba D: při SPC trend k horní regulační mezi	2	40

Obrázek 7.1: Generická FMEA 1. část

nýtovat strojně - s odměřováním od nýtu (celková délka nýtu před a po zanýtování CC znak požadováno Cpk 1,67)	nízká hlava nýtu	snížená pevnost v ose X,Y,Z	10	CC	seřízení stroje - tlak nýtování / pracovní + vstupní tlak, výška po zanýtování, nastaveno při kalibraci nýtovačky	2	P: zkontrolovat po nastavení D: SPC - Cpk 1,33 nebo 1,67 D: kontrola procesu nýtovačkou D: pravidelná údržba D: 100% kontrola výšky hlavy	2	40
					měkký nýt	1	P: materiálový atest P: Q-dohoda speciálních vlastností pro dodavatele P: výběr materiálu D: kontrola procesu nýtovačkou D: 100% kontrola výšky hlavy	10	100
					tloušťka plechu mimo toleranci	2	P: Q-dohoda speciálních vlastností pro dodavatele D: 100% kontrola výšky hlavy D: 100% kontrola procesu nýtovačkou - výška před zanýtováním	10	200
					znečištěné zařízení	2	P: preventivní čištění D: kontrola nýtovačkou D: při SPC trend k dolní regulační mezi výšky hlavy nýtu	2	40
	nekvální povrch hlavy nýtu - nerovnoměrný profil hlavy nýtu - navýšení ve středě	vizuální poruchy	-	4	opotřebovaný nýtovák	1	P: preventivní výměna nýtováku D: vizuální kontrola při SPC a záznam stavu nýtováku do regulační karty	4	16
					nýtovák nevyleštěný bez povlaku	1	P: vyleštěný nýtovák - standart P: preventivní výměna nýtováku P: používat povlakové nýtovky pro vysokopevnostní nýty D: vizuální kontrola při SPC a záznam stavu nýtováku do regulační karty	4	16

Obrázek 7.2: Generická FMEA 2. část

nýtovat strojně - s odměřováním od nýtu (celková délka nýtu před a po zanýtování CC znak požadováno Cpk 1,67)	nekvální povrch nýtu - nerovnoměrný profil hlavy nýtu - propadlina ve středě	vizuální poruchy	4	-	nýtovák nevyleštěný bez povlaku - možná nalepení materiálu z povrchové úpravy nýtu	1	P: vyleštěný nýtovák standart P: preventivní výměna nýtováku P: používat povlakované nýtovky pro vysokopevnostní nýty D: vizuální kontrola pro SPC a záznam stavu do regulační karty	8	32
	část nýtu nerozmontována - měsíc	snížená oevnost v ose Z	10	CC	osa nýtováku mimo osu nýtu	1	P: seřizena osa nýtování P: CII přejímka P: průměr nýtováku větší než průměr nýtu D: vizuální kontrola při SPC a záznam stavu hlavy do regulační karty	2	20
					část nýtováku odlomena	2	P: výběr nástroje P: pravidelná údržba P: nastavení síly na nýtováku D: vizuální kontrola D: vizuální kontrola při SPC a záznam stavu nýtováku do regulační karty D: kontrola po seřízení D: SPC - Cpk 1,33 nebo 1,67 pro CC D: 100% kontrola procesu nýtovačkou	2	40
	plech není otlačen na osazení nýtu	vůle mezi plechem a osazením nýtu	-	6	prasklá pružina přídržovače - nefunkční přídržovač	2	P: preventivní údržba D: vizuální kontrola D: SPC - Cpk 1,33 nebo 1,67 pro CC D: kontrola procesu nýtovačkou (zpětná vazba o provedení operace pro řídicí SW)	2	24

Obrázek 7.3: Generická FMEA 3. část

Kapitola 8

Nové podněty a nápady pro FMEA

Pro celou metodu FMEA bych vytvořila nový informační systém. Tento systém by měl zajistit lepší přehlednost a snadnější orientaci v jednotlivých adresářích. Pro tento informační systém jsem navrhla nové grafické rozhraní, které by mělo být lépe uspořádané než systém, který využívá společnost WITTE Nejdek, a které zobrazuje jednotlivé návaznosti daných souborů potřebných pro metodu FMEA. Jako novou funkci tohoto systému jsem vytvořila tzv. rodokmen zvláštních znaků.

Společnost WITTE Nejdek si všechny zvláštní znaky exportuje do matice zvláštních znaků, což je přehledné, ale mohou se ztratit jednotlivé návaznosti. Tento problém bych tedy vyřešila pomocí tzv. rodokmenu zvláštních znaků. V matici zvláštních znaků, by každý takovýto znak obsahoval navíc informaci o adrese, kde se přesně nachází (název souboru, řádka v souboru). Tato funkce by měla zaměstnanci WITTE Nejdek poskytnout důležitou informaci, proč je daný problém zvláštním znakem, případně co tomu předcházelo.

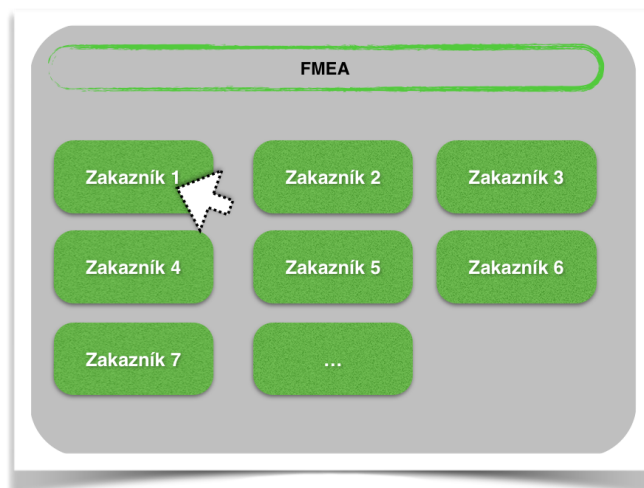
8.1 Nový informační systém

Tento návrh informačního systému je pracovní verzí a obsahuje jen nejdůležitější části. Zároveň by měl tento systém v jednoduchosti nastítnit, jak se postupně zpracovává metoda FMEA v praxi. Myslím si, že by tento program mohl sloužit i jako mobilní aplikace. Zaměstnanci by tak měli přístup k datům pomocí svého telefonu.

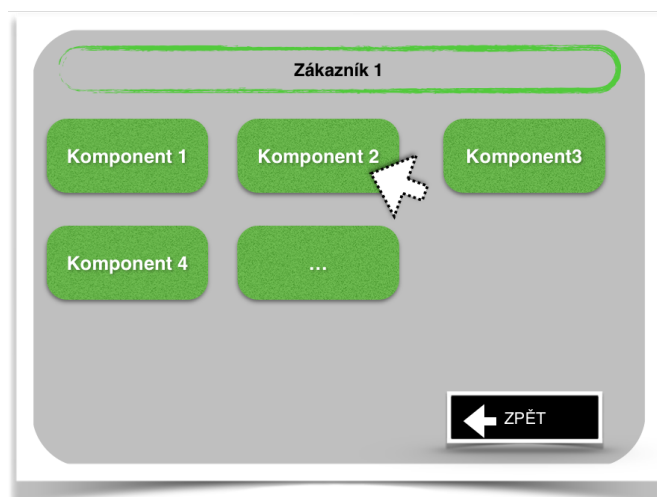
Při spuštění programu by uživatel vybral zákazníka, pro kterého FMEA zpracovává (viz obrázek 8.1), poté by si vybral daný produkt/komponent (viz obrázek 8.2). Následně by se zobrazilo přehledné okno pro FMEA, které zobrazuje jednotlivé položky FMEA, které se dále zpracovávají (viz obrázek 8.3).

Oproti starému systému jsou zde navíc položky (viz obrázek 8.3):

- rodokmen zvláštních znaků,
- reklamace.



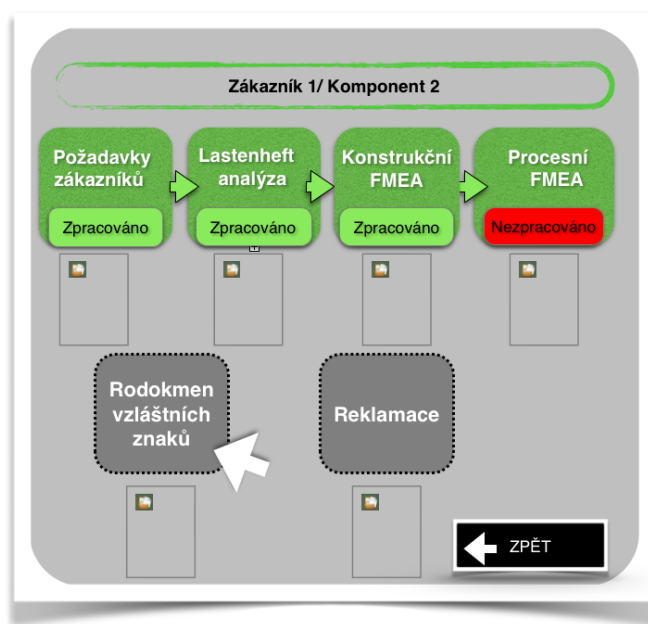
Obrázek 8.1: Návrh grafického okna pro nový informační systém - Zákazník



Obrázek 8.2: Návrh grafického okna pro nový informační systém - Komponent

Rodokmen zvláštních znaků obsahuje vyexportovanou matici se všemi zvláštními znaky v dané FMEA. Tato matice je doplněna o sloupec „odkaz na soubor“ (viz obrázek 8.4). Tato funkce zajišťuje jednotlivé provázání souborů a měla by zajistit lepší informovanost zaměstnanců, kteří se na FMEA podílejí.

Pod odkazem „reklamace“ by se zaznamenávaly všechny reklamace pro konkrétního zákazníka a pro daný produkt.



Obrázek 8.3: Návrh grafického okna pro nový informační systém - FMEA

Zákazník 1/ Komponent 2/ Rodokmen zvláštních znaků

Odkaz na soubor	Číslo	Název objektu	Funkce	Klasifikace	Chyba	Příčina	Aktuální doporučené opatření
	1	K FKS SPA xxx xxxxx	hlavní funkce - odemknout kapotu (otevření kapoty do	YS	uvoľovací rukojet' nemá dostatečný zdvih	špatný design - malý vnitřní průměr	D: DV - TR test 20 Funkční test na systém D: PV - TR test 20 Funkční test pro systém
	2	K FKS SPA xxx xxxxx	hlavní funkce - odemknout kapotu (otevření kapoty do	YS	uvoľovací rukojet' nemá dostatečný zdvih	krátký bovdenový drát	D: PV - T test 20 Funkční test na systém D: DV - TR test 20 Funkční test pro systém
	3	K FKS SPA xxx xxxxx	hlavní funkce - odemknout kapotu (otevření kapoty do	YS	uvoľovací rukojet' nemá dostatečný	malý zdvih rozbočovače	D: PV - T test 20 Funkční test na systém D: DV - TR test 20 Funkční test pro systém
	4	K FKS SPA xxx xxxxx	hlavní funkce - odemknout kapotu (otevření kapoty do bezpečnostní polohy)	YS	uvoľovací rukojet' nemá dostatečný zdvih	kolize mezi rukojetí a držákem	D: PV - zkušební sestavy u zákazníka D: DV - TR zkouška 21 Montážní test s laserovými díly

Soubor xy řádka z

Obrázek 8.4: Návrh grafického okna pro nový informační systém - Rodokmen zvláštních znaků

Kapitola 9

Závěr

Cílem mojí diplomové práce bylo seznámení s nástroji pro analýzu rizik používanými v automobilovém průmyslu. Zjistit jejich využití v praxi a obeznámit se s teoretickým postupem realizace těchto metod.

Dále jsem měla zpracovat metodu FMEA, která je ve firmě WITTE Nejdek používána pro analýzu rizik procesů i produktů. Jako příklad FMEA produktu jsem zpracovala zámek u kliky auta. Bohužel nebylo možné uvést celou realizaci FMEA pro tento objekt z důvodu citlivosti dat pro společnost. Některá data proto musela být upravena. Jako příklad FMEA procesu je v textu uveden montážní krok při výrobě tohoto zámku. i v tomto případě nebylo možné zpracovat celý tento postup z důvodu know-how společnosti. Přesto si myslím, že veškeré hlavní poznatky, které jsem nasbírala při exkurzi u montážní linky ve společnosti WITTE Nejdek jsou v textu obsaženy.

Dalším záměrem práce bylo seznámení se specifickými požadavky zákazníků a jejich následné zpracování dodavatelem, tedy společností WITTE Nejdek. Firma mi umožnila účastnit se meetingu, kde se řešila analýza zákaznických požadavků. Díky této zkušenosti jsem měla příležitost nahlédnout, jak odborný tým pojednává o přijetí či zamítnutí daného požadavku. Jako ukázkou tohoto zpracování jsem v textu uvedla analýzu zákaznických požadavku pro vnější kliku u automobilu.

Jako příklad generické FMEA, která je dalším bodem mojí práce, jsem zpracovala GFMEA pro nýtování, které je ve společnosti častým procesem. Přestože proces nýtování je zdánlivě jednoduchý, při zpracování metodou FMEA je velmi obsáhlý. Proto jsem v textu uvedla pouze ukázkou, která čtenáři dostatečně odhalí smysl GFMEA.

Při praxi ve společnosti jsem se potýkala s nepřehledností informačního systému, který společnost využívá. Proto jsme navrhla nové grafické rozhraní, které je pro neobeznámeného uživatele přehlednější. Dále mi unikaly jednotlivé návaznosti procesů i produktů. Tento problém jsem vyřešila jednoduchým grafickým znázorněním průběhu zpracování FMEA. Jako novou funkci systému jsem navrhla tzv. rodokmen zvláštních znaků. Funkce umožňuje v matici kritických znaků se pomocí odkazu dostat na původní adresář, odkud byl kritický znak vygenerován.

Práce mě velmi zaujala, hlubší seznámení s podnikovou praxí dané problematiky mi poskytlo mnoho podnětů pro můj další profesní rozvoj.

Literatura

- [1] Verband der Automobilindustrie. *VDA 14 Preventivní metody managementu kvality v oblasti procesů (výběr - aplikace - efekt)*. Ing. Stanislav Křeček. 1. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2009. ISBN 978-80-02-02141-4.
- [2] Česká společnost pro jakost. *Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. Ivana Petrašová. 4. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. ISBN 978-80-02-02101-8.
- [3] Verband der Automobilindustrie. *VDA 4 Zajištění kvality v oblasti procesů (Všeobecně, analýzy rizik, metody, modely postupů)*. 2. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2009.
- [4] Hora, Karel. *Procesní řízení firmy a jeho význam pro řízení krizových situací*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 2010.
- [5] Levay, Radek. *iKvalita.cz kvalita pro kvalitáře*. 2012. [Cit. 3. 4. 2015]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=139>
- [6] Neugebauer, Tomáš. *Statistické řízení a regulace výrobního procesu*. Vysoké učení technické v Brně. 2008.
- [7] Noskiewiřová, Darja. *Pokročilejší metody SPC*. Katedra kontroly a řízení jakosti, VŠB-TU Ostrava. 2013.
- [8] Česká technická norma. *Techniky analýzy bezporuchovosti systémů - Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. Praha: Česká technická norma, 2007.
- [9] Ford Design Institute. *Failure Mode and Effects Analysis, FMEA Handbook (with Robustness Linkages)*. Ford Design Institute. 2004.
- [10] Veselý, Milan. *Použití metody FMEA pro prevenci chyb v průmyslovém podniku*. Vysoké učení technické v Brně. 2012.
- [11] Plato SCIO FMEA. *Plato SCIO FMEA*. Plato, 2015. [Cit. 2. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.plato.de/scio-fmea-en.html>

- [12] Česká společnost pro jakost. *Perspektivy kvality. Management rizik*. Česká společnost pro jakost, 2012.
- [13] Schreier. *PEVNOSTNÍ ANALÝZA - Úvod do FEM analýzy*. 2014. [Cit. 2. 1. 2015].
Dostupné z: sst.opava.cz/schreier/pevnostni-analyza.htm