



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

IDENTIFIKACE MOŽNÝCH VAD A JEJICH PREVENCE VE VÝROBĚ KOMPOZITNÍCH DÍLŮ

IDENTIFICATION OF POSSIBLE DEFECTS AND THEIR PREVENTION IN THE COMPOSITE COMPONENTS
MANUFACTURING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Rusek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Jan Rusek
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	Ing. Luboš Kotek, Ph.D.
Akademický rok:	2015/16

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

Identifikace možných vad a jejich prevence ve výrobě kompozitních dílů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Prevence chyb je zásadní nástrojem ke zvyšování efektivity výroby. Základním krokem pro prevenci chyb je jejich identifikace. Nejčastěji používaná systematická metoda v této oblasti je FMEA. Princip této metody je založen na zjišťování způsobu vad a jejich příčin a následků a následném stanovení nápravných opatření. Hlavní náplní této práce bude identifikace možných vad ve výrobě kompozitních (laminátových) dílů a prevence těchto vad.

Cíle diplomové práce:

Literární rešerše v dané oblasti.

Identifikace vad ve výrobě kompozitních (laminátových) dílů.

Navržení preventivních opatření a následná kontrola jejich účinnosti.

Vyhodnocení zmetkovitosti a reklamací za období před a po zavedení preventivních opatření.

Seznam literatury:

MIKULÁK, Raymond J., MCDERMONTT, Robin, BEAUREGARD, Michael . The Basic of FMEA. 2nd Edition. [s.l.] : Productivity Press, 2008. 95 s.

NENADAL, Karel. Moderní systémy řízení jakosti. Quality Management. Praha Management press, 1998.

Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA): referenční příručka. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008.

A practical approach to hazard identification for operations and maintenance workers. Hoboken, N.J.: Wiley, c2010.

LAŠ, Vladislav. Mechanika kompozitních materiálů. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004.


TALREJA, R a Chandra Veer SINGH. Damage and failure of composite materials. New York: Cambridge University Press, 2012.

ČSN EN 60812. Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA). UNMZ, 2007.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 10. 11. 2015





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce je využití metod FMEA a aplikace poznatků na výrobní proces společnosti Composite Components a.s. V teoretické části práce jsou podrobně rozebrány jednotlivé aplikace metody FMEA dle jejich využití. Praktická část práce se zabývá analýzou současné situace výrobního procesu společnosti Composite Components a.s. Získaná data jsou zpracována do PFMEA formuláře, jsou navržena nápravná opatření vedoucí ke snížení vnitřní zmetkovitosti a tato opatření poté vyhodnocena.

Klíčová slova

FMEA, výrobní proces, kritická místa, zmetkovitost, sklolaminát

ABSTRACT

A subject of the thesis is the usage of methods of FMEA and application of results on a making process of the Composite Components inc. In the theoretical part, the application of methods of FMEA are discussed, depending on its usage. The research part is about analysis of current situation of the working process of the Composite Components inc. The acquired data are written into PFMEA form. The corrective precautions leading to decreasing defects are designed and evaluated.

Key words

FMEA, manufacturing process, critical spots, defects, glass-reinforced part

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Rusek, Jan. *Identifikace možných vad a jejich prevence ve výrobě kompozitních dílů*. Brno 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 64 s. 1 příloha. Vedoucí práce Ing. Luboš Kotek Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „**Identifikace možných vad a jejich prevence ve výrobě kompozitních dílů**“, jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Luboše Kotka Ph.D. a s použitím odborné literatury, firemních zdrojů a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Datum

Bc. Jan Rusek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Luboši Kotkovi Ph.D. za vedení, ochotu a cenné připomínky při tvorbě diplomové práce. Za ochotu, odborný a vstřícný přístup při spolupráci děkuji pracovníkům společnosti Composite Components a.s.

Velké poděkování patří také méjí rodině, která mě podporovala během celého mého studia.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I Literární studie	11
1 Představení firmy	11
1.2 Výrobní sortiment.....	12
2 Metody analýzy rizik.....	13
3 Metoda FMEA	15
3.1 Obecný popis metody	15
3.2 Historické kořeny metody.....	15
3.3 Cíle a přínosy analýzy FMEA.....	16
3.4 Nevýhody analýzy FMEA.....	17
3.5 Řešitelský tým FMEA.....	18
3.6 Základní rozdělení metody FMEA.....	19
3.6.1 FMEA návrhu produktu (DFMEA).....	23
3.6.2 FMEA procesu (PFMEA)	25
3.6.3 FMEA systémová (SFMEA).....	25
3.7 Formuláře FMEA.....	26
3.8 Význam termínů ve formuláři FMEA	29
II Praktická část.....	31
4 Popis výrobního procesu.....	31
4.1 Obchodní oddělení.....	32
4.2 TPV.....	32
4.3 Modelárna.....	33
4.4 Laminace	34
4.4.1 Ruční metoda	34
4.4.2 RTM Metoda.....	35
4.4.3 Vakuově - vypěňovací technologie	36
4.5 Brusírna	37
4.6 Dokončovna.....	38
4.7 Kontrola	38
4.8 Expedice	39
5 Aplikace procesní FMEA (PFMEA)	40
5.1 Přípravná fáze	40
5.1.1 Důvody analýzy	40
5.1.2 Analýza nejčastějších vad	41

5.1.3	Sestavení týmu PFMEA	43
5.1.4	Sestavení hodnotících stupnic.....	43
5.2	Analýza rizik a návrhy preventivních opatření.....	46
5.2.1	Analýza obchod/nákup	46
5.2.2	Analýza kontroly vstupních surovin	47
5.2.3	Analýza technické přípravy výroby	47
5.2.4	Analýza procesu laminace.....	47
5.2.5	Analýza brusíren.....	50
5.2.6	Analýza dokončovny.....	51
5.2.7	Analýza kontroly	52
5.2.8	Analýza expedice	52
5.3	Kontrola účinnosti preventivních opatření	52
6	Dopady na míru Zmetkovitosti výroby.....	54
6.1	Počet neopravitelných výrobků	54
6.2	Podíl neopravitelných výrobků k dobrým výrobkům	54
6.3	Vnitřní procentuální zmetkovitost	55
7	Závěr.....	59
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	60
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	62
	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

ÚVOD

V současné době, kdy je na trhu nepřehledné množství firem v každém možném výrobním procesu, má zákazník právo vybírat si z velkého množství svých dodavatelů. Jedním z hlavních hledisek každého rozhodování zákazníka (a často tím nejpodstatnějším) je kvalita výrobku, a proto se každá výrobní firma neustále snaží zlepšovat svůj management kvality. Management kvality lze rozdělit do dvou fází: detekce a prevence. Detekce se zabývá metodami následné kontroly, která je v praxi finančně náročnější a v závěru není tak spolehlivá jako prevence. Prevence je fáze, díky níž jsme schopni eliminovat potencionální vady ještě dříve než fakticky nastanou, a tím docílit nižší zmetkovitosti výroby (zlepšit její efektivitu), lepší kvality, potažmo spokojenosti zákazníka.

Jednou ze základních metod prevence je metoda FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), nejčastěji překládána také jako „Analýza způsobů a důsledků poruch“. Díky této metodě jsme schopni odhalit hlavní nedostatky při návrhu či při výrobě, analyzovat možnosti pro zabránění opakovaného výskytu této chyby nebo alespoň omezit výskyt dané vady.

Teoretická část této práce je zaměřena na metody analýzy rizik podrobněji, dále seznamuje s analýzou FMEA, jejím historickým vývojem, účelem, pochopením použití této metody a shrnuje její výhody a nevýhody. Dále v této části rozdělují jednotlivé druhy analýzy podle použití a stručně je popisují.

Společnost Composite Components a.s., ve které byla zpracována praktická část této diplomové práce, se otázkou identifikace poruch dosud nezabývala. S rostoucím tlakem na kvalitu výrobků ze strany zákazníků bylo nutné zmapovat celý výrobní proces, odhalit úzká místa výroby z pohledu kvality a tato místa odstranit za pomoci nápravných opatření. Ke zjišťování informací o současné situaci ve společnosti byly použity interní materiály společně s použitím podnikového informačního systému a dlouholeté zkušenosti zaměstnanců společnosti. Výrobní proces byl zmapován po jednotlivých výrobních krocích s cílem odhalit možné vady včetně jejich příčin a následků. Výsledky jsou zpracovány ve formuláři společnosti a jsou přiloženy v příloze 1 této práce.

I LITERÁRNÍ STUDIE

1 PŘEDSTAVENÍ FIRMY

Firma Composite Components a.s. leží na okraji Chocně nedaleko Vysokého Mýta. Choceň bývala již historicky proslulým centrem výroby kompozitních a laminátových dílů zejména pro letecký průmysl. Po pádu minulého režimu začaly po garážích vznikat malé rodinné firmičky. Jedním z těchto podnikatelů se stal také Karel Klenor, který založil rodinnou firmu KLN. Tato firma se zpočátku specializovala na výrobu pro letecký průmysl, ale časem se začaly vyrábět i kompozitní díly pro nedaleké autobusové výrobce Karosa a SOR Libchavy. Jméno rodinné firmy se postupem času dostalo i za hranice a firma začala vyrábět díly i pro skupinu holandských výrobců autobusů VDL. Firma se však sérií špatných rozhodnutí dostala v roce 2006 do existenčních problémů (insolvence), následně ji odkoupila nově vzniklá firma Composite Components a.s. (2007).

V současné době je výroba laminátových dílů realizována v unikátních prostorách (obrázek 1.1), které byly od samého počátku koncipovány pro specifickou výrobu laminátových a kompozitních dílů. Firma se nyní zabývá převážně výrobním sortimentem pro autobusový průmysl (jak interiérový tak exteriérový), ale sortiment postupně obohatili další známí zákazníci jako TATRA Trucks, IVECO, Zetor, Škoda Transportation, Agrio, ISOPLUS – EOP a další [1].



Obr. 1.1 Sídlo společnosti Composite Components a.s. [1].

1.2 Výrobní sortiment

Composite Components a.s. je společnost, která se zabývá výrobou laminátových dílů v automobilové výrobě, převážně pak dílů pro autobusy. Dodává výrobky počínaje jednoduchými laminátovými díly až po části sestav autobusů. V současné době firma vyrábí stovky výrobků, které jsou velikostně velmi rozdílné, od malých nouzových tlačítek až po celé zadní bloky autobusů, tvarově různorodé a hmotnostně velmi odlišné.

V současné době lze rozdělit sortiment firmy do několika základních oblastí:

- blatníky a nárazníky
- přední a zadní panely
- kapoty
- přístrojové desky
- stropní panely
- nádrže
- krycí materiál

Na obrázku 1.2 lze vidět barevné varianty dílů.



Obr. 1.2 Ukázka části sortimentu firmy [2].

2 METODY ANALÝZY RIZIK

Každý průmyslový podnik, zabývající se výrobou, má ve svém výrobním procesu velké množství rizik, která mohou ovlivnit výrobní činnost, zdraví zaměstnanců či dopad na životní prostředí. Dle zákona č. 262/2006 Sb. má každý zaměstnavatel povinnost se analýzou těchto rizik zabývat a předcházet jim. Zákoník práce není ale jediný důvod. Předcházení vad je také ekonomický faktor a má vliv také na spokojenost zákazníka. Z tohoto důvodu je potřeba se těmito metodami hlouběji zabývat.

V současné době lze k analýze rizik použít mnoho různorodých metod. Tyto metody vznikaly v mnoha případech jako analýzy rizik určitého podniku, avšak pro svoji účinnost se rozšířily i mezi ostatní podniky. Každou metodu analýzy rizik lze zařadit mezi induktivní či deduktivní metody. Deduktivní metody se zabývají analýzou již vzniklého problému, který v praxi u nás nebo v podobném podniku již nastal a jehož příčiny by se mohly vyskytnout i v našem procesu. Naproti tomu induktivní metody umožňují předvídat možné poruchy, které se ještě nestaly a pomáhají nám odhalit možná místa vzniku vady. Z ekonomického hlediska je daleko prospěšnější zabývat se induktivními metodami než metodami deduktivními. Jinak řečeno, je lepší vadě předcházet před zavedením výroby než zpětně odstraňovat její důsledky. Pro úplnost se pokusím přiblížit čtenáři pět tradičních metod hodnocení rizik [15,16,18].

Metoda PNH

Jedná se o jeden z nejjednodušších nástrojů pro hodnocení rizik. Dané riziko je posuzováno ve třech jeho složkách (z prvních písmen je také složena jeho zkratka), a to s ohledem na:

1. Pravděpodobnost výskytu (P)
2. Závažnost následků (N)
3. Názor hodnotitelů (H)

Nejčastěji se s touto metodou setkáme u analýz, kde není dostatek času či financí na podrobnější analýzu. Hovoříme zde o polokvantitativní metodě, při které postupně dle vlastní stupnice bodujeme výše uvedené složky. K ohodnocení se nejčastěji používá číselná stupnice 1 až 5 s hodnocením 1 – nejlepší a 5 – nehorší. Po vyhodnocení jednotlivých složek tyto hodnoty mezi sebou vynásobíme. Získaná hodnota nám dané riziko zařadí do rizikových kategorií. Záleží pouze na dané osobě, aby si nastavila přijatelné riziko a zaměřila se na ty nevyhovující [15,18].

Metoda HAZOP

Taktéž název druhé z metod je zkratkou z anglického názvu Hazard and operability study, do češtiny překládané jako studie nebezpečí a provozuschopnosti. Tato metoda se řadí mezi složitější metody jak časovou náročností, tak také rozsahově, a nahrazuje nám metodu „What - If“. Díky uvedené metodě jsme schopni odhalovat možné scénáře událostí a jejich příčiny. Podobně jako později zmíněná metoda FMEA je i tato metoda metodou týmovou, vedenou odbornou diskuzí nad danou problematikou [15,16].

Metoda FTA

Zkratka FTA pocházející z anglického názvu Fault tree analysis (analýza stromu poruchových stavů). Graficko-analytická metoda je postupem založeným na systematickém zpětném rozboru událostí za využití řetězce příčin vedoucích od následků k příčinám (vrcholové události). Jedná se tedy o analýzu deduktivní. Výstupem této metody je rozvětvený logický graf, připomínající rozvětvený strom, zobrazující různé kombinace poruch zapříčiňující vrcholovou událost. Hlavními nevýhodami jsou [15,16,17]:

1. Možnost pouze dvou stavů rozhodujícího bloku a to buď pracuje nebo je v poruše.
2. Velmi zdlouhavé hledání všech možných příčin vrcholové události.

Metoda ETA

V názvu předposlední metody můžeme nalézt opět zkratku tvořenou prvními písmeny anglického názvu Event tree analysis, překládaného jako analýza stromu událostí. Na první pohled se výstup této graficko-statistické metody příliš neliší od výstupu metody FTA. Tato metoda je však metodou induktivní. Jejím výstupem je logický graf zobrazující strom událostí od příčin k následkům [15,16].

Metoda FMEA

Jedná se o induktivní systematickou metodu. Její hlavní výhodou je její možnost využití v mnoha různých odvětvích a různých etapách výroby výrobku. Z tohoto hlediska se jedná o nejlepší metodu pro procesní analýzu pro společnost Composite Component a.s. V další části se zaměřím na tuto metodu podrobněji [5,8,16].

3 METODA FMEA

3.1 Obecný popis metody

Tento název je zkratkou z anglického Failure Mode and Effects Analysis a v české odborné literatuře se nejčastěji překládá jako analýza způsobů a důsledků poruch. Jedná se o preventivní analytickou metodu, jejímž systematickým postupem dokážeme identifikovat možné vady v době vývoje návrhu a procesu.

Primárním účelem této analýzy je zjištění potencionálního místa vzniku, příčin a důsledků těchto vad a na základě těchto informací navrhnout taková opatření, která by snížila četnost a příčiny vad a v ideálním případě je zcela eliminovala. Díky odhalení míst s možným rizikem vzniku vad a jejich odstraněním klesá zmetkovitost i podíl možných reklamací, což má vliv na finanční stránku firmy, nehledě na to, že odhalená chyba při výrobním procesu je finančně řádově mnohem levnější než následné reklamace od zákazníka.

Nedílnou součástí úspěchu metody FMEA je její včasnost zavedení. Pro zvýšení efektivity je dobré provádět analýzu před zahájením výroby nového produktu či před zahájením výrobního procesu. To zejména u těch výrobků či procesů, u kterých lze očekávat komplikace výroby. S rostoucí dobou odkládání analýzy se dají očekávat komplikovanější změny výroby, které by vady zmírnily, s čímž je spojena jak časová, tak finanční náročnost případných opatření. Je však možné jí zavést i v již probíhající výrobě, jak je dále popsáno.

V dnešní době je čím dál více využívaná metoda FMECA (Failure Mode Effects and Criticality Analysis). Jedná se o obdobný postup jako u metody FMEA, avšak rozšířený o kritičnost odhalených poruch, jelikož obsahuje kvantitativní vyjádření rizik. I když je většinou používána metoda FMECA, je často chybně označována jako metoda FMEA.

Použití metody FMEA je dnes nedílnou součástí normy souboru ISO 9001:2015 a v autobusové výrobě je požadována všemi zákazníky jako důkaz toho, že výrobce udělal maximum pro kvalitu dodávaného výrobku. Odhalitelnost možných neshod touto metodou dosahuje až 90% [4,5,7].

3.2 Historické kořeny metody

Poprvé byla tato metoda využita v roce 1944 v USA ve firmě Lockheed, která se zabývala výrobou letadel a jednalo se o použití u prvního bojeschopného proudového letounu P – 80 Shooting Star. První formálně popsané postupy pro

zavedení této metody byly zveřejněny v roce 1949 ve vojenském předpise MIL-P- 1629 pro postup hodnocení spolehlivosti tak, aby dokázaly analyzovat možné následky vad systémů a zařízení. Předpis obsahoval návod, jak se vyvarovat chyb při používání armádních strojů a zařízení. V 60. letech zavedli ve Ford Motor Company analýzu FMEA pro řešení problémů s bezpečností a předpisy týkající se vozu Ford Mustang. Koncem 60. let byla analýza použita Národním úřadem pro letectví a kosmonautiku (zkráceně NASA) v programu Apollo. V tomto programu šlo o zmírnění rizik, čímž z metody FMEA udělala NASA techniku pro spolehlivostní analýzu systémů v rámci svého výzkumu.

Dalšími odvětvími, která začala využívat metody k prevenci výskytu neshod, byl například letecký průmysl a jaderná energetika. Avšak největší zásluhu na současné podobě metody má automobilový průmysl. V roce 1977 se poprvé nasadila analýza do sériového výrobního procesu ve firmě Ford Motor Company. Mělo to přímou souvislost s osobním vozem Ford Pinto a jeho špatnou kvalitou palivové nádrže. Při malém nárazu se nádrže porušily a automobily se velmi často vznítily, jednalo se o tzv. „aféru Pinto“.

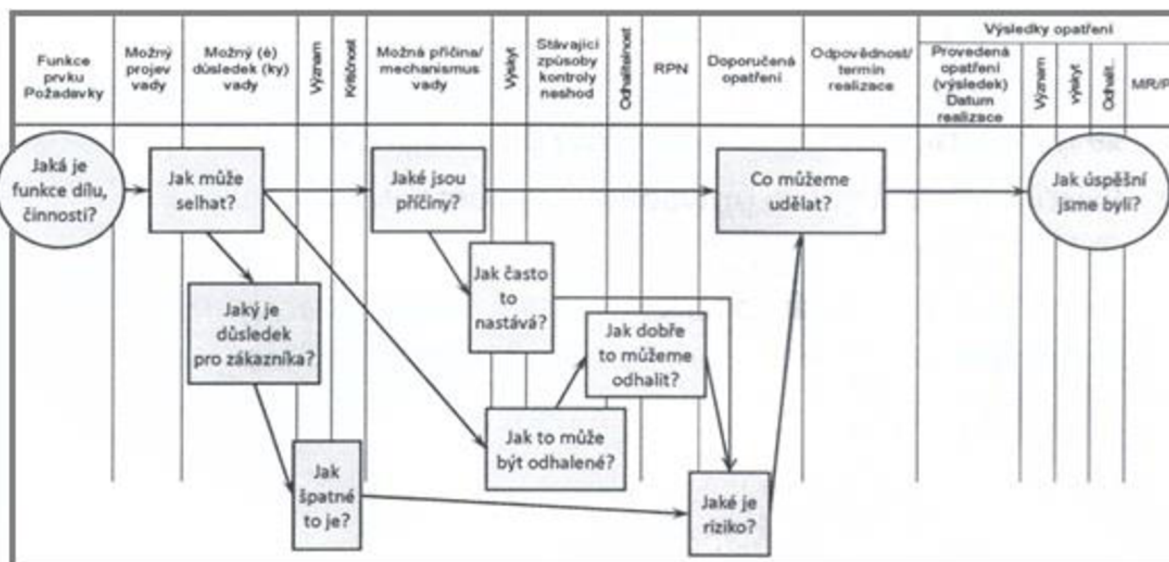
Začátkem let 80. byla metoda standardizována do jednotné příručky a zasazena do norem amerických výrobců automobilů QS 9000. Od poloviny 80. let se FMEA využívá v německém automobilovém průmyslu (VDA). Od 90. let se tato metoda rozšířila do mnoha odvětví průmyslové výroby [6,8,12,19].

3.3 Cíle a přínosy analýzy FMEA

V dnešní době, kdy chce mít každý zákazník garantovanou stoprocentní kvalitu svých produktů, se i cíle metody odvíjí od tohoto trendu. FMEA je aplikována v mnoha odvětvích, s nimiž souvisí její rozdílné cíle a přínosy. Obecná myšlenková mapa (viz. Obr. 3.1) a hlavní cíle však zůstávají ve všech oborech podobné, lze mezi ně řadit zejména:

- zajistit, aby navržené a vyrobené produkty splňovaly požadavky a očekávání zákazníka v oblasti spolehlivosti,
- identifikovat a snížit rizika v oblasti bezpečnosti,
- stanovit priority akcí ke snížení rizika s přesunem od řešení vzniklých problémů k jejich předcházení,
- snížit náklady spojené s reklamacemi, opravami, dodatečnými změnami,
- usměrnit plány testování a verifikace produktu a procesu,
- dodržovat termíny dodávek,

- zlepšit interní i externí komunikaci se zákazníky i dodavateli,
- posoudit dopad změn na návrh produktu a procesu,
- stanovit význačné charakteristiky produktu a procesu [4,5,8,14].



Obr. 3.1 Obecná myšlenková mapa analýzy FMEA [8].

Z výše uvedených cílů plynou následující přednosti:

- **Větší spokojenost zákazníka:** pomůže identifikovat požadavky zákazníka a jejich dosažení při zlepšení spolehlivosti a bezpečnosti.
- **Podporuje důkladnost:** zvyšuje pravděpodobnost, že všechny potenciální způsoby poruch a následky budou podchycené.
- **Snižuje úsilí vynakládané vývojovým týmem:** zkracuje čas pro uvedení na trh, čas pro dosažení objemu výroby a snižuje celkové náklady.
- **Usměrňuje plánování testů:** zaměřuje vývoj testovacích plánů.
- **Poskytuje dokumentaci:** vyplývající rizika ukazuje pracovníkům, členům týmu, managementu a dodavatelům.

3.4 Nevýhody analýzy FMEA

FMEA je metoda pružná, metoda obsahující plno výhod, ale má také určité nedostatky. Jako nedostatek je možno uvést velké množství informací, projevující

se zejména ve složitých systémech. Dále pak v případě, že je metoda zaváděna poprvé a je potřeba zpracovat velké množství informací o procesu. Ve velkém množství informací se nemusí pokaždé nalézt veškerá slabá místa, a proto je potřeba se k analýze neustále vracet a tuto analýzu revidovat. Jako hlavní nedostatek lze tedy uvést časovou náročnost a s ní spojenou finanční nákladnost celé analýzy.

3.5 Řešitelský tým FMEA

Jak jsem již naznačil v úvodu této práce, FMEA je práce týmová. Díky zapojení více osob z jednotlivých oblastí, kterých se projekt FMEA dotýká, je zaručen psychologický efekt, který spočívá v zodpovědnosti zainteresovaných lidí za projekt. Tímto efektem můžeme docílit toho, že projekt bude podporován po celou dobu a nebude na něho nahlíženo jako na další nesmyslné nařízení. Členy týmu a následně vzniklý tým svolává řešitel projektu, který by si měl vybírat ke spolupráci osoby odpovědné a pokud možno odborníky z dotčených oblastí, kterou výrobek či proces prochází. Do těchto oblastí by neměly patřit pouze oblasti samotné výroby/procesu, ale také osoby zajišťující dodávky vstupního materiálu, obchodníci, a to z důvodu zahrnutí veškerých možných rizik.

Doporučení pro velikost týmu je velmi složitá záležitost. Obvykle se v literatuře či na odborných školeních dozvíte, že ideální počet je 5 až 8 členů v závislosti na obtížnosti a rozpětí řešené problematiky. Při větším počtu zahrnutých osob je samotné řešení problematiky zbytečně zdlouhavé, avšak někdy není ke škodě přizvat si do týmu externí osobu, která není odborníkem a může týmu přispět svým laickým pohledem. Týmová práce má mnoho výhod a je pro ni typické kupříkladu:

- Rozdílný pohled na problematiku od různých odborníků.
- Vzájemná spolupráce osob, která zlepšuje vzájemnou komunikaci mezi souvisejícími odvětvími i mimo řešenou analýzu.
- Rozšíření povědomí o problémech jiných oddělení.
- Získání nových zkušeností.
- Vzájemná inspirace v řešení problému.

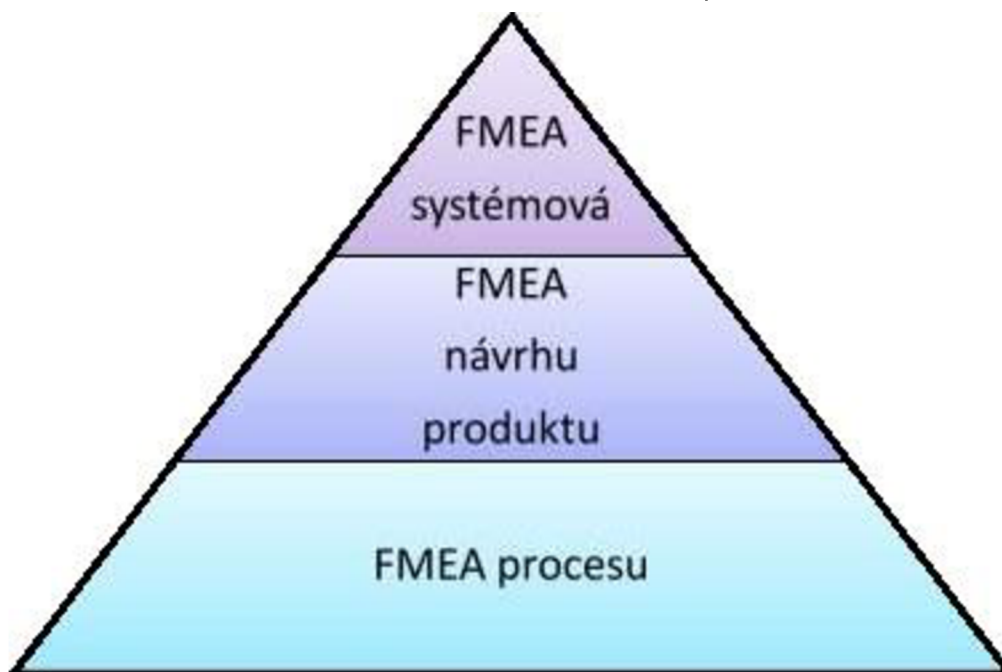
Zásadními vlastnostmi pro výběr osob do týmu jsou jejich komunikační schopnosti, schopnost naslouchání návrhů druhých, přijímání kompromisů, snaha dohodnout se a schopnost řešit konflikty. Řešitel analýzy je také někdy nazýván jako moderátor a v týmu má nezastupitelnou roli. Je to právě on, jak již bylo řečeno,

kdo si osoby do týmu vybírá, je to osoba, která zodpovídá za svolávání týmu, efektivnost schůzek a za vyhotovení analýzy [4,8,9,14].

3.6 Základní rozdělení metody FMEA

Metoda FMEA je velmi pružnou analýzou a lze jí aplikovat mnoha způsoby. Mezi ty nejpoužívanější patří rozdělení do tří skupin. Rozdělení je graficky znázorněno na obrázku 3.2.

- 1) **FMEA systémová (SFMEA)** – analýza systémů a subsystémů v raném stadiu a zaměření se na interakce mezi systémy a jejich elementy.
- 2) **FMEA návrhu produktu (DFMEA)** – analýza rizik možných vad u výrobků, jejich částí a prvků.
- 3) **FMEA procesu (PFMEA)** – analýza rizik možných vad v průběhu navrhovaného procesu.



Obr. 3.2. Obecná struktura metody FMEA [8].

Pro vyhotovení každé z výše uvedených metod je vypracován postup, který je rozdělen do tří fází, kterými jsou:

- Analýza a hodnocení rizika současného stavu.

- Návrhy preventivních opatření.
- Hodnocení stavu rizika po realizaci opatření.

Tyto fáze mají ve všech případech podobnou interpretaci, a proto si je ještě před samotným rozdělením podrobněji popíšeme, abychom tak nemuseli činit u každé skupiny.

Analýza a hodnocení rizika současného stavu

Práce každého týmu FMEA začíná seznámením se s požadavky a potřebami zákazníka, jednotlivými analyzovanými díly, funkčními charakteristikami a potřebnými dokumenty. Všechny tyto úkony by měl mít na starosti hlavní řešitel (často moderátor), který celý tým navenek zastupuje. Poté se ve složitějších případech zkoumaná oblast rozčlení do menších pododdílů. Obvykle se zpracovává blokové schéma analyzovaného systému, který zobrazuje základní vztahy mezi zkoumanými prvky a logicky rozčleňuje rozsáhlé a komplikované systémy na pododdíly. V jednotlivých pododdílech je začátek analýzy na nejnižší úrovni. Na této úrovni se posléze vyhotoví analýza všech možných vad či neshod, které se na ní mohou vyskytnout. Každá vada se posuzuje jednotlivě a projevuje se jako porucha na nejbližší vyšší hladině systému. Tým každou tuto vadu zapíše do formuláře jako fyzikální jev. Pozornost týmu by se také měla věnovat nestandardním podmínkám provozu a jeho možným důsledkům. Obdobným způsobem se postupuje stále výše až po identifikaci důsledků pro systém jako celek [5,6,8,10,11].

Po vyhotovení analýzy současného stavu přichází na řadu zhodnocení jednotlivých zjištěných vad či neshod. K tomuto účelu nám slouží hodnocení ze tří hledisek. Jsou jimi:

- Závažnost (význam vady).
- Pravděpodobnost výskytu vady.
- Pravděpodobnost detekce vady.

K vyhodnocení těchto hledisek využíváme hodnotící stupnice (viz. Tabulka 1-3), dle kterých přidělujeme každé zjištěné vadě či neshodě hodnocení nejčastěji od 1 do 10. Ve chvíli, kdy určitý projev vady může vést k více následkům, se dané číselné hodnocení vztahuje k nejzávažnějšímu následku vady [6,8,11].

Po zhodnocení jednotlivých vad či neshod ve formuláři, kterým jsme přiřadili čísla, vypočítáme tzv. číslo priority rizika (RPN), které je součinem hodnocení

závažnosti, pravděpodobnosti výskytu a pravděpodobnosti detekce. Díky tomuto číslu odhalíme nejrizikovější vady či neshody. Je pak na každém týmu, aby si určil, jak velké riziko je ještě ochoten akceptovat a na která rizika se musí zaměřit [6,8,11].

Tabulka 1 Možná kritéria hodnocení závažnosti FMEA procesu [11].

Důsledek	Kritéria závažnosti důsledku	Známka
Kritický bez výstrahy	Velmi vysoké hodnocení závažnosti, když možný způsob závady ohrožuje bezpečný provoz zařízení nebo znamená nesplnění závazného předpisu s výstrahou	10
Kritický s výstrahou	Velmi vysoké hodnocení závažnosti, když možný způsob závady ohrožuje bezpečný provoz zařízení a znamená nesplnění závazného předpisu s výstrahou.	9
Velmi závažný	Zařízení nefunkční (ztráta základní funkce).	8
Závažný	Zařízení funguje, ale úroveň výkonu je snižena. Zákazník je velmi nespokojen.	7
Mírný	Zařízení/prvek funguje, ale položky určující pohodlí nefungují. Zákazník je nespokojen.	6
Nízký	Zařízení/prvek funguje, ale objekt podmiňující pohodlí fungují se sníženým výkonem. Zákazník je poněkud nespokojený.	5
Velmi nízký	Skřípot a drčení. Objekt není ve shodě s požadavky. Vady si všimne většina zákazníků (přes 75%).	4
Nepatrný	Skřípot a drčení. Objekt není ve shodě s požadavky. Vady si všimne 50% zákazníků	3
Zanedbatelný	Skřípot a drčení. Objekt není ve shodě s požadavky. Vady si všimnou nároční zákazníci (méně než 25%).	2
Žádný	Žádný znatelný důsledek	1

Tabulka 2 Možná kritéria hodnocení pravděpodobnosti výskytu vady FMEA procesu [11].

Pravděpodobnost vady	Ppk	Možná četnost závad	Bodování
Velmi vysoká: neustálé závady	< 0,55	≥ 100 na 1000 ks	10
	≥ 0,55	50 na 1000 ks	9
Vysoká: časté závady	≥ 0,78	20 na 1000 ks	8
	≥ 0,86	10 na 1000 ks	7
Mírná: občasné závady	≥ 0,94	5 na 1000 ks	6
	≥ 1	2 na 1000 ks	5
	≥ 1,1	1 na 1000 ks	4
Nízká: málo závad	≥ 1,2	0,5 na 1000 ks	3
	≥ 1,3	0,1 na 1000 ks	2
Vzácná: nepravděpodobná závada	≥ 1,67	≤ 0,01 na 1000 ks	1

Tabulka 3 Možná kritéria hodnocení pravděpodobnosti detekce vady FMEA procesu [11].

Odhalení	Kritéria	Návrh rozsahu metod odhalení	Známka
Téměř vyloučeno	Absolutní jistota, že nebude odhaleno	Nedá se odhalit nebo se nekontroluje.	10
Velmi nepravděpodobné	Nástroje řízení závadu pravděpodobně neodhalí.	Řízení se provádí jen nepřímou nebo náhodnými kontrolami.	9
Nepravděpodobné	Nástroje řízení mají malou šanci závadu odhalit.	Řízení se provádí jen vizuální kontrolou	8
Velmi nízká pravděpodobnost	Nástroje řízení mají malou šanci závadu odhalit.	Řízení se provádí jen dvojí vizuální kontrolou	7
Nízká pravděpodobnost	Nástroje řízení mohou závadu odhalit	Řízení se provádí pomocí diagramů jako je SPC.	6
Mírná pravděpodobnost	Nástroje řízení mohou závadu odhalit	Řízení se opírá o měření, když součásti opustily pracoviště, nebo kontrolu kalibrem sta procent součástí, když opustily pracoviště.	5
Poněkud vyšší pravděpodobnost	Nástroje řízení mají dobrou šanci závadu odhalit.	Odhalování chyb v následných operacích, nebo kontrola kalibrem prováděná po seřízení a kontrola prvního kusu (jen po seřizování).	4
Vysoké pravděpodobnost	Nástroje řízení mají dobrou šanci závadu odhalit.	Odhalení chyb na pracovišti nebo v následujících operacích vícenásobnými přejímkami: při dodání, výběru, instalaci, verifikaci. Nedají se převzít neshodné součásti.	3
Velmi vysoká pravděpodobnost	Nástroje řízení téměř s jistotou závadu odhalí.	Odhalení chyb na pracovišti (automatické měření s automatickým pozastavením). Nemůže propustit neshodné díly.	2
Téměř jistota	Nástroje řízení odhalí závadu s jistotou.	Neshodné součásti se nedají vyrobit, protože prvek byl návrhem procesu/výrobku proti vzniku vad zajištěn.	1

Návrh opatření

Po výše popsaném kroku si každý tým určí vlastní hranici akceptovatelné míry rizika. U výrobců dodávajících produkty do další výroby je stále častější tlak zákazníků na výrobce, aby snižovali akceptovatelné hranice, a to z důvodu vyšší kvality celkového výrobku. Jako příklad uvedu požadavky koncernu CHN Industrial, pod který spadá dřívější firma Karosa, kde se zavedením metody FMEA byla akceptovatelná míra rizika na úrovni 150 bodů. V současnosti je tato hodnota 120 bodů s tím, že v budoucnu se bude zřejmě opět tato hranice snižovat.

Ve chvíli, kdy přesáhne skutečná míra rizika maximální hranici, je třeba, aby se tým zamyslel nad možnými nápravnými kroky, které by míru rizika snížily. Při sestavování těchto opatření je nutné využít znalostí odborníků z dané oblasti, a to zejména kvůli zjištění, zda dané kroky budou mít kýžený efekt. V opačném případě je nutné nalézt jiná možná opatření. Ve chvíli, kdy se tým shodne na nápravných krocích, jsou tyto úkoly zadány konkrétním osobám či týmům, které jsou zodpovědné za realizaci v požadovaném termínu. V tento okamžik končí týmová realizace analýzy FMEA a nastává práce na realizaci opatření [5,6,8,10,11].

Hodnocení stavu po realizaci opatření

Stejný řešitelský tým FMEA se začne zabývat hodnocením přínosů opatření ve chvíli, kdy jsou všechna navržená zlepšení nějaký čas aplikována tak, aby mohla posoudit dopady na kvalitu. Na základě původních kritérií tým hodnotí všechna tři hlediska a vypočítá nové číslo kritičnosti. Pokud ovšem i přes nápravná opatření míra rizika neklesne pod požadovanou hranici, musí tým vymyslet další kroky jak rizikovost snížit. Celý proces se opakuje tak dlouho, dokud míra rizika neklesne pod požadovanou hodnotu. V tuto chvíli může být výrobce spokojen s tím, že eliminoval kritická místa výroby. V tento okamžik by měl řešitelský tým FMEA začít s řešením dalších bodů analýzy s nejvyšší hodnotou čísla RPN. Jak již bylo v této práci uvedeno: je lepší problémům předcházet než je následně odstraňovat, což je také hlavním konceptem metody FMEA [5,6,8,10,11].

3.6.1 FMEA návrhu produktu (DFMEA)

Tato aplikace analýzy odhaluje samotný problém v době jeho návrhu a bývá požadována konstruktérem nebo konstrukčním týmem z důvodu uvážení a řešení veškerých problémů a důsledků, které by mohly nastat během výroby nebo

používáním výrobku. Z tohoto důvodu je třeba, aby v řešitelském týmu byli zástupci všech oblastí, kterými výrobek při výrobě projde. Cílem je, aby bylo zajištěno co nejúplnější zkoumání konstrukčního návrhu a ještě před jeho schválením realizovat opatření, která by nedostatky, a s nimi související příčiny, eliminovala. Pokud hlavní řešitel problému nemá dostatečné zkušenosti s vedením týmové práce, nebývá od věci přizvat si zkušeného instruktora, který mu s tím pomůže. Této osobě je nutné poskytnout veškeré dokumenty potřebné k řešení, aby se lépe zorientovala v dané problematice a připravila se na vedení realizačního týmu [5,6,8,10,11].

Nejčastěji se metoda DFMEA používá v situacích, kde jde o:

- Koncept nového produktu a jeho změn.
- Koncept aplikace jiného materiálu.
- Změnu potřeb zákazníka.
- Změnu aplikace produktu v jiných podmínkách.
- Změnu bezpečnostních a ekologických předpisů.
- Produkt, který vykazoval nedostatky.
- Produkt, u něhož lze předpokládat potíže [8,10].

DFMEA omezuje rizika závad následujícími kroky:

- Vyhodnocuje stávající proces a vytváří jiné alternativní návrhy.
- Zvyšuje pravděpodobnost, že budou závady zváženy již v procesu návrhu.
- Vytváří seznam možných závad podle dopadů na zákazníka.
- Vytváří systém priorit pro zlepšení návrhu [8,10].

DFMEA nespočívá pouze na řízení procesu, ale bere také v úvahu fyzikální a technické omezení výrobního procesu, kterými často bývají:

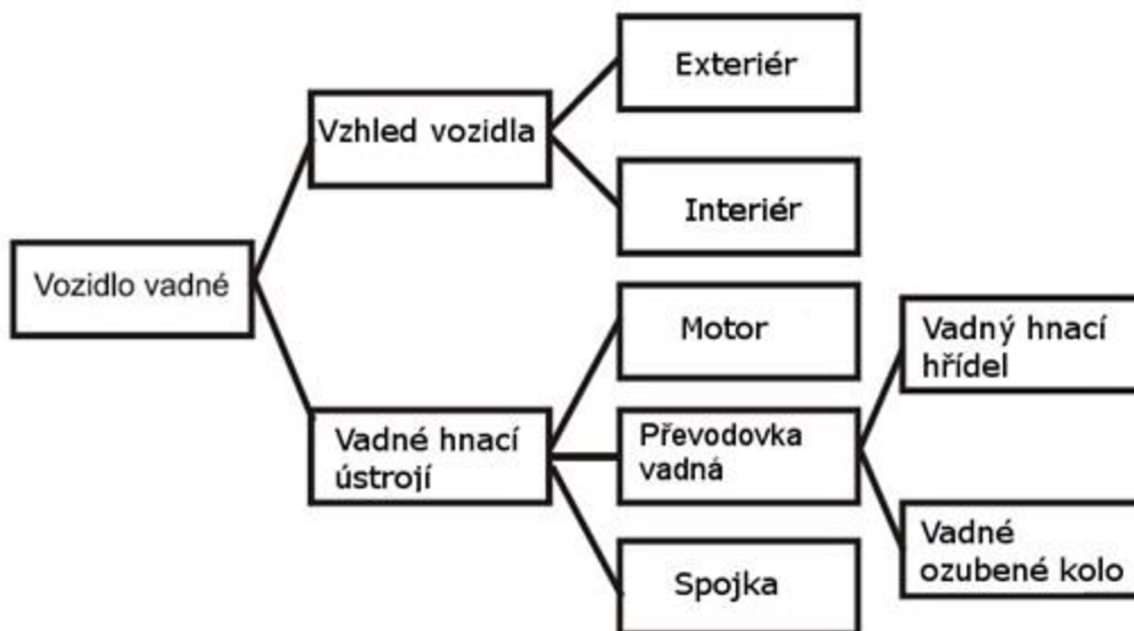
- Dosažitelná kvalita povrchu.
- Výrobní prostor.
- Výrobní nástroje a přístroje.
- Tolerance.
- Výkonnost [8,10].

3.6.2 FMEA procesu (PFMEA)

Procesní FMEA je analytickou metodou podobnou první popisované metodě a to s tím rozdílem, že řešitelský tým nebo pověřená osoba se ujistí, že byly vzaty v potaz a řešeny všechny druhy vad a s tím spojené příčiny. Z této krátké poučky plyne návaznost procesní FMEA na FMEA návrhu produktu, odkud může čerpat informace. Nově hledané nedostatky by se neměly již týkat konstrukčního řešení, ale technologického postupu výroby. Metodou analyzujeme výrobu nových či inovovaných výrobků a případné dopady při změnách technologie výroby. Přestože FMEA procesu je primárně určena k přezkoumávání a optimalizaci nového technologického postupu, je také cenným nástrojem pro analýzu stávajícího používaného technologického postupu. Umožňuje totiž odhalit úzká místa výroby a tím iniciovat její zlepšení. Provedením FMEA procesu bývá pověřen pracovník technologie či tým technologů, kteří předkládají týmu možné návrhy zlepšení technologie výroby. Procesní FMEA by měla obsahovat všechny výrobní procesy až po expedici výrobků zákazníkovi, které by měly být zaznamenány ve výrobním diagramu. Tento diagram by měl být součástí analýzy [5,6,7,11,12].

3.6.3 FMEA systémová (SFMEA)

Poslední a nejnovější z modifikací FMEA je FMEA systémová. Tato metoda je modifikací dvou již uvedených metod s dalšími rozšiřujícími kroky. Hlavním rozšiřujícím krokem je rozdělení (strukturování) systému na jednotlivé prvky a popsání funkčních závislostí mezi nimi. Při analýze současného stavu se důsledně uplatňuje systémový přístup. Za tímto účelem se používají vývojové diagramy, které nám pomohou k popsání hierarchie a jednotlivých souvislostí mezi analyzovanými prvky. Příklad vývojového diagramu vadného vozidla je zobrazen na obrázku 3.3 pod odstavcem. Tato metoda je nejčastěji používána při analyzování výrobních procesů, například ve výrobě, plánování nebo logistice [5,6,8,10,11,13].



Obr. 3.3 Ukázka systémové struktury systému [13].

3.7 Formuláře FMEA

Každá z výše uvedených normovaných modifikací FMEA má na první pohled stejný záznamový formulář (ačkoli tomu tak není), do kterého se body analýzy zaznamenávají. Tyto formuláře jsou pro větší přehlednost v tabulkové formě a mohou se drobně lišit dle požadavků jednotlivých firem. Základní informace by ale měly obsahovat vesměs stejné. Na následujících stránkách v tabulkách 4 a 5 lze vidět příklady jednotlivých záznamových formulářů FMEA. Pro účely analýzy ve společnosti Composite Components a.s. byl ovšem použit vlastní formulář [5,11].

Tabulka 4 Ukázka záznamového formuláře pro FMEA návrhu produktu (DFMEA) [11].

Systém:		Číslo FMEA:
Subsystém:		
Komponent:		Strana z
Rok výroby modelu:		Vypracoval:
Řešitelský tým:		Datum vypracování:
ANALÝZA MOŽNÝCH ZPŮSOBŮ A DŮSLEDKŮ PORUCH (DFMEA)		
Odpovědnost za návrh produktu:		
Rozhodné datum:		
Objekt (funkce)		
Požadavek		
Možný způsob poruchy		
Možný důsledek poruchy		
Závažnost		
Klasifikace		
Možná příčina poruchy		
Stávající návrh		
Nástroje řízení prevence	Výskyt	
Nástroje řízení detekce	Odhalení	
RPN		
Doporučené opatření		
Výsledky opatření		
Přijaté opatření	RPN	
Závažnost	Odhalení	
Výskyt		

Tabulka 5 Ukázka záznamového formuláře pro FMEA procesu (PFMEA) [11].

Číslo FMEA: Strana z Vypracoval: Datum vypracování:	ANALÝZA MOŽNÝCH ZPŮSOBŮ A DŮSLEDKŮ PORUCH (PFMEA)		RPN		RPN														
					Doporučené opatření		Odhalení												
					Výsledky opatření		Výskyt												
					Přijaté opatření		Závažnost												
Odpovědnost za proces: Rozhodné datum:	Rok výroby modelu:	Řešitelský tým:		RPN															
				Stávající proces		Odhalení													
				Nástroje řízení detekce		Výskyt													
				Nástroje řízení prevence															
Název procesu:	Možný způsob poruchy	Možný důsledek poruchy	Možná příčina poruchy	Klasifikace	Závažnost	RPN	Odhalení	Výskyt	Přijaté opatření										
										Požadavek	RPN	Odhalení	Výskyt	Přijaté opatření					
															Krok procesu (funkce)	RPN	Odhalení	Výskyt	Přijaté opatření

3.8 Význam termínů ve formuláři FMEA

Na předchozích dvou stranách byly znázorněny základní formuláře DFMEA a PFMEA. Obě tabulky obsahují velké množství informací, které se zapisují do příslušných sloupců. V této podkapitole si jednotlivé sloupce vysvětlíme, aby bylo jasné, jaké informace do příslušného sloupce patří zapsat. Pro účely těchto formulářů se používají uvedené definice:

- **Objekt/prvky**

Jakákoliv část, součást, zařízení, subsystém či funkční jednotka, kterou je třeba se individuálně zabývat při jednotlivých analýzách. Jako objekt může být definován též proces, který provádí předem stanovenou funkci a u něhož se provádí analýza FMEA nebo FMECA procesu.

- **Funkce**

Funkce analyzovaného objektu nebo rozhraní, které jsou nezbytné pro splnění záměru návrhu produktu vycházejícího z požadavků zákazníka a z diskuze týmu. Při více funkcích se uvádí samostatně.

- **Požadavky**

Tyto informace mohou a nemusí být uvedeny. Požadavky mohou být definované zákazníkem, předpisy, prostředím, specifikací nebo požadavky výrobního procesu.

- **Možné způsoby poruchy**

Způsob, kterým může komponent, podsystém nebo systém selhat při plnění zamýšlené funkce. Po samotném vyplnění je dobré provést validaci kompletnosti – porovnání s dřívějším selháním.

- **Možné důsledky poruchy**

Důsledky způsobu poruchy na danou funkci z pohledu zákazníka. Symptomy pozorované zákazníkem.

- **Závažnost**

Hodnocení spojené s nejzávažnějším důsledkem pro daný způsob poruchy. Určuje se bez ohledu na pravděpodobnost výskytu nebo detekce.

- **Možné příčiny způsobu poruchy**

Identifikace všech možných příčin způsobu poruch je klíčová pro následnou analýzu.

- **Nástroje řízení prevence/detekce**

Metody nebo činnosti, které jsou již naplánovány nebo se provádějí jako součást procesu návrhu produktu k odstranění příčiny poruchy nebo snížení četnosti jejich výskytu.

- **Výskyt**

Pravděpodobnost výskytu specifické příčiny mající za následek způsob poruchy během plánované životnosti produktu.

- **Detekce**

Hodnocení související s nejlepším nástrojem řízení detekce.

- **Číslo priority rizika (RPN)**

Numerické hodnocení míry rizika pro každý možný způsob poruchy/příčiny. Je součinem bodového hodnocení závažnosti, pravděpodobnosti výskytu a pravděpodobnosti detekce.

- **Doporučená opatření**

Tato informace se vyplňuje ve chvíli, kdy číslo RPN přesáhne maximální přípustnou hodnotu. Do tohoto sloupečku stručně zapíšeme návrhy opatření, která jsme navrhli a zadali do realizace pro snížení čísla priority rizika [5,8,14].

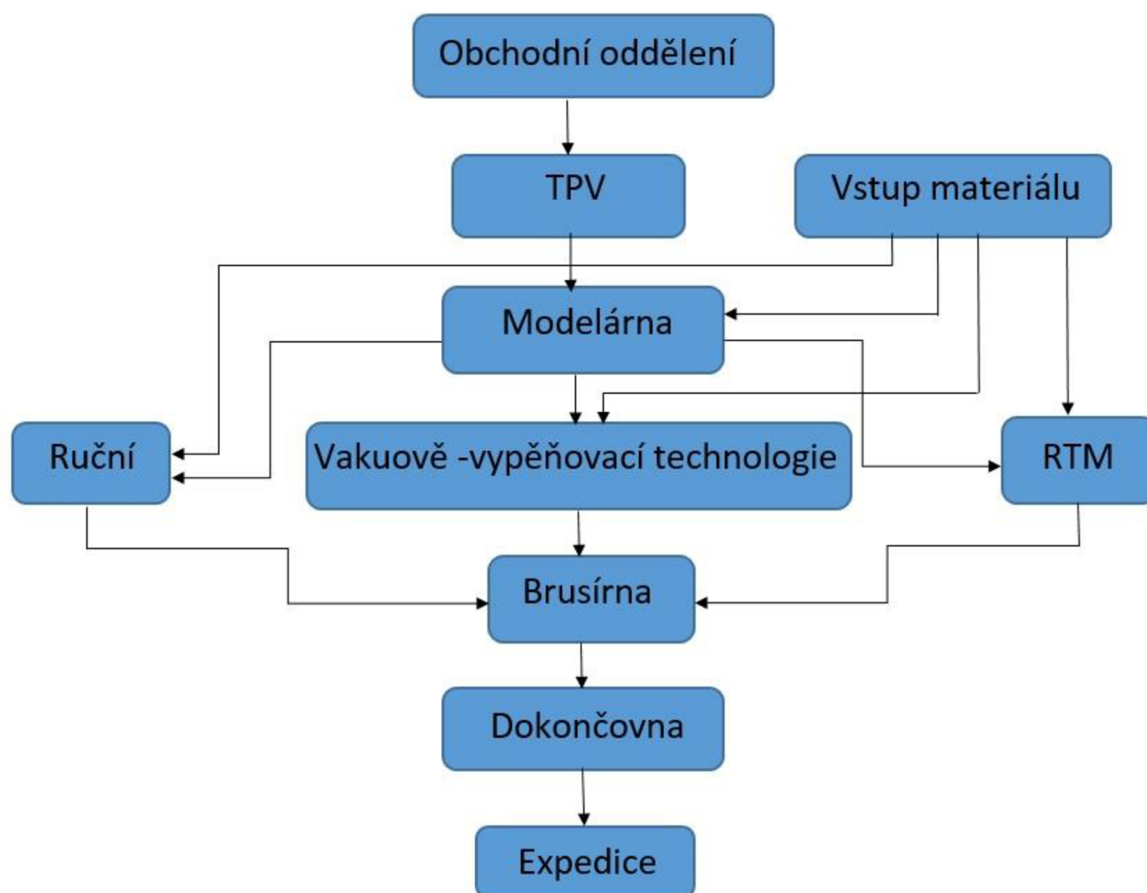
II PRAKTICKÁ ČÁST

V této části diplomové práce budou čtenáři seznámeni s aplikací metody FMEA ve společnosti Composite Component a.s. Výrobní proces bude v první části popsán tak, aby se i laická veřejnost zorientovala ve výrobním procesu zkoumané společnosti. Následná kapitola bude věnována analýze rizik na jednotlivých pracovištích a návrhu preventivních opatření u nejzávažnějších zjištěných rizikových míst. Předposlední část bude zaměřena na efektivitu nápravných opatření. Závěrečná část zhodnotí zmetkovitost výroby jak po finanční stránce, tak po stránce kvantitativní.

4 POPIS VÝROBNÍHO PROCESU

V současné době se ve firmě využívají nejnovější výrobní technologie pro výrobu laminátových dílů, což dává dílům společnosti špičkové parametry. Pro výrobu je volena buď ruční metoda, nebo některá ze strojních metod. Rozhodujícím faktorem pro výběr nejvhodnější metody jsou zejména sériovost výroby, tvar výrobku, specifické požadavky na výrobek či zajištění totožných rozměrů série výrobků. Nyní budou představeny základní rysy jednotlivých metod výroby. Pokusím se ve zkratce tyto metody popsat.

Celý výrobní proces lze shrnout do následujícího jednoduchého schématu výrobních pracovišť (obrázek 4.1). K tomuto rozdělení se budu i nadále vracet a odkazovat se na něj. Obrázek je pouze orientační a slouží pro přehlednější a jednodušší zorientování se ve výrobním procesu.



Obr. 4.1 Výrobní diagram společnosti Composite Components a.s.

4.1 Obchodní oddělení

Pod obchodní oddělení ve společnosti spadají pouze tři pracovníci. Hlavním úkolem tohoto oddělení je zajišťování nových zakázek pro výrobu a komunikace se současnými zákazníky. Za tímto, na prvním pohled stručným popisem pracovní náplně oddělení, je mnoho mravenčí práce, například ověřování realizovatelnosti zakázky z konstrukčního hlediska, kompletace 3D dat od zákazníka, návrhy optimalizace výrobků, sestavení podkladů pro cenovou nabídku, zakládání výrobků do informačního systému společnosti a mnoho dalších dílčích úkonů.

4.2 TPV

Technologie je místem s nejrozmanitější pracovní náplní. Po založení nového výrobku spadají veškeré technologické příkazy a zásahy do výroby dílů do

kompetence tohoto oddělení. Na tomto oddělení se řeší celý výrobní proces samotné laminace a to od určení technologie výroby, materiálové skladby, zajištění nástřihových plánů, chemické úpravy pryskyřic a mnoha dalších zásadních výrobních otázek. Po výrobě prvního prototypového dílu, kdy u celého výrobního procesu musí být alespoň jeden z technologů, je hlavním úkolem technologického oddělení vytvořit a do systému zanést technologické postupy, zavést přesné spotřebované množství materiálů potřebné na jeden díl, která se později budou odepisovat ze skladů. V neposlední řadě určují časové normy na výrobu dílu tak, aby plánovači výroby věděli, co vše mohou na jednotlivé směny zaplánovat do výroby.

4.3 Modelárna

Po získání finálních 3D dat od zákazníka, určení přibližné sériovosti a požadovaných mechanických vlastností laminátu se musí vyrobit forma pro požadovaný výrobek. Tímto výrobním procesem se zabývá modelárna. Na modelárnu dorazí externí firmou vyfrézovaný model z MDF slepovaných desek dle zaslaných 3D dat. Po přijetí modelu do modelárny je model nejprve natřen přetučenou polyesterovou pryskyřicí naředěnou acetonem v poměru 1:1. Tento nátěr zpevní povrch po strojovém opracování a je možné dobrousit nežádoucí ostřiny a přechody jednotlivých segmentů. Za účelem odstranění pórovitosti povrchu se takto upravený model nastříká dle potřeby jednou až třemi vrstvami polyesterového stříkacího tmelu. Po zatvrdnutí tmelu (alespoň 24 hodin) dochází broušením k odstranění tzv. pomerančové kůry. Zbroušený tmel se musí pečlivě odsát ze všech záhybů modelu. Model se v naprosto bezprašném stříkacím boxu nastříká tenkou vrstvou vrchního laku a po zatvrdnutí takto připravený model odchází zpět na modelárnu. Jelikož na kvalitě povrchu modelu závisí kvalita a lesk všech vyrobených dílů, musí se povrch modelu postupně brousit brusnými papíry zrnitosti 1000 až 1500 dle přání zákazníka. Jelikož ani tímto broušením není docíleno zcela lesklého povrchu, jsou používány brusné pasty a leštící kotouče k dosažení zrcadlového lesku. Aby bylo možné sejmut formu z modelu při následujícím procesu, je nutné alespoň 5x naseparovat separátorem celý povrch modelu. K tomu účelu používáme přípravek Frekote 700 NC, který patří do skupiny polotrvanlivých separátorů. Mezi aplikací jednotlivých vrstev je nutno dodržet interval odvětrávání alespoň 20 minut, jak je dáno v doporučení od výrobce. Takto připravený model je konečně připraven k výrobě samotné formy. Na model se postupně nanesou dvě vrstvy formového gelcoatu, který nám bude

tvořit pohledovou stranu formy. V této vrstvě formy nesmí být žádné vzduchové póry ani nečistoty. Po jeho vytvrzení se vylaminuje nárazníková vrstva a posléze se laminují samotné nosné vrstvy formy, které jsou tři a každá z nich obsahuje tři vrstvy skelné rohože 450 g/m². K prosycování je používána speciální pryskyřice na výrobu forem. Kvůli ušetření výrobního materiálu a dosažení požadované tuhosti formy se zalaminovávají do poslední vrstvy žebra, což jsou přesně vyřezané kousky OSB desek. Následně pracovníci sejmou takto vyrobenou formu z modelu. Po ořezání a obroušení přebytečného materiálu je forma hotová. Takto vyrobená forma může sloužit pouze pro ruční výrobu sklolaminátu. Pro ostatní výrobní technologie, používané ve společnosti, je nutné vyrobit víko formy. Jedná se o velmi zdoluhavý proces, kdy pracovník modelárny musí za pomoci lina, vosků a modelovacích hmot vytvořit ve formě model výrobku, plnicí a vakuové kanály. Poté musí být celý výrobek pečlivě naseparován, a tím dojde k zabránění slepení formy s nově nanášeným gelcoatem potřebným pro výrobu víka. Následně se opakuje celý postup výroby formy popsany výše. Výsledkem procesu je dvoudílná forma s přesně vymezenou dutinou pro výrobek.

4.4 Laminace

4.4.1 Ruční metoda

Ruční metoda, také někdy zvaná jako kontaktní laminace, je časově nejnáročnější metodou výroby a z pevnostního hlediska také tou nejlepší pro svůj vysoký procentuální obsah skelného vlákna ve výrobku. Výroba dílu je realizována ve formě, kdy se jako první natírají či stříkají dvě vrstvy tzv. gelcoatu, což vytvoří barevnou pohledovou plochu. Po částečném vytvrzení gelcoatu se kladou jednotlivé vrstvy skelné rohože, které jsou prosycovány matricí (pryskyřicí). Pro dosažení požadovaných mechanických vlastností je potřeba zajistit nepřítomnost vzduchových bublin tzv. válečkováním (komprese jednotlivých vrstev do sebe). Válečkování je také zachyceno na obrázku 4.2. Předností této metody je jednoduchost vytvoření formy a tím pádem nízká pořizovací cena. Nevýhodou této metody je občasné ne zcela přesné dodržení předepsané síly výrobku v důsledku překrývání kladených vrstev a časová náročnost výroby. Tento druh výroby je realizován zejména pro tvarově náročné díly, prototypy či malosériovou výrobu.



Obr 4.2 Ukázka ruční laminace dílu.

4.4.2 RTM Metoda

Ve společnosti nejpoužívanější metodou je metoda RTM (z anglického *Resin Transfer Molding*). Při této výrobě se používá stejná forma jako při ruční laminaci a navíc víko formy. Do formy, a dle požadavků zákazníka i na víko formy, jsou opět nanášeny vrstvy gelcoatu. Po částečném vytvrzení gelcoatu se pečlivě zastříhne a založí vyztužovací skelná složka (tkanina či rohož). Forma se uzavře víkem a tím se přesně vymezí tloušťka výrobku jako takového. Víko se vakuem či mechanicky spojí s formou a do vzniklé dutiny je pod tlakem vpravena pryskyřice podle předem požadovaného dávkovacího množství, které smočí výztuž. Tuto operaci zachycuje také obrázek 4.3. Přivedené vakuum kromě funkce přísátí víka plní i další funkci, kdy nám zajistí nepřítomnost vzduchových bublin ve výrobku a tím požadované mechanické vlastnosti. Z důvodu vstřikování směsi pod tlakem bývá forma vyráběna robustnější. Z předchozího faktu a nutnosti výroby víka formy plyne i větší pořizovací cena formy. Tato metoda se používá pro sériovou výrobu větší než 500 kusů ročně.



Obr 4.3 Ukázka plnění formy metodou RTM.

4.4.3 Vakuově - vypěňovací technologie

Tímto způsobem se ve firmě vyrábí pouze malé množství dílů. I tato metoda vyžaduje formu skládající se ze základní formy a víka. Opět se nanosou vrstvy gelcoatu, buď pouze na formu, nebo i na víko formy. Do formy se pečlivě zastříhne a založí speciální výztuž, na kterou se poté ručně aplikuje pryskyřice obsahující nadouvadlo (obrázek 4.4). Poté formu zavřeme a opět, mechanicky nebo za pomoci vakua, vymezíme tloušťku výrobku. Ve vzniklé dutině dochází za pomoci reakce k nabývání pryskyřice na objemu, čímž je zcela vyplněn prostor pro výrobek. Takto vzniklé výrobky nemají takové mechanické vlastnosti jako dvě předchozí technologie a jsou převážně používány jako pohledové části interiéru. Výhodou metody je však zaručení tloušťky u tvarově složitých výrobků, nižší hmotnost výrobků a vyšší kadence výroby v porovnání s ruční metodou.



Obr 4.4 Ukázka vakuově - vypěňovací výroby dílu.

4.5 Brusírna

Po vylaminování kteroukoli z používaných metod vzniká u výrobku přebytečný a nechtěný materiál (přetoky, neprosycené okraje skelné výztuže,...), který je třeba od výrobku oddělit. Ořezávání a broušení výrobků probíhá na brusírně. Pro svoji prašnost, která je pro laminaci nežádoucí, je tento proces umístěn do tří téměř identických stavebně oddělených výrobních prostor. Z důvodu vysoké hořlavosti (až téměř výbušnosti) laminátového prachu je nutno používat výhradně vzduchem poháněné nástroje a kvalitní odsávání vznikajícího prachu. Veškeré zde používané nástroje musí být homologovány do výbušného prostředí. Vývody výkonného odsávání jsou vyvedeny těsně u řezných nástrojů, díky čemuž okamžitě odsajeme téměř všechn vzniklý prach. Výrobky po tomto výrobním kroku mají požadovaný tvar a vyvrtané otvory. Otřepy a případné nedostatky vzniklé na brusírně řeší dokončovna.

4.6 Dokončovna

Poslední tvarové úpravy výrobku provádí pracoviště dokončovny. Na tomto pracovišti jsou na dílech m.j. začištěny ostré hrany vzniklé řezáním a vrtáním otvorů. Pracovníci mají za úkol důkladně zkontrolovat kvalitu povrchu a jeho lesk. Pokud tímto krokem výrobek projde, postoupí na další pracoviště a to je pracoviště kompletace. V tuto chvíli jsou na výrobek lepeny konstrukční ocelové či hliníkové zálistky, které slouží k uchycení dílů na kostru autobusu. Na tomto pracovišti také dochází ke kompletaci více vyrobených dílů do sestav, které jsou dodávány zákazníkům. Pro účely lepení, slepování či spojování více kusů laminátů se používá dvousložkové metylakrylátové lepidlo, které převyšuje mechanickými vlastnostmi, dle technických listů od výrobce, vlastnosti sklolaminátu. Pro zaručení přesného umístění a kolmosti dílů, ale i zálistků, se pro lepení využívají lepící lůžka nebo přípravky, které zaručí přesnou polohu lepených součástí a dostatečné množství lepidla. Na závěr je celý výrobek očištěn, odmaštěn acetonem a je přizvána výstupní kontrola. Po zkontrolování je výrobek označen razítkem výstupní kontroly a přenesen na pracoviště balení, kde je každý díl samostatně zabalen do ochranných vrstev proti poškození a je poté převeden na expediční sklad.

4.7 Kontrola

Ve firmě probíhají tři druhy kontroly. Prvním druhem kontroly je kontrola vstupní, která je prováděna namátkově u cca 10 % všech materiálů vstupujících do výroby a to v závislosti na klasifikaci dodavatele. Nejvíce rozšířena je kontrola výrobní, která se ve firmě dělí do dvou podskupin. Zaprvé je to takzvaná samokontrola, kdy pracovník před začátkem svého pracovního úkonu vizuálně zkontroluje výrobek a nástroje pro vlastní výrobní operaci. Po vykonání operace následuje vlastní objektivní samokontrola a předání výrobku k další operaci. Druhou podskupinou výrobní kontroly je mezioperační kontrola. Vytipované výrobky procházející touto kontrolou jsou zařazeny do kontrolního seznamu na základě předchozích reklamací či po zjištění opakující se závady. Výrobek může pokračovat na další výrobní operaci až po kontrole pracovníkem, který provede důslednou kontrolu výrobku. Posledním druhem kontroly, a to ve firmě nejdůležitějším, je kontrola výstupní. Kvalitní výstupní kontrola zaručí odhalení neshodných výrobků před dodáním zákazníkovi a tím napomáhá budovat dobrou pověst firmy. Výrobek bez udělení výstupní kontroly v současné době nemůže pokračovat na expediční

sklad, potažmo není možné zapsat výrobek na dodací list a tím pádem není možné, aby výrobek opustil firmu. Takto je nastaven i proces ve firemním informačním systému, který eviduje jednotlivé operace a použité materiály u každého jednoho výrobku. Tato kontrola v současné době používá již dávno překonané měřicí zařízení, a bude to zajisté místo, u kterého budou v této práci navrhována významná nápravná opatření.

4.8 Expedice

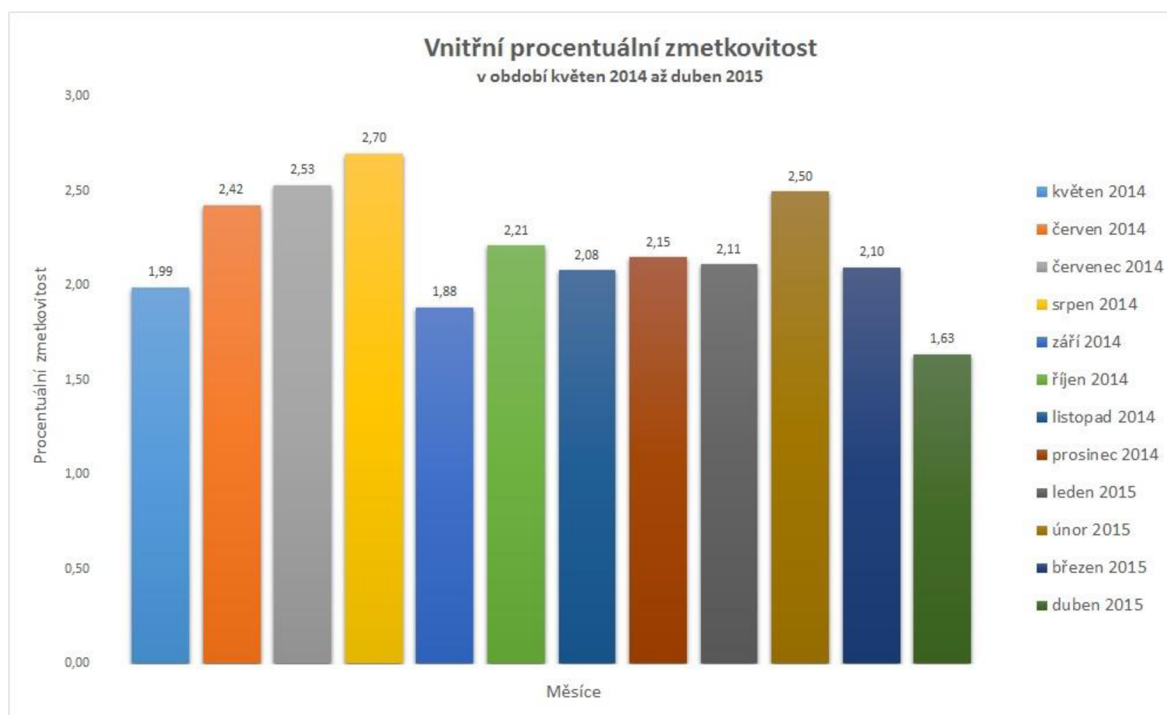
Poslední zastávkou výrobku ve výrobním procesu je pracoviště expedice. Výrobky jsou po zkontrolování a zabalení pomocí čárových kódů přijaty na expediční sklad. Menší díly jsou uskladňovány v expediční hale v regálech k tomu určených a větší díly jsou pro svoji odolnost vůči povětrnostním vlivům a z kapacitních důvodů umísťovány v prostoru před expedicí pod přístřeškem. Hlavní pracovní náplní toho pracoviště je zajištění správného naskladnění výrobků, kompletace výrobních dodávek, zajišťování dopravy a vystavování dodacích listů.

5 APLIKACE PROCESNÍ FMEA (PFMEA)

5.1 Přípravná fáze

5.1.1 Důvody analýzy

Jelikož ve společnosti Composite Components a.s. bylo vysoké procento z celkových nákladů firmy spotřebováno při výrobě neshodného materiálu a jelikož se nedařilo kontrolou zachytit uspokojivé množství neshodných výrobků, na které častokrát upozornili až samotní zákazníci, bylo v rámci diplomové práce rozhodnuto zanalyzovat metodou PFMEA celý výrobní proces. Kromě tohoto požadavku byly na firmu vyvíjeny tlaky na zlepšení kvality dílů od zákazníka a jako jedním z důkazů o snahu zvýšení kvality slouží analýza touto metodou. Díky této metodě odhalíme úzká místa výroby a jejich zlepšením či nahrazením zastaralé metody zlepšíme kvalitu výrobků. V prvních měsících práce došlo ke změně na postu ředitele kvality, které bylo bezesporu zapříčiněno neuspokojivými výsledky dosavadního vedení kvality. V následujícím grafu (obrázek 5.1) bude čtenář seznámen s vnitřní procentuální zmetkovostí firmy za rok uplynulý před zahájením tvorby diplomové práce. Tyto hodnoty pocházejí z informačního systému K2 používaného společností Composite Components a.s.

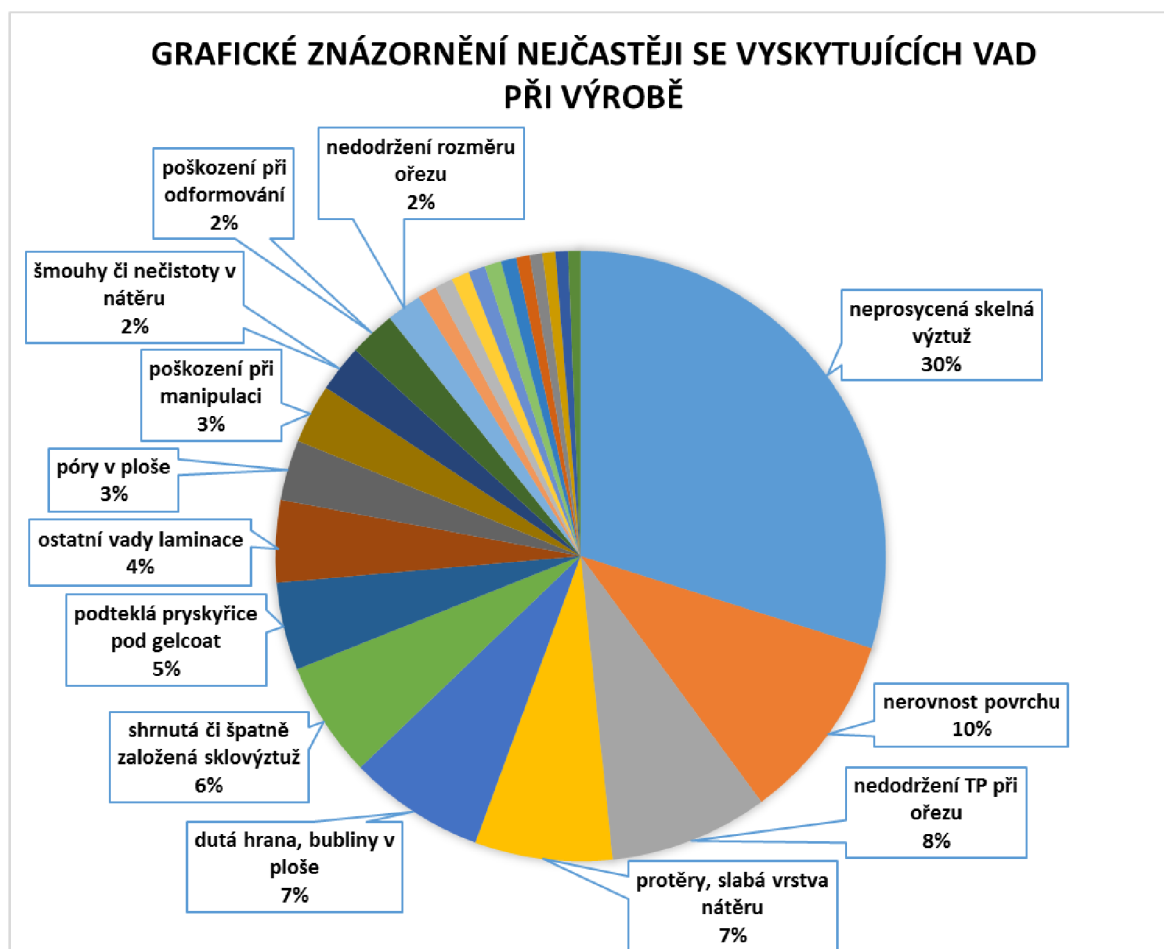


Obr. 5.1 Vnitřní procentuální zmetkovost firmy před zahájením analýzy.

Procentuální zmetkovitost se tedy v průměru pohybovala kolem hodnoty 2,19 %, což bylo pro vedení společnosti neakceptovatelné. Přáním a cílem majitele společnosti bylo dostat zmetkovitost pod 1 %.

5.1.2 Analýza nejčastějších vad

Poté, co bylo rozhodnuto o provedení analýzy procesu společnosti, bylo potřeba zjistit, jaké jsou nejčastěji se vyskytující vady na neshodných výrobcích. Z tohoto důvodu byla z operačního systému vygenerována tabulka veškerých neshodných výrobků za poslední dva roky. Ke všem neshodným výrobkům jsou vedeny v evidenci protokoly o neshodnosti, odkud lze zpětně dohledat také příčinu neshodnosti. Po vyhodnocení všech záznamů bylo zjištěno, že téměř 95 % veškerých neshodných výrobků lze zařadit do třinácti kategorií popisu vad. Četnost jednotlivých vad je zaznamenána v obrázku 5.2.



Obr. 5.2 Nejčastěji se vyskytující vady při výrobě.

Ve stručnosti bude popsáno, co do které skupiny vad patří.

Neprosycená skelná výztuž:

Při výrobě jakoukoli metodou ve společnosti je důležité rovnoměrně prosytit skelnou výztuž pryskyřicí. Tato vada se projeví jako měkké světlé místo ve výrobku. Při malé neprosycené ploše lze dodatečně tato místa takzvaně dopíchat pryskyřicí a tím prosytit.

Nerovnost povrchu:

Do této kategorie patří veškeré nerovnosti na povrchu. Tyto nerovnosti mohou vznikat z různých důvodů, avšak nejčastější příčina je přebytek tepla ve formě neboli spaření povrchu. Do této skupiny také řadíme prorýsování skelné rohože do gelcoatu. Příčinou je založení skelné rohože do málo vytvrzeného gelcoatu.

Nedodržení TP při ořezu:

Toto označení používáme u nepřesného vyvrtání či vyřezání otvorů a při použití nesprávných velikostí nástrojů.

Protěry, slabá vrstva nátěru:

Protěry a slabá vrstva nátěru se projevují jako průsvitná místa gelcoatu a vznikají v místech, kde ve dvou vrstvách nátěru gelcoatu není naneseo alespoň 0,8 mm nátěru.

Dutá hrana, bubliny v ploše:

Vznik vady padá na vrub nedostatečnému proválení vrstev či nedokonalému spojení skelné výztuže s vrstvou vytvrzeného gelcoatu ve všech partiích výrobku.

Shrnutá či špatně založená rohož:

Nedostatečně pečlivě založená rohož, která má za příčinu nedovření obou částí forem u technologie RTM a tím nedodržení tloušťky výrobku. Shrnutí rohože je zapříčiněno neodbornou či nesprávnou manipulací při zavírání formy.

Podteklá pryskyřice pod gelcoat:

Podtečení pryskyřice vzniká u technologie RTM. Je zapříčiněno mechanickým poškozením gelcoatu, kam při vakuování zateče pryskyřice. Tato vada se projeví po odformování jako neprobarvená skvrna.

Póry v ploše:

Vznik je zapříčiněn přetúžením gelcoatu či mechanickým zavzdušněním gelcoatu. Při rychlé reakci se gelcoat napění a při jeho vytvrzení zůstanou v gelcoatu vzduchové bublinky, což je nepřijatelné.

Poškození při manipulaci:

Při manipulaci s výrobkem se výrobek poškrábe či jinak poškodí takovým způsobem, že jej nelze opravit.

Šmouhy či nečistoty v nátěru:

Tato vada vzniká nedostatečným vypráním štětce v acetonu a jeho vysušením stlačeným vzduchem před dalším použitím na nanášení gelcoatu. Nečistoty v povrchové vrstvě jsou neakceptovatelné.

Poškození při odformování:

Zahrnujeme sem jakákoli poškození při odformování jako například: poškrábání povrchu výrobku, polámání laminátu či ulomení části výrobku.

Nedodržení rozměru ořezu:

Tato vada vzniká lidským faktorem, jako je chybné čtení výrobní dokumentace, volba špatného nástroje či špatný sklon nástroje.

5.1.3 Sestavení týmu PFMEA

Před zahájením analýzy PFMEA, jehož prvním krokem je právě sestavení týmu, a po zjištění analýzy nejčastějších vad, bylo vše diskutováno s ředitelem kvality. Při analýze výrobního procesu ve společnosti bylo rozhodnuto postupovat po jednotlivých pracovištích tak, abychom byli schopni co nejoborněji a nejpresněji odhalit jednotlivé problémy vznikající na daném výrobním úseku. Každý tým se tedy zabýval svým výrobním úsekem. Propojení mezi jednotlivými týmy zaručoval ředitel kvality, výrobní ředitel a výrobní technologové. Celkem nám tedy vzniklo sedm týmů k řešení analýzy.

5.1.4 Sestavení hodnotících stupnic

Z důvodu charakteristické výroby a relativně malé sériovosti bylo zapotřebí nastavit pro tento druh výroby hodnotící stupnice. Po seznámení se s veškerými

dostupnými stupnicemi bylo rozhodnuto používat následující hodnotící stupnice (tabulky 6, 7, 8). Při hodnocení jsme nevycházeli pouze z čísel odhalených vad, ale dali jsme na mnohaleté zkušenosti zaměstnanců. Jako akceptovatelnou míru rizika (MR) jsme ve firmě v počátku nastavili hodnotu 120 bodů. V pravidelných intervalech bude dokument aktualizován.

Tabulka 6 Kritéria hodnocení pravděpodobnosti výskytu vady.

Pravděpodobnost výskytu vady - PVV		
Význam	Popis	Hodnocení
velmi vysoká	Vada téměř trvalá - jistý opakovatelný výskyt vad - navrhnout nové řešení procesu.	10-9
vysoká	Vadu lze očekávat opakovaně, proces je sice pod statistickou kontrolou, ale není zvládnutý, jedná se o problémový proces a musí být zásadně přepracován.	8-7
průměrná	Proces je pod statistickou kontrolou, není zaručena způsobilost - je nutné provést změny v procesu odstraněním příčin vady.	6
malá	Proces je pod statistickou kontrolou, vady jsou nepravděpodobné, proces přezkoušet a odstranit příčiny vady.	5-3
velmi malá - vada téměř nemožná	Proces je pod statistickou kontrolou, vady jsou téměř vyloučeny bez problému.	2-1

Tabulka 7 Kritéria hodnocení významu vady.

Význam vady - VV		
Význam	Popis	Hodnocení
zvláště závadná vada	Ohrožuje bezpečnostní nebo zákonné předpisy.	10-9
vážná vada	Vyvolá velkou nespokojenost zákazníka. Nejsou však porušeny bezpečnostní nebo zákonné předpisy.	8-7
středně vážná vada	Někteří zákazníci budou nespokojeni. V navažujících krocích procesu budou nutné dodatečné zásahy.	6-4
málo významná vada	Zákazník bude ovlivněn pouze nepatrně a zjistí pouze nepatrnou odchylku.	3-2
nevýznamná vada	Vada by neměla mít na výstup procesu prokazatelný vliv, zákazník si vady zřejmě vůbec nevšimne.	1

Tabulka 8 Kritéria hodnocení pravděpodobnosti odhalení vady.

Pravděpodobnost odhalení vady - POV		
Odhalení	Popis	Hodnocení
téměř nemožné	Vadu nelze odhalit žádným opatřením.	10
velmi malé	Vadu lze odhalit jen stěží.	9
malé	Vadu lze s nižší pravděpodobností odhalit.	8
nízké - střední	Vadu lze pravděpodobně odhalit.	7-5
středně vysoké - vysoké	Vadu lze s vyšší pravděpodobností odhalit.	4-3
velmi vysoké	Vadu odhalíme téměř vždy.	2
téměř jisté	Vada se odhalí sama.	1

Ve chvíli, kdy jsme nebyli schopni rozhodnout za pomoci námi užívaných tabulek, řídili jsme se dále tabulkami označenými Tabulka 1, Tabulka 2 a Tabulka 3 této práce.

5.2 Analýza rizik a návrhy preventivních opatření

Tato část byla rozdělena na jednotlivé analýzy dle výše zmíněného schématu výroby uvedeného pod označením Obr. 4.1. Díky tomuto rozdělení jsme mohli analyzovat jednotlivá pracoviště podrobněji a dosáhnout tak lepších výsledků. U jednotlivých analýz budou v textu diplomové práce řešeny pouze nejzávažnější rizikové oblasti. Podrobnější výpis v tabulkové formě bude přiložen jako příloha 1 této práce.

5.2.1 Analýza obchod/nákup

V tomto pracovním týmu jsme se zaměřili na rizika vznikající zejména v obchodním oddělení a oddělení, které je zodpovědné za nákup výrobních surovin. Z obchodního hlediska nejvíce možných příčin vad vzniká selháním lidského faktoru. Jako nejzávažnější a následnou výrobu ohrožující je nedodržení termínů dodávky zákazníkovi. Zákazník ztrácí důvěru k dodavateli a další výrobu již nebude dále směřovat do této společnosti. K předejití této situace je zapotřebí pravidelných projektových schůzek, informování o průběhu řešených problémů a zadávání nových úkolů. Druhou odhalenou vadou je špatné nacenění a založení objednávky do systému, kdy se firma smluvně zaváže k dodávkám výrobků, avšak na výrobě nemá v lepším případě žádný zisk, v tom horším na takové objednávce prodělává. Tato vada může mít za následek ztrátu finančních prostředků společnosti. Společnost by musela zákazníkovi dodávat výrobky za cenu, která by mohla být i nižší než jsou úplné vlastní náklady na výrobek ve společnosti. K odstranění této příčiny je zapotřebí vícestupňová důsledná kontrola, kdy není možné, aby jeden člověk bez kontroly vytvořil cenovou nabídku.

Z hlediska nákupu výrobků od subdodavatelů je největším rizikem neodhalení vnitřní vady výrobku. V současné době je kontrolováno pouhých 10% náhodně vybraných vstupních surovin (zálišek, skel,...) pracovníkem kontroly. Použití neshodného materiálu může mít za následek vznik neshodného výrobku a nemožnost namontování do vyšších sestav či výrobků. Jako nápravné opatření bylo navrženo zvýšení procentuální kontroly vstupních surovin alespoň na 20%,

případné použití 3D skeneru. Po odhalení problémových výrobků okamžitě do odvolání zavést 100% kontrolu výrobků.

5.2.2 Analýza kontroly vstupních surovin

Do firmy vstupující výrobní suroviny pro laminaci jsou podrobovány tak jako vstupní výrobky 10% kontrole při převzetí zboží na sklad. Do firmy vstupují tři nejvýznamnější skupiny materiálu a tím jsou pryskyřice, skelné rohože a gelcoaty. U skelných rohoží se vizuálně kontroluje nepřítomnost nečistot či odchylek od standardu a namátkově pak plošná hmotnost materiálu. U pryskyřic a gelcoatů se před uvolněním do výroby provádí zkouška želatinace a zkouška viskozity. Nejrozšířenější příčinou vady je záměna sklovýztuže. Obvykle jde o záměnu rohože o plošné hmotnosti 300 g/m² za 450 g/m², což nemá žádný fatální význam. Toto oddělení neodhalilo žádnou vadu přesahující stanovenou míru rizika, a proto v tuto chvíli ani nenavrholo žádná nápravná opatření.

5.2.3 Analýza technické přípravy výroby

Nejzásadnější vadou, která brzdí zavádění nových zakázek do výroby, je nekompletnost výkresové dokumentace a 3D dat. Často se stává, že zákazník do smlouvy uvede, že výkresová dokumentace bude dodána až po podepsání smlouvy a v té samé smlouvě je také nejzazší datum dodání výrobku. Po obdržení výkresové dokumentace či 3D dat je odhalena neúplnost dokumentace, kde často chybí předepsání materiálu, zakótování hlavních výrobních rozměrů, atd. Čas, který potřebujeme ke kompletaci dokumentace ve firmě, potom často schází ve výrobě. Z tohoto důvodu byl sepsán jakýsi standard k výkresové dokumentaci, kdy tyto standardy jsou zahrnuty ve smlouvě se zákazníkem tak, abychom těmto nepřijemnostem předešli.

5.2.4 Analýza procesu laminace

Nejobsáhlejší a dle obr. 5.2 také největší skupinou, která má vliv na počty neshodných výrobků vyrobených ve firmě, je samotná laminace. Pro svoji obsáhlou byla tato analýza rozdělena do čtyř podskupin. První se zabývala společnými body pro každou námi využívanou technologii výroby.

Mezi čtyři nejvýznamnější vady při laminaci dle obr. 5.2 patří: neprosycenost skelné výztuže, špatná separace forem, špatný nátěr či nástřik gelcoatu a špatné

zakládání či položení sklovýztuže. Neprosycená sklovýztuž má za následek vznik neshodného, často neopravitelného, výrobku. Odstraněním četnosti vzniku této vady se budu dále zabývat v kapitolách 5.2.4.1 až 5.2.4.3. Špatně naseparovaná forma má za následek obtížné či nemožné odformování výrobku, které má v lepším případě za následek poškození výrobku, v horším případě poškození či zničení výrobní formy. V současné době pracovníci nedodržují předepsané množství vyrobených dílů před obnovením separačních vrstev. Přítomnost separačních vrstev na formě kontrolují nevhodným způsobem za pomoci přilnavosti papírové pásky k formě, která není nijak průkazná ani měřitelná. Jako nápravný krok bylo navrženo důsledné dodržování pracovních návodů mistry a partáky výroby a udělování pokut za případné nedodržení předepsaných postupů. Špatný nátěr či nástřik gelcoatu obsahuje více vad, například slabá či silná vrstva gelcoatu, nečistoty v této vrstvě, použití špatného gelcoatu,... Veškeré tyto vady jsou zahrnuty v pracovních návodech a každý zaměstnanec je proškolen a obeznámen s touto návodkou. Pravidelným přeškolením a namátkovými kontrolami docílíme snížení výskytu této vady. Posledním ze společných vad je špatné založení skelné výztuže do formy, které má za následek vznik povrchových vad na výrobku a jeho neshodnost s výkresovou dokumentací. U forem, které nejsou uzavírány, nejsou následky tak fatální. Formy s víky po špatném založení sklovýztuže nejdou dovést, což má za následek jinou tloušťku výrobku. Tuto vadu nelze na první pohled rozpoznat, avšak váhově je znatelná okamžitě. Některé výrobky jsou na výskyt této vady náchylnější než jiné a z tohoto důvodu u problémových výrobků probíhá důsledná mezioperační kontrola, která téměř všechny tyto vady odhalí. Tvarově složitější výrobky (výrobky s větším množstvím hran a záhybů) by proto měly procházet povinně mezioperační kontrolou. I přes veškerá opatření není možné v současné chvíli dostat kritičnost této vady pod stanovenou hranici. Stále tak probíhají nová a nová nápravná opatření.

5.2.4.1 Ruční laminace

Na tomto výrobním oddělení bylo odhaleno několik slabých míst, která jsme se snažili odstranit. Nedostatečné vyvážení sklovýztuže, které má za následek neprosycení sklovýztuže, vznik vzduchových bublin, větší tloušťku výrobku a zhoršené mechanické vlastnosti materiálu, zvláště pak jeho tuhost. Příčinou je lidský faktor a nepečlivost pracovníků. Pracovníci, byť jsou proškoleni a motivováni finančními prémie, ne vždy dodržují technologické postupy a předpisy. Namátková kontrola neodhalí veškeré neshodné výrobky, a proto

u problémových kusů je třeba po konzultaci s technologií zavést 100% kontrolu všech výrobků. Dalším odhaleným místem je doba zrání, neboli doba od dolaminování po vyjmutí výrobku z formy. Pracovníci často čas předepsaný technologií nedodržují a vytahují výrobky z forem dříve než je žádoucí. Následkem toho je výrobek manipulací a uskladněním zdeformován a nemůže být dodán zákazníkovi. Pracovníci si také často pro urychlení výroby natuží pryskyřice a gelcoat více než je předepsáno a poté odformovávají výrobek dle vlastního odhadu. Tyto vady nejsou často na první pohled znatelné, a proto byl do společnosti pořízen 3D skener, jehož použitím jsme schopni naskenovat výrobek a porovnat ho s 3D daty. Proto také byla zavedena namátková kontrola tvarové správnosti výrobků. Pokud bychom ale měli kontrolovat veškeré výrobky, prodlužovali bychom výrobní čas a náklady. Proto je nutné odhalovat špatné výrobky, zajistit kontrolou mistrů a partáků dodržování předepsaných časů pro výrobu. Poslední zde zmíněnou vadou jsou vady vzniklé při špatném odformování výrobků. Poškození vzniká častěji u hlubších a uzavřenějších forem, kdy je potřeba klást důraz na kolmé odformování. V opačném případě může dojít k poškození výrobku nebo v horším případě formy. Zabránit tomuto poškození lze těžko nějakým předpisem či nařízením, jedná se o lidský faktor, který je třeba kontrolovat.

5.2.4.2 RTM metoda

Při výrobě metodou RTM vznikají z dlouhodobých zkušeností firmy vady špatným založením sklovýztuže (nelze správně zavřít víko formy a nedojde ke správnému prosycení sklovýztuže), nedostatečnou dobou zrání neboli předčasným odformováním výrobku a jeho následným nevhodným skladováním. Nesprávné založení sklovýztuže a nesprávné uzavření víka formy navrhuji řešit důslednější vizuální kontrolou polohy sklovýztuže před uzavíráním víka formy a následnou předepsanou kontrolou správné polohy víka formy po jejím uzavření (ještě předtím než pracovník přistoupí k plnění formy pryskyřicí). Nedostatečné dozrání může být způsobeno nízkou teplotou na hale, vysokou dobou želatinace pryskyřice a dalšími dílčími faktory. Pro předejití vad vzniklých nedozráním je dobré u problémových a tvarově náročných výrobků po konzultaci s technologií odformovaný výrobek nechat maximálně dozrát na víku formy. V praxi to znamená, že výrobek na víku formy zůstane do doby, než je víko potřeba pro uzavření formy a výrobu nového výrobku. Stejně tak jako u ruční metody je i zde zavedena namátková kontrola na tvarovou správnost pomocí 3D skeneru. Výrobky

z RTM výroby mají menší procento skelné výztuže, což se odráží v tuhosti výrobku. Z toho důvodu je výrobek náchylnější na poškození či zlomení při odformovávání. Je proto nutné dbát na dodržování technologických postupů a pracovních návodů. Správnost odformovávání výrobku hlídají mistři a partáci, kteří na požádání pomohou s odformováním.

5.2.4.3 Vakuově - vypěňovací technologie

Tato technologie je z pohledu zmetkovitosti nejlépe zvládnutou technologií firmy. U této výrobní metody se problém neprosycení sklovýztuže vyskytuje pouze velmi zřídka. Jedinou vážnou vadou zjištěnou při analýze, která stojí za nápravu, je špatná identifikace výrobků. Zjištěnou příčinou je, že touto technologií jsou vyráběny převážně malé interiérové výrobky podobné barvy a tvaru, a pak také skutečnost, že pracovníci na tomto oddělení vyrábí nejvíce druhů výrobků v jedné směně. Často se potom stává, že pracovník při lepení identifikačních štítků na hotový výrobek tyto štítky zamění. Tomuto faktu se snaží zabránit pracovní návodka k lepení štítků a dvojitá kontrola dvěma pracovníky, zda číslo formy odpovídá číslu štítku na výrobku nalepeném. Až poté se smí výrobek vyjmout z formy.

5.2.5 Analýza brusíren

Po analýze neshodných výrobků z brusíren byly vyhodnoceny tři základní typy vzniku vady. Jedním z nich je špatný ořez, kdy pracovník pracující se vzduchovou bruskou nejčastěji podbrousí (přebrousí) výrobek. Hlavní příčinou je lidský faktor a i přes nápravná opatření není možné tento faktor zlepšit. Druhou, často se vyskytující vadou, jsou špatně vyvrtané otvory jak polohově, tak velikostně. U nejproblémovějších dílů jsou postupně zaváděny tzv. „vrtací přípravky“, díky kterým zaručíme přesnější polohu i přesnou velikost otvorů. I tato vada je z velké části zapříčiněna lidským faktorem, který je obtížně odstranitelný a z tohoto důvodu ve společnosti začátkem května 2016 bude pořízeno ořezové CNC centrum. Toto centrum bude používáno pro velkosériové díly. V minulosti byla výroba podobných dílů zadávána jiným firmám, a proto víme, jak se pravděpodobnost výskytu projeví. U všech výrobků vyráběných ve firmě bude prováděna namátková kontrola na 3D skeneru, díky které odhalíme jakékoli nesrovnalosti s 3D daty.

5.2.6 Analýza dokončovny

Analýzou dokončovny byly zjištěny vady procesu, které ohrožují funkčnost našich výrobků. A proto tato analýza bude zřejmě tou nejdelší. Byla odhalena pouze jedna operace, která má vliv na kvalitu povrchu. Pokud přijde na dokončovnu výrobek s nutností povrchové opravy, hrozí při špatně zvolené drsnosti brusného papíru a použití velké síly probroušení či zbroušení vrstvy gelcoatu. Výrobek je tak prohlášen za neshodný a veškeré výrobní náklady spojené s výrobou přišly nazmar. Úkolem je tedy minimalizovat nutnost těchto oprav na dokončovně, což klade požadavky na celou výrobu od dobré aplikace gelcoatu, vylaminování výrobku, nepoškození při manipulaci až po dobrý ořez na brusírnách. Při každém broušení povrchu výrobku je nutná pečlivá kontrola inkriminovaného místa výstupní kontrolou. Druhou skupinu vad lze nazvat problémy s lepením. Pracovníci často zapomenou očistit a odmastit lepicí plochy spoje. Je velmi obtížné po nalepení zjistit, zda byly povrchy dostatečně odmaštěny. Přestože pracovník dobře odmastí lepené plochy, nemusí vždy nanést dostatečné množství lepidla do lepicí spáry a lepidlo nedrží na celé lepicí ploše. I v tuto chvíli nemusí být lepení pod kontrolou. Poslední možnou vadou je nedostatečné promíchání dvousložkového lepidla, kdy neproběhne řádně vytvrzovací reakce a lepený spoj nemá požadovanou tvrdost. Všechny tyto vady jsou extrémně nebezpečné, protože jejich výskyt ohrožuje funkčnost dílu a může způsobit zranění či škodu. Všechny lepené plochy se před zahájením odmašťování acetonem musí za pomoci lihového fixu zabarvit pracovníkem kontroly. Pracovník dokončovny poté musí důkladně tuto barvu za pomoci acetonu a bavlněné hadry smýt. Poté celý postup opakuje, čímž zajistí dostatečné odmaštění lepených povrchů. Před zahájením lepení musí dělník prvních cca 10 cm množství lepidla odstříknout do odpadu, čímž je zajištěno, že nanášené lepidlo bude dostatečně promícháno. Při lepení kovových zálisků musí být lepidlo vytlačeno kontrolními otvory ven, čímž zajistíme dostatečné množství lepidla v lepené spáře. Obdobným postupem musí být vytlačeno lepidlo po celé délce lepeného spoje mezi dvěma laminátovými díly. Veškerá tato nařízení je povinna kontrolovat výstupní kontrola, pohybující se v prostorách dokončovny. Toto jsou pouze některá opatření, další opatření a podrobný popis problematiky lepení je popsán v pracovní návodce, kterou je povinen každý pracovník dokončovny znát a dodržovat.

5.2.7 Analýza kontroly

Na pracovišti kontroly byly po analýze vyhodnoceny dvě oblasti jako rizikové. První oblastí, která již byla zmiňována, je kontrola lepení zálisků. Jako nápravné opatření byla zavedena vícenásobná kontrola, která byla popsána již v analýze dokončovny. Druhou oblastí byla nedostatečná možnost kontroly tvarově složitých zálisků, dílů a lepených součástí vůči sobě. Za pomoci mechanických měřících nástrojů není možné určit jejich vzájemnou prostorovou pozici. Za tímto účelem bylo začátkem roku 2016 rozhodnuto o investici do 3D měřícího skeneru. Začátkem měsíce března byl pořízen ruční 3D laserový skener, který nejlépe vyhovoval podmínkám na mobilitu a skenování vysoce lesklých ploch. Díky této investici jsme schopni zkontrolovat na vstupní kontrole zálisky přicházející do společnosti, ubezpečit se, že za pomoci lepícího lůžka lepíme veškeré zálisky přesně či že složité díly nejsou zkroucené a že splňují tvarové požadavky na tolerance výrobku. Díky této technologii se kontrola ve firmě významně zjednodušila a zpřesnila.

5.2.8 Analýza expedice

Při analýze posledního z pracovišť nebyly zjištěny žádné nedostatky přesahující požadovanou hranici kritičnosti. K poškození výrobku nedojde v areálu firmy, ale špatným transportním uložením výrobků do krabic, kdy výrobky jsou poškozeny vzájemným třením o sebe nebo při pádu transportní krabice z vysokozdvizného vozíku. Na pracovišti nebyla prováděna žádná nápravná opatření, zaměstnanci byli pouze poučeni o zásadách ukládání výrobků do transportních krabic a zásadách manipulace s krabicemi.

5.3 Kontrola účinnosti preventivních opatření

Po zavedení preventivních opatření bylo zapotřebí nechat nápravná opatření nějaký čas v provozu. Poté se řešitelské týmy opět sešly a vyhodnotily se dopady nebo alespoň odhady u složitějších preventivní opatření na konkrétní problémový výrobní krok. Pro obsáhlost veškerých opatření není možné se ke každému písemně vyjádřit, proto jednotlivá zhodnocení nápravných opatření můžete nalézt v příloze 1 této práce. Opatření navržená na základě této práce téměř ve všech případech vedla k dostatečnému zlepšení výrobního procesu, pouze u dvou případech se nepodařilo dostat kritičnost výrobního kroku pod hranici 120 bodů.

Prvním z nich je špatné zakládání sklovýztuže, kdy mohou vznikat defekty na povrchu výrobku a výrobek může ztrácet své mechanické vlastnosti. Přestože zaměstnanci jsou pravidelně proškolení, jsou jim prezentovány jejich chyby na vyzmetkovaných výrobcích a tvarově složitější výrobky musí po vylaminování projít mezioperační kontrolou, tak se tento krok procesu podařilo z původních 648 bodů rizika dostat pouze na hodnotu 135 bodů. Druhým a posledním výrobním krokem, který není pod požadovanou hranicí, je dostatečné odmaštění zálisků před nalepením. Přes nápravná opatření se nám podařilo snížit pravděpodobnost výskytu z hodnocení 4 na 2, což je hodnocení pro proces, který se nemůže téměř stát. Pokud ovšem nastane a pracovníci zálisek nalepí, nejsme téměř schopni odhalit, zda byl či nebyl zálisek dostatečně odmaštěn. Pracovníci výstupní kontroly proto při kontrole zkoušejí fyzicky oddělit zálisek od laminátu, čímž prověřují tuhost spoje a jeho dostatečné odmaštění. Když ke složité odhalitelnosti přičteme závažnost, která je na hodnotě 9, dostáváme číslo rizika 126. Na obou těchto výrobních krocích usilovně pracujeme a hledáme způsoby, jak v prvním případě snížit výskyt a ve druhém, jak zlepšit odhalitelnost této vady.

6 DOPADY NA MÍRU ZMETKOVITOSTI VÝROBY

V této kapitole se budu snažit popsat, jaký efekt měla navržená opatření na zmetkovitost výroby ve firmě. V zadání práce bylo mimo zhodnocení zmetkovitosti zmíněno vyhodnocení reklamací před a po zavedení opatření. Je třeba říct, že žádný z dílů vyrobených po zavedení nápravných opatření nebyl prozatím reklamován, z tohoto důvodu není možné provést zhodnocení reklamací. Dále bude tedy prezentováno pouze hodnocení vnitřní zmetkovitosti výroby. Vnitřní zmetkovitost byla sledována třemi metodami hodnocení:

- **Počet neopravitelných výrobků.**
- **Podíl neopravitelných výrobků k dobrým výrobkům.**
- **Vnitřní procentuální zmetkovitost.**

Problematikou snížení zmetkovitosti metodou FMEA jsme se začali zabývat v průběhu května roku 2015. Toto datum také bude považováno za hraniční datum pro posuzování zmetkovitosti před a po zavedení opatření.

6.1 Počet neopravitelných výrobků

Touto metodou byly porovnány počty neshodných dílů za dobu před zavedením a po zavedení práce. Za neshodný díl se považuje díl, který není možné opravit nebo by náklady na jeho opravu přesáhly náklady na výrobu nového dílu. V roce před zavedením opatření se v průměru zmetkovalo 268 dílů každý měsíc. Po zavedení opatření, tedy od května 2015 do dubna 2016, se v průměru zmetkovalo pouze 152 dílů měsíčně. To je tedy pokles o více než 43 %. Počty zmetkovaných dílů v jednotlivých měsících naleznete na konci kapitoly 6 na obrázku 6.1.

6.2 Podíl neopravitelných výrobků k dobrým výrobkům

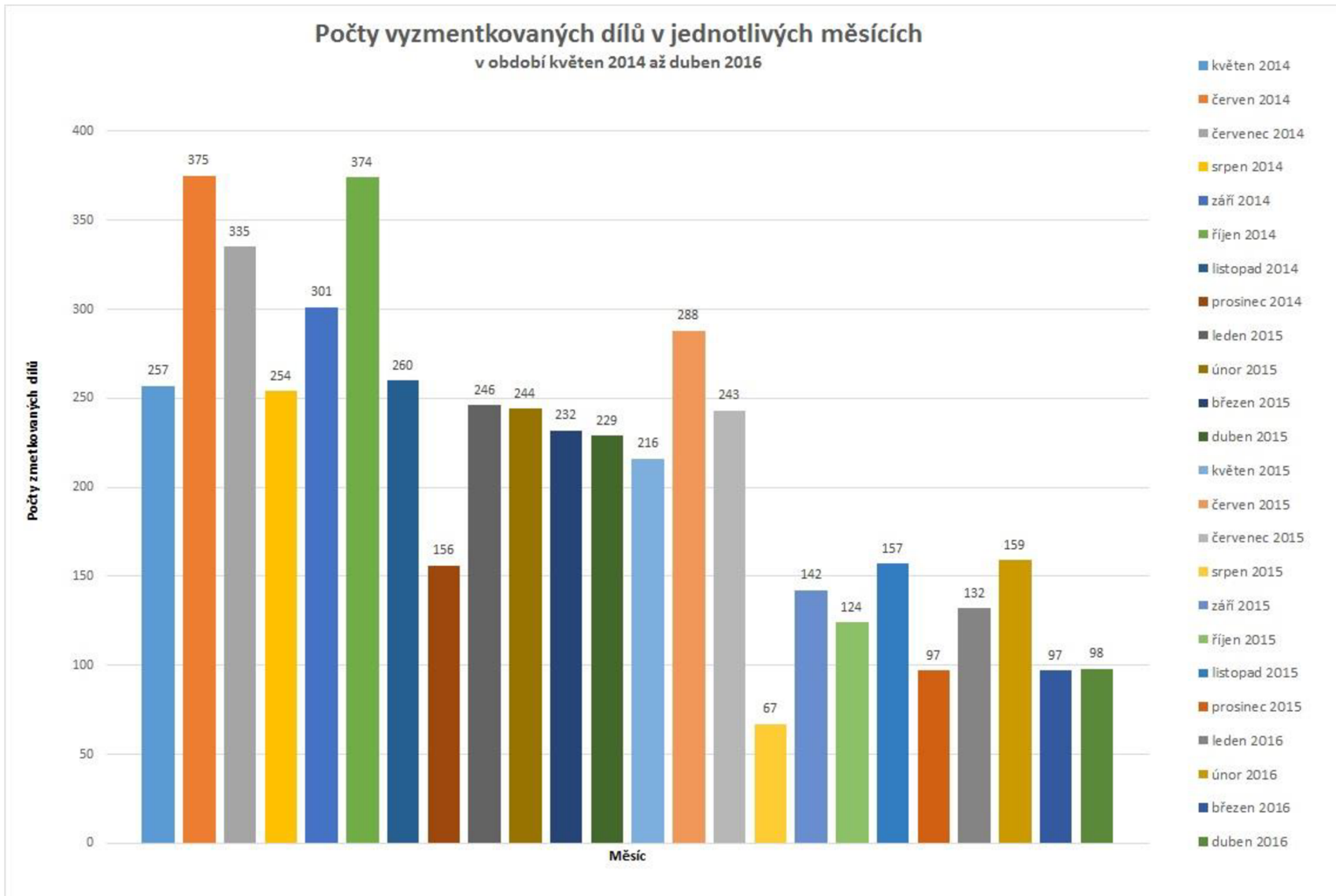
Tato metoda svým způsobem vychází z čísel předchozí analýzy, je ovšem vztažena k dobrým výrobkům. Metoda je tedy více vypovídající. Je rozdíl vyrobit 100 zmetků z 1000 výrobků nebo 100 zmetků z 10 000 výrobků. Před zavedením opatření se zmetkovalo průměrně 1,75 % všech vyrobených dílů, po zavedení klesla hodnota na 0,91 %. Jde tedy v průměrných číslech o 48 % pokles.

Podrobná tabulka s hodnotami za jednotlivé měsíce je uvedena na obrázku 6.2 na konci kapitoly 6.

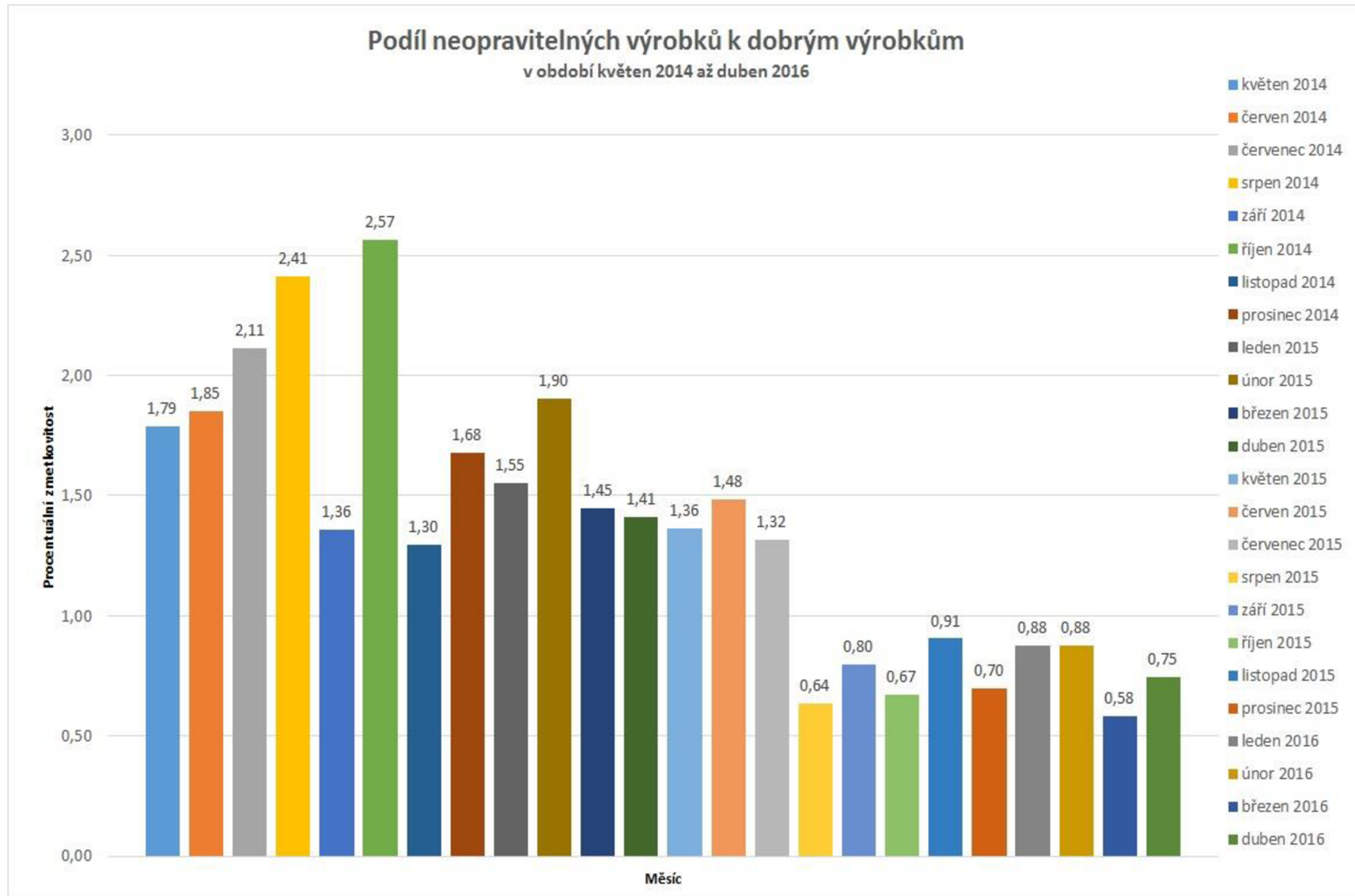
6.3 Vnitřní procentuální zmetkovitost

Vnitřní procentuální zmetkovitost firmy je z hlediska majitele firmy nejsledovanější. Jako vnitřní procento zmetkovitosti je ve firmě brán podíl vynaložených finančních prostředků na zmetkované díly k vynaloženým finančním prostředkům na dobré díly. Díky této metodě jsou smazány rozdíly velikosti výrobků, kdy je rozdíl, jestli je zmetkované nouzové tlačítko či zadní panel autobusu. V předchozích metodách nebyl na tento fakt brán ohled. Taktéž není tato metoda ovlivněna procenty ziskovosti jednotlivých dílů. Proto vedení firmy rozhodlo, že za vnitřní procento zmetkovitosti bude brán právě podíl vynaložených finančních prostředků na zmetkované díly k vynaloženým finančním prostředkům na dobré díly. Před zavedením opatření se průměrné procento vnitřní zmetkovitosti pohybovalo v průměru 2,19 %. Po zavedení opatření, tedy za období od května 2015 do dubna 2016, se podařilo snížit množství vnitřních zmetků bezmála o 45 % na hodnotu 1,22 %. V období od května 2015 do dubna 2016 byly ve firmě náklady na zmetkované díly 1 853 841,63 Kč. Pokud bychom předpokládali, že bez zavedení nápravných opatření by zmetkovitost neklesla z původních 2,19 %, náklady na zmetky by se vyšplhaly na 3 327 797,68 Kč. Můžeme tedy říci, že za pomoci aplikace metody FMEA jsme za rok ušetřili nákladově 1 473 956,05 Kč. Za zmínku stojí stále klesající tendence, kdy za poslední čtyři měsíce tedy od začátku roku 2016, je průměrná hodnota pouze 1,08 %. Je tedy stále patrná klesající tendence vnitřní zmetkovitosti. Je reálné, že koncem roku 2016 se splní přání vedení společnosti, zmetkovitost klesne pod 1 %. Jednotlivé měsíční hodnoty jsou na obrázku 6.3 na konci kapitoly 6.

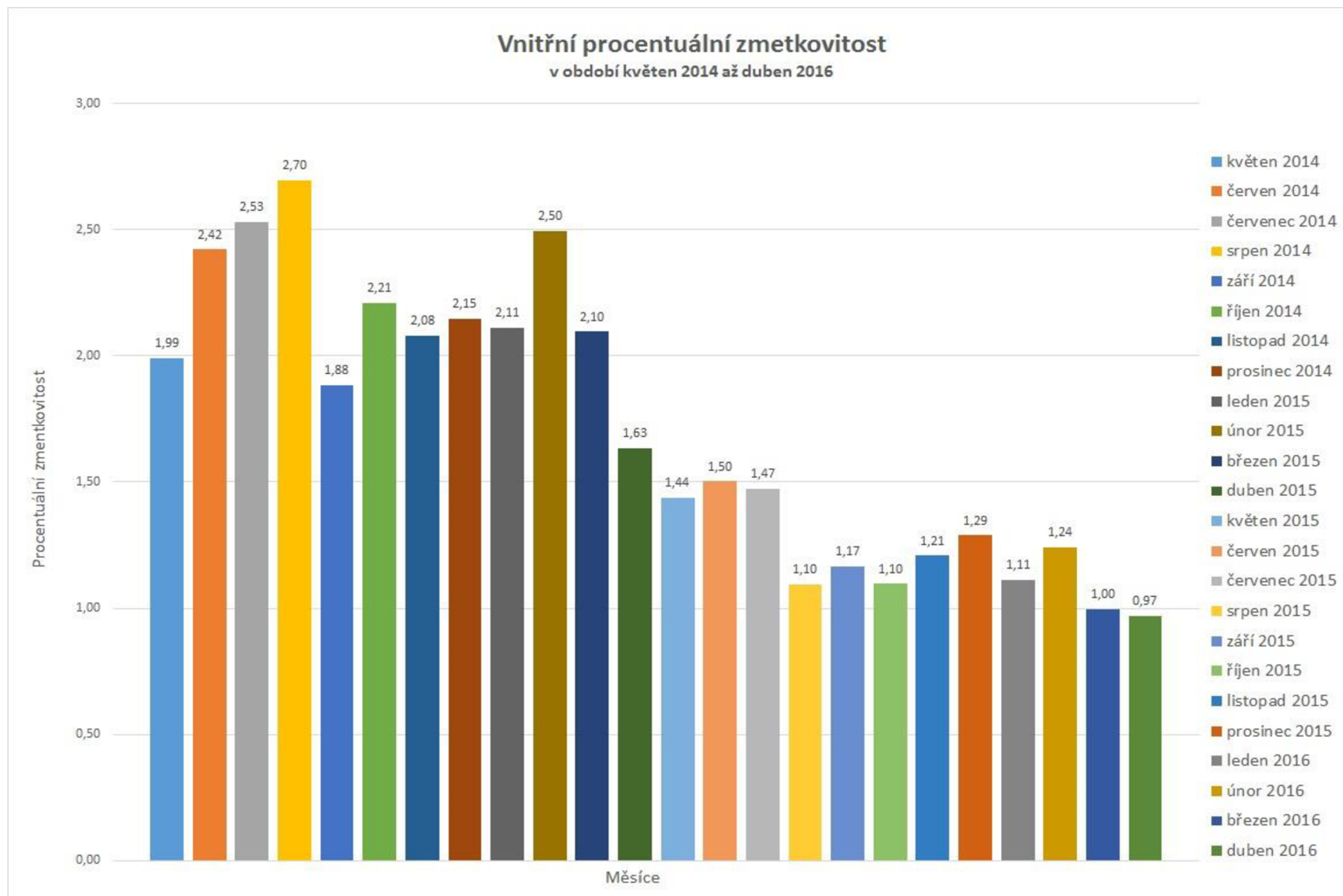
Obr. 6.1 Počty vyznamkovaných děl v jednotlivých měsících.



Obr. 6.2 Podíl neopravitelných výrobků k dobrým výrobkům.



Obr. 6.3 Vnitřní procentuální zmetkovitost.



7 ZÁVĚR

Tato práce byla zaměřena na aplikaci použití metody FMEA ve výrobě kompozitních (sklolaminátových) dílů za účelem snížení vnitřní zmetkovitosti společnosti Composite Components a.s. Práce je rozdělena do dvou částí. V první části byla popsána samotná metoda FMEA, která napomáhá k odhalení kritických míst. Metoda je zde rozdělena do tří základních modifikací, kde jsou popsány a ukázány jejich specifické vlastnosti. Jsou zde definovány hlavní výhody a nevýhody použití této metody a čtenář byl seznámen s teoretickými informacemi o metodě FMEA. V praktické části této práce bylo za pomoci zmetkových protokolů z předchozích let odhaleno třináct druhů vad, které mají za následek téměř 95 % veškerých neshodných výrobků ve společnosti. Pro svou obsáhlost byla analýza rozdělena na deset výrobních pracovišť výroby, která jsou v práci podrobněji popsána. Jednotlivá pracoviště prošla podrobnou analýzou dle standardů FMEA. Touto analýzou bylo celkem zjištěno 27 úzkých míst, kde číslo RPN přesáhlo nastavenou hranici 120 bodů. Za pomoci nápravných opatření a dvou nově pořízených technologií (ořezové CNC centrum a 3D skener) se podařilo 25 úzkých míst odstranit. Dvě zbylá úzká místa v současnou chvíli nesplňují pouze těsně nastavenou hranici 120 bodů a nadále se pracuje na zlepšení. Z analýzy vyplynulo, že převážná část úzkých míst výroby je zapříčiněna pochybením pracovníků na daných pracovištích. Je tedy nezbytné vytvořit pro zaměstnance vhodné pracovní podmínky, neustále zaměstnance vést k důležitosti a odpovědnosti za vykonanou práci a motivovat je k lepším výsledkům.

Navrhovaná nápravná opatření většinou směřují ke snížení výskytu pomocí preventivních opatření, v menší míře pak ke zvýšení pravděpodobnosti odhalení vzniklé vady. Závažnost jednotlivých důsledků poruch zpravidla snižovat nelze, protože důležitost dané operace zůstává vždy stejná. Podrobná tabulka s jednotlivými úzkými místy a jejich nápravná opatření jsou k nalezení v příloze 1 této práce.

Výsledkem této práce je pokles vnitřní zmetkovitosti firmy. Průměrná vnitřní zmetkovitost firmy za 12 měsíců před zahájením se měsíčně pohybovala na hodnotě 2,19 %, nyní se za posledních 12 měsíců pohybuje průměrně kolem hodnoty 1,22 %. Za poslední rok se tedy v průměru podařilo ušetřit bezmála 1,5 mil. Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Composite Components. O nás* [online]. 2016. [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://www.compositecomponents.eu/cs/o-nas>
- [2] RUSEK, J. *Příprava a aplikace kompozitních materiálů na součásti autobusu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Němec, Ph.D.
- [3] *Composite Components. Technologie* [online]. 2016. [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://www.compositecomponents.eu/cs/technologie>
- [4] *FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)* [online]. 2013. [cit. 2016-02-23]. <https://managementmania.com/cs/failure-mode-and-effect-analysis>
- [5] ČSN EN ISO 608 12, *Technická analýza spolehlivosti systému – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 44 s.
- [6] NENADAL, K. *Moderní systémy řízení jakosti. Quality Management*. Praha: Management Press, 1998, 284 s. ISBN 80-859-4363-8.
- [7] NENADÁL, J. *Měření v systémech managementu jakosti*. 2. dopln. Vyd. Praha: Management Press, 2004. 335 s. ISBN 80-7261-110-0
- [8] SC&C Partner, spol. s.r.o. *Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. Firemní materiál, Brno, 2015, 29 s
- [9] PLEŠKOVÁ, A. *Nové nástroje managementu jakosti*. Praha: Národní informační středisko pro podporu jakosti, 2004, 84 s. ISBN 80-02-01690-4
- [10] PLURA, J. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Praha: Computer Press, 2001, ISBN 80-7226-543-1.
- [11] *Analýza možných způsobů a důsledků závad (FMEA)*. Česká společnost pro jakost, 2001. 72 s. ISBN 80-02-01476-6.

- [12] ZEMAN, M. *Zavedení metody FMEA do podniku Störi Mantel s.r.o.*. Zlín, 2010. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství.
- [13] *Metoda FMEA* [online]. [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://www.komora-khk.cz/business/documents/?soubor=moduly/5-jakost/12-neustale-zlepsovani/12-2-fmea.pdf>
- [14] *Failure Modes, Effects & Criticality Analysis* [online]. [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/ftmsc/modules/modulelist/peuss/slides/section_12a_fmeca_notes.pdf
- [15] ZAHÁLKA, J. *Analýza rizik v průmyslovém podniku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Luboš Kotek, Ph.D.
- [16] VLÁŠKOVÁ, M. a P. PETR. *Metody analýzy rizik*. Univerzita Pardubice, 2012.
- [17] BOUROUNI, K. *Availability assessment of a reverse osmosis plant: Comparison between Reliability Block Diagram and Fault Tree Analysis Methods*. Desalination [online]. 2012 [cit. 2016-04-29]. DOI: 10.1016/j.desal.2012.11.025. ISSN 0011-9164.
- [18] ROŽEK, F., J. BRÁCHA a V. MRÁZ. *Management rizika: úvod k systematickému vyhledávání, posuzování a hodnocení rizik*. Rožnov pod Radhoštěm: RoVS - Rožnovský vzdělávací servis, 1998. ISBN 80-238-3225-5.
- [19] GOLLOMP, B. Alookback - Quality and reliability facilitator-FMEA. *Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE* [online]. USA: IEEE, 0804, 11(2) [cit. 2016-04-29]. DOI: 10.1109/MIM.2008.4483736. ISSN 1094-6969.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Český název	Zahraniční název
CNC	Číslicové řízení pomocí počítače	Computer Numerical Control
DFMEA	FMEA návrhu produktu	Design failure mode and effect analysis
ETA	Analýzy stromu událostí	Event Tree analysis
FMEA	Analýza možných způsobů a důsledků poruch	Failure mode effects analysis
FMECA	Analýza možných způsobů, důsledků a kritičnosti poruch	Failure mode effects and criticality analysis
FTA	Analýza stromu poruchových stavů	Fault tree analysis
HAZOP	Studie nebezpečí a provozuschopnosti	Hazard and operability
KL	Kontaktní laminace	
NASA	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku	National aeronautics and space administration
MDF	Středně hustá dřevovláknitá deska	Medium Density Fibreboard
MR	Míra rizika	
PFMEA	FMEA procesu	Process failure mode effects analysis
PN	Pracovní návodka	
POV	Pravděpodobnost odhalení vady	
PVV	Pravděpodobnost výskytu vady	
RAL		ReichsAusschuss fuer Lieferbedingungen
RPN	Rizikové číslo	Risk priority number
RTM		Resin transfer molding
SFMEA	FMEA systémová	System failure modes effects analysis
TP	Technologický postup	
TVP	Technická příprava výroby	
VD	Výrobní dokumentace	

V.Ř.	Výrobní ředitel	
VV	Význam vady	
VVT	Vakuově – vypěňovací technologie	

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Formulář procesní FMEA