

Statistická regulace procesu ve společnosti XY

Ing. Rostislav Doležal

Diplomová práce
2015

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Ing. Rostislav Doležal
Osobní číslo: M14931
Studijní program: N6209 Systémové inženýrství a informatika
Studijní obor: Průmyslové inženýrství
Forma studia: kombinovaná

Téma práce: Statistická regulace procesu ve společnosti XY

Zásady pro vypracování:

Úvod

Definujte cíle práce a použité metody zpracování práce.

I. Teoretická část

- Zpracujte přehled teoretických východisek zabývajících se problematikou zvoleného tématu diplomové práce.

II. Praktická část

- Analyzujte sledovaný proces ve společnosti XY za použití metody DMAIC.
- Proveďte zhodnocení zlepšení.

Závěr

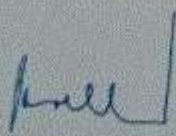
Rozsah diplomové práce: cca 70 stran
Rozsah příloh:
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

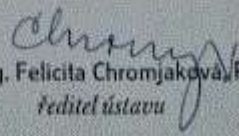
JOHN, A., MERAN, R., ROENPAGE, O., STAUDTER, CH. Six Sigma + Lean Toolset. 1st edition Berlin: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-32349-5.
RYAN, T. P. Statistical Methods for Quality Improvement. 2. vyd. New York: A Wiley-Interscience Publication, 2000, ISBN 0-471-19775-0.
TOŠENOVSKÝ, J., NOSKIEVIČOVÁ, D. Statistické metody pro zlepšování jakosti. Ostrava: Montanex a.s., 2000. ISBN 80-7225-040-X.
VÁCLAVEK, J. Statistická regulace výrobních procesů, České Budějovice, Vydavatelství a nakladatelství Bartoň QSV, 1996, ISBN 80-902236-0-5.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Melišik, Ph.D.
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů
Datum zadání diplomové práce: 16. února 2015
Termín odevzdání diplomové práce: 27. dubna 2015

Ve Zlíně dne 16. února 2015


prof. Dr. Ing. Drahomíra Pavelková
děkanka




prof. Ing. Felicita Chromjaková, Ph.D.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na elektronickém nosiči v příruční knihovně Fakulty managementu a ekonomiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové/bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně



.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá statistickým řízením procesu dle metody Six Sigma. Teoretická část je věnována základním pojmům, které souvisí s tématem diplomové práce. Zde jsou zpracována témata z oblasti řízení projektů dle koncepce Six Sigma, kvality a nástrojů statistického řízení procesu.

Obsahem analytické části je analýza současného stavu procesu výroby vysokorychlostního kabelu ve společnosti XY. Následně jsou identifikovány možné příčiny vzniku problému, které jsou dále analyzovány. Na základě výsledků analýz je navržen a implementován návrh řešení zlepšující současný stav procesu.

Klíčová slova: Six Sigma, DMAIC, proces, systém měření, stabilita procesu

ABSTRACT

This thesis deals with statistical process control according to the method Six Sigma. The theoretical part is devoted to basic concepts related to the topic of the thesis. There are topics from the field of project management according to the method of Six Sigma, the quality tools and the statistical process control tools.

In the analytical part there is an analysis of the current state of the manufacturing process of high-speed cable in the company XY. Subsequently there are identified the possible causes of the problem, which will be further analyzed. The solutions to improve the current state of the process are designed and implemented based on the results of analyses.

Keywords: Six Sigma, DMAIC, process, measure system, process stability

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Melišíkovi, Ph.D. za jeho cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 SIX SIGMA	11
1.1 HISTORIE SIX SIGMA	11
1.2 KONCEPCE SIX SIGMA.....	12
1.3 PRINCIPY SIX SIGMA	13
1.4 KONCEPCE DMAIC	17
1.4.1 Fáze DEFINE	18
1.4.2 Fáze MEASURE	20
1.4.3 Fáze ANALYZE	20
1.4.4 Fáze IMPROVE	21
1.4.5 Fáze CONTROL	21
2 NÁSTROJE KONTROLY	22
3 STATISTICKÁ REGULACE PROCESU	26
4 ZPŮSOBILOST PROCESU	28
4.1 INDEXY ZPŮSOBILOSTI.....	28
4.1.1 Index Cp	28
4.1.2 Index Cpk	29
4.1.3 Index Pp	30
4.1.4 Index Ppk	31
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
5 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI XY	34
5.1 VIZE SPOLEČNOSTI	35
6 DEFINE	36
6.1 POPIS PROBLEMATIKY	36
6.2 PROJECT CHARTER	38
7 MEASURE	40
7.1 PROCES VÝROBY	40
7.2 ANALÝZA ZMETKOVITOSTI.....	41
7.3 IDENTIFIKACE PŘÍČIN VZNIKU VAD	43
8 ANALYZE	45
8.1 GAGE R&R	45
8.2 CAPABILITY	50
8.2.1 Normalita dat.....	50
9 IMPROVE	56
9.1 IMPLEMENTACE ZMĚN	56
9.1.1 Uspořádání pracoviště	57
10 CONTROL	59
11 EKONOMICKÝ PŘÍNOS	60
12 ZÁVĚR	62

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	66
SEZNAM OBRÁZKŮ	67
SEZNAM TABULEK.....	69

ÚVOD

Kontinuální zlepšování představuje společné téma mnoha organizací usilujících o zvyšování jakosti vlastních výrobků a služeb. Jde o předpoklad úspěšného udržení se na trhu v rámci konkurenčního boje. V posledních několika letech se jednou z nevhodnějších filosofí řízení jakosti stala filosofie Six Sigma, dobře fungující v mnoha závodech jako Motorola General Electric, Sony a v mnoha dalších. Six Sigma neovlivnila pouze podnikatelský sektor, ale i vnímání statistiky jako takové. Přitom vychází ze základních zásad jakosti.

Plnění zákaznických požadavků je stále náročnější. Výrobní podniky musí rychle reagovat na přicházející změny. Výrobní procesy jsou složitější a musí být pod neustálou kontrolou, aby byla zachována stabilita a kvalita výroby. Požadované jakosti může být dosaženo pomocí řízeného procesu. Aby mohl být proces řízen, musí být sledován v čase. Statistická regulace procesu umožňuje udržovat požadovanou jakost při přijatelných nákladech. Řízení procesu spočívá v jeho případném usměrňování pomocí zásahů na základě vyhodnocení sledovaných znaků. Včasné odhalení vychýlení procesu od požadovaného stavu umožňuje provedení nápravy vedoucí k plné spokojenosti zákazníka. K řízení procesu jsou používány statistické nástroje, které jsou vhodné především pro stabilní velkosériové výroby. Nestabilní procesy vykazují více příčin, které se vzájemně ovlivňují a jsou tak těžko odhalitelné. Vychýlení procesu od stanoveného standardu je zcela běžný fakt. Výskyt odchylek však přináší dodatečné náklady, a to nejen finanční. Řízení procesů má uplatnění nejen ve velkých výrobních společnostech, ale nachází uplatnění i v menších podnicích, kde je jakost na prvním místě. Statistická kontrola procesu je často vyžadována i samotnými zákazníky, protože jakost dodávaných dílů značně ovlivňuje jejich procesy a spokojenost jejich zákazníků. Lze tedy očekávat, že zvýšení kvality produkce povede k vyšší spokojenosti stávajících zákazníků a získání zákazníků nových.

Součástí filosofie Six Sigma je prověřený postup neustálého zlepšování složený z pěti fází DMAIC (Define - Definovat, Measure - Měřit, Analyse - Analyzovat, Improve - Zlepšit, Control - Kontrola). Jde o univerzálně použitelnou metodu postupného zlepšování jakosti. Výrazným znakem Six Sigma je neustálé zlepšování krok za krokem. Cílem každého zlepšování pomocí této metodiky je dosažení 3,4 vadných dílů na milion vyrobených. Odklon Six Sigmy od stávajících filosofí zabývajících se pouze kvalitou spočívá v důrazu na sledování nákladů spojené s nekvalitou.

Cílem této práce je ukázka statistického řízení procesu jako nástroje zvyšování jakosti za využití metody Six Sigma v oblasti výroby telematických systémů, které představují moderní informační a komunikační technologie.

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je pomocí odborné literatury v několika kapitolách popsána filosofie Six Sigma, její vývoj s principy. Následují vybrané nástroje kvality, které úzce souvisí s řízením jakosti procesu. Následuje část zabývající se stabilitou a způsobilostí procesu prostřednictvím statistických nástrojů.

V praktické části budou vyhodnoceny získané hodnoty z procesu výroby kabelového svazku. Vybraný proces bude podroben zkoumání z hlediska způsobilosti a stability. V případě nalezení možného vychýlení od požadovaného stavu budou navržena opatření k jeho nápravě.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SIX SIGMA

Název Six Sigma je odvozen z písmene řecké abecedy sigma σ . Sigma v matematickém pojetí charakterizuje směrodatnou odchylku, kterou se vyjadřují naměřené hodnoty odlišující se od sebe. Nižší hodnota směrodatné odchylky vyjadřuje vyšší vzájemnou podobnost prvků sledovaného souboru, než hodnota s vyšší hodnotou σ . (Gregory H. Watson, 2005)

1.1 Historie Six Sigma

Metodologie SIX SIGMA byla vyvinuta Billem Smithem ve společnosti Motorola v osmdesátých letech minulého století jako nástroj odvracející neúspěch v konkurenčním boji způsobeném především nekvalitou jejich výrobků. Metoda byla založena na sledování kvality pomocí měření směrodatné odchylky procesu. Metoda posuzující variabilitu procesů byla již v té době zcela běžná, ale Bill Smith tuto metodu více specifikoval a nastavil měřítka, která jsou základem metodologie Six Sigma. (Pande, Neuman a Cavanagh, 2002)

Tehdejší prezident společnosti Motorola Bob Galvin tuto strategii obnovující vzestup společnosti zpět na leadra trhu velmi podporoval. Základní prvek strategie bylo zvýšit desetinašobně kvalitu výroby Motoroly v průběhu několika let. Tehdejší strategie je označována za prvopočátek metodologie Six Sigma. (Barney a McCarty, 2003)

Následně byla metoda převzata dalšími společnostmi jako GE vedena Jackem Welchem, která použila tuto metodu SIX SIGMA jako první na posuzování poskytování vlastních služeb GE Capital. (Tennant, 2001)

Celkově se program ve společnosti GE stal velmi úspěšným a jejich roční zprávy vykazovaly úspory pomocí programu Six Sigma 1-2 miliard dolarů ročně v letech 1996 – 1999. (Hopp a Spearman, 2008)

Filosofie SIX SIGMA je přístup zabezpečující jakost výrobku nebo procesu. Podle Pandeho, Neumana a Cavanagha je jakost výrobku poskytovaného zákazníkovi zajištěna procesy u dodavatele, které jsou natolik způsobilé, že pravděpodobnost výskytu neshodného produktu je velmi malá.

Počátkem 21. století se metodika Six Sigma rozšířila o několik nových nástrojů zlepšující základní proces. Tyto nástroje byly zahrnuty v kroku „Define“, a to znamenalo rozšíření procesu MAIC na DMAIC. Kromě toho, nová metodika formována podle základní metody Six Sigma byla nazývána Design Six Sigma, dále DFSS. Rozdíl v těchto metodách byl v tom,

že Design podle Six Sigma se zaměřoval na nové produkty a procesy. Naproti tomu předchozí metoda se zaměřuje na zlepšování již stávajících výrobků a procesů. Metodika DFSS k základnímu cyklu zlepšování zahrnuje krok design a vznikl tedy cyklus define, measure, analyze, design and verify. (Hopp a Spearman, 2008)



Obr. 1. Cyklus Six Sigma. (vlastní zpracování)

1.2 Koncepce Six Sigma

Koncepce Six Sigma je založena na vzájemné spolupráci, kreativitě, dovednostech a komunikaci jednotlivých členů týmu. Metoda Six Sigma je aplikovatelná ve všech oborech podnikání a není zaměřena jen na určitou službu či výrobní sféru. Samotná koncepce Six Sigma se skládá z několika fází, jak bylo zmíněno v předchozí kapitole.

Každá fáze vyžaduje vynaložení určité investice a energie. Správné zavedení metody Six Sigma však přináší zvýšení produktivity a v konečném důsledku snížení ekonomických nákladů, zvýšení tržního podílu. S tím souvisí udržení stávajících zákazníků a získání nové klientely.

Metodika Six Sigma se vzdala teoretického pojetí takzvaného „Nulového defektu“, který byl celou dobu uznávaný jako končený cíl zlepšující kvalitu. (Goh, 2010)

Vyhovující proces dle Six Sigma je ten, který zabezpečí dodání maximálně 3,4 vadných produktů nevyhovujících požadavkům zákazníka z miliónu dodaných výrobků. Míra efektivity takového procesu je 99, 9997 %. Všechno, co je níže pod 6σ ve statisticky stabilním procesu toleruje dva vadné kusy z miliardy dodaných vyrobených kusů. Proto Six Sigma

dovoluje posun specifikačních limit procesu. Má se za to, že hodnoty naměřené v krátkém období vykazují o $1,5\sigma$ zlepšení oproti hodnotám naměřené v dlouhém období. (Pyzdek a Keller, 2010)

Tab. 1. Stupnice úrovně Sigma. (Gyg, Decarlo, Williams, 2005)

Úroveň Sigma	Výnos [%]	Počet neshod na milion příležitostí	Odhad nákladů na nekvalitu
1.0 σ	33%	691 462	>40%
2.0 σ	69.2%	308 538	30-40%
3.0 σ	93.32	66 803	20-30%
4.0 σ	99.38%	6 210	15-20%
5.0 σ	99.9767%	233	10-15%
6.0 σ	99.99966%	3.4	<10%

1.3 Principy Six Sigma

Moderní koncepce Six Sigma staví na základních principech, tzv. hodnotách. Principy představují zásady a základní myšlenky, které jsou dále rozvíjeny dle aktuálních trendů. I přesto, že jsou v různých modelech odlišnosti v pojetí a struktuře, je obecně uznáváno až jedenáct základních principů. (Nenadál, 2008)

V následující části bude objasněno základních pět principů, a to:

1. Stanovení hodnoty pro zákazníka,
2. Identifikovat hodnotový tok a eliminovat plýtvání,
3. Utvořit tok hodnot určených zákazníkem,
4. Odpovědnost každého zaměstnance za výkon vlastní práce,
5. Neustálé zlepšování usilující o dokonalost.

1. Stanovení hodnoty pro zákazníka

Princip zaměřující se na zákazníka přihlíží k zákaznickým požadavkům, které musí být v souladu s cíli organizace. Základním cílem managementu kvality je řízení a rozvoj vztahů se zákazníky. S tím souvisí jejich spokojenost a loajalita k organizaci. Měření a sledování spokojenosti zákazníka vyžaduje i mezinárodně uznávaná norma ISO 9000, která je základní normou managementu kvality. (Nenadál, 2009)

Předpokladem úspěchu takového systému je zapojení všech zaměstnanců k uspokojování potřeb a očekávání zákazníků. Docílí se tak větší efektivity organizace jako celku a nikoli

pouze několika málo jednotlivců. Úspěšnost organizace v konkurenčním boji spočívá v uspokojování očekávání zákazníka. (Pande, Cavanagh a Neuman, 2002)

Symptomy spokojenosti bezprostředně ovlivňují míru zákaznického vnímání poskytovaného produktu nebo služby, které se mnohdy liší od technických vlastností. Ke zjištění zákaznických požadavků a jeho spokojeností existuje mnoho nástrojů. Nejvhodnějším a nejrychlejším nástrojem je nástroj „Hlas zákazníka“ (angl. „VOC = Voice Of Customer“) neboli se zákazníka zeptat napřímo. Nástroj může mít mnoho podob. Jednak v podobě přímého dotazování, skupinových diskuzí, dotazníků, ale i formou auditů nebo prostřednictvím reklamací. Často formulace zákaznických požadavků je komplikovaná, neboť organizace často nemá jasně stanoveného zákazníka nebo nedokáže jeho požadavky převést do technické podoby výrobku. (Nenadál, 2004)

2. Identifikovat hodnotový tok a eliminovat plýtvání

Již dlouho v minulosti byla řešena otázka identifikace toku hodnot. Řada ekonomů se touto otázkou zabývala. Vzniklo mnoho definic, které se postupem času měnily. Podle jedné definice je hodnota chápána jako jakákoliv činnost, za kterou je zákazník ochoten zaplatit. (Sullivan, 2000)

Podstatou filosofie štíhlosti je eliminace jakéhokoliv plýtvání v průběhu procesu. V procesním managementu nazývána „MUDA“. Nalezení zdrojů plýtvání je v organizaci prvním krokem k volbě případných směrů k efektivnímu odstraňování. Plýtvání je všechno, co zvyšuje náklady výrobku nebo služby bez toho, aby zvyšovalo jejich hodnotu. (Košturiak, Frolík, 2006)

Plýtvání může mít mnoho podob. Každá organizace identifikuje různé druhy plýtvání. Nejčastěji používané druhy plýtvání vychází z principů Toyoty, která definovala následujících sedm druhů:

- **Nadvýroba** – je dána nadbytečnou výrobou dílů, které nejsou zákazníkem poptány. K nadvýrobě může dojít díky nesprávné předpovědi prodeje. Výsledkem bude nahromadění zásob a rozpracované výroby, která vzniká před procesem, který ještě nezačal svoji činnost nebo je pomalejší, než předchozí proces. Vzniklé zásoby vyžadují dodatečné místo, dodatečnou manipulaci, další výdaje na jejich skladování. Tyto zásoby vznikají i díky nejistotě z poruchovosti strojů, nedostatku lidských zdrojů, kdy vedoucí pracovníci si zajišťují dostatečnou zásobu rozpracované zásoby pro případ nouze.

- Čekání – běžně se projevuje v čekání na pracovníka, zařízení a materiál. Rozlišují se dva druhy čekání. První druhem čekání je ten, kdy se čeká na dodání materiálu, seřízení stroje nebo na příchod pracovníka. Druhý druh je tehdy, kdy se čeká během výrobního procesu na zpracování požadavku nebo dokončení procesu strojem.
- Nadbytečná přeprava – transport je nutnou součástí výrobního procesu. Přeprava materiálu nebo hotových výrobků však nepřidává žádnou hodnotu. Může dojít i ke vzniku vady během dopravy. Nadbytečná doprava vzniká tehdy, kdy jsou výrobní procesy nevhodně rozmístěny nebo materiál prochází zbytečně mezisklady.
- Nesprávné vykonávání operací – nesprávným vykonáváním operací dochází ke vzniku vad výrobků nebo služeb. Nejčastěji k tomu dochází při ručních operacích, kde nejsou dodržovány postupy nebo nejsou použity prostředky zabraňující nekvalitě.
- Nadbytečné zásoby – nadbytečné zásoby částečně souvisí s nadvýrobou, jak bylo uvedeno výše. Obecně jsou v zásobách drženy finanční prostředky, které mohou být použity jiným způsobem. Zásoby je nutné optimalizovat a držet na nezbytně nutné úrovni. Nadbytečné zásoby mohou souviset s poruchou strojů, vad ve výrobním procesu, nevyváženosti procesu. Exspirace zásob představuje vážný problém. Dochází ke snižování jakosti zásoby nebo dokonce k jejich totálnímu poškození.
- Nadbytečné pohyby – představují veškeré pohyby pracovníků, které nepřidávají hodnotu výrobku. Tyto pohyby jsou neproduktivní. Vznikají především nesprávnými postupy, nedostatečným vybalancováním výrobního procesu, absencí výrobních dílů. Správné uspořádání pracovního prostředí snižuje výskyt těchto pohybů. Touto otázkou se zabývá i ergonomie pracoviště.
- Nekvalita výroby – se projevuje nepravidelnými činnostmi, dodatečnými kontrolami, vznikem reklamací od zákazníků. Náklady spojené s nekvalitou závisí na rozsahu vady, době a místě výskytu. V případě nalezení vady zákazníkem dochází k poklesu jeho důvěry v produkci. (Liker, 2007)

3. Utvořit tok hodnot určených zákazníkem

Pull systémy jsou nedílnou součástí štihlé výroby. Nejsou hojně realizovány z důvodu nepochopení a z představy obtížnosti realizace. Podstatným prvkem řádného fungování pull systému je správné sestavení procesu s přecházejícími částmi. Pro úspěch systému jsou důležité tyto prvky:

- Plynulý produkt v malých dávkách

- Přizpůsobení toku dle „taktu“ objednávání zákazníka
- Signalizace doplňování
- Systém dorovnání množství produktu

Pull systém je závislý na průtoku produktu nebo služby celým systémem. Průtok, resp. proces má nějaké úzké místo, které nepřipouští propustit více produktu, než ostatní části procesu. Úzké místo je omezení, které je nutné identifikovat.

Následující kroky pomohou nalézt úzké místo, které lze pak snadněji minimalizovat nebo zcela odstranit:

- Identifikace omezení
- Posuďte jak omezení využít
- Přizpůsobte všechny další kroky předchozímu rozhodnutí
- Zajistěte maximální využití úzkého místa
- Je-li úzké místo odstraněno v daném kroku, tak najděte nové a opakujte postup

Obvykle je pull systém realizován pomocí kanban systému, který používá signál ke spuštění předchozího kroku procesu. Signál ke spuštění může mít mnoho podob. Jednak elektronický nebo jinak vizuální např. pomocí kanbanových karet. Pull systém má následující výhody:

- Minimalizace odpadu
- Snížení expirace skladových zásob
- Flexibilitu systému a rychlejší uspokojování potřeb zákazníka
- Redukci v potřebě pracovní síly

Teorie omezení nazývána Drum-Buffer-Rope byla vyvinuta Dr. Eli Goldrattem. Její pomocí lze řídit tok materiálu v souladu s poptávkou trhu s minimem dodací lhůty, zásob a provozních nákladů. Systém je složen z prvků Drum, Buffer, Rope.

Drum je přeložen jako buben, který udává rytmus celého systému. Buffer představuje zásobník, který plní funkci ochrannou systému resp. úzkého místa. Konečným prvkem je rope neboli lano, které „hýbe“ celým systémem.

4. Odpovědnost každého zaměstnance za výkon vlastní práce

Zaměstnanci mají vyšší povědomí o silných a slabých stránkách procesů, kterých jsou součástí při každodenním výkonu svého povolání. Zapojení zaměstnanců do neustálého zlepšování má i další výhody. Zaměstnanci, kteří jsou součástí projektu zlepšování kvality a procesu vnášejí řešení mnohem rychleji, než ti, kteří jsou mimo sledovaný proces. Zainteresovaní zaměstnanci dále navrhuji pravděpodobná zlepšení, které vidí jako další možnosti ovlivňující pozitivně náklady.

Všichni zaměstnanci musí přijmout zodpovědnost za neustálé zlepšování. Není konec zlepšování, vyřešením jednoho problému.

5. Neustálé zlepšování usilující o dokonalost

Kaizen, neboli rychlé zlepšování procesů je často považován za „stavební kámen“ všech metod štihlé výroby. Kaizen se zaměřuje na odstranění odpadu, zvýšení produktivity a dosažení trvalého neustálého zlepšování cílených činností a procesů organizace.

Tato filozofie znamená malé, ale postupné změny v běžném procesu s dlouhodobým trváním změny. Předpokladem úspěšné aplikace metody kaizen je zapojení pracovníků z různých funkcí a úrovní organizace pracujících společně na řešení problému nebo zlepšení procesu. Tým používá řadu nástrojů přidávajících hodnotu jako například mapování, pět proč zacílené na oblast řešeného problému. Kaizen událost zpravidla trvá 3-5 dní, kterým předchází několika týdenní sběr a analýza dat. Realizace akcí nezahrnuje značné kapitálové výdaje.

Pravidelné Kaizen akce mají za cíl zajistit trvalé zlepšování v čase. Kaizen lze použít jako analytickou metodu pro provádění dalších metod štihlé výroby včetně změn na buňkovou výrobu a just-in-time ve výrobě.

1.4 Koncepce DMAIC

Základem Six Sigma je metodika řízení projektu a disciplinovaný přístup v podobě cyklu DMAIC. Jedná se o postup na úrovni výkonného rozhodování Six Sigma. Představuje posloupnost pěti kroků pro provádění zejména statistických nástrojů k identifikování procesního plýtvání a odstranění slabých stránek procesu. Vychází z Demingova PDCA modelu pro zlepšování procesů. (Gygi, Decarlo a Williams, 2005)

Název DMAIC je složený z prvních písmen jednotlivých fází cyklu:

DEFINE – definovat,

MEASURE – měřit,

ANALYZE – analyzovat,

IMPROVE – zlepšit neboli implementovat navrhnutá řešení,

CONTROL – kontrolovat.

1.4.1 Fáze DEFINE

Tento krok určuje oblast problému nebo procesu, který vyžaduje zlepšení. Definuje také povahu problému. Cíle pro proces zlepšování metodikou Six Sigma jsou definovány právě v průběhu tohoto kroku. Stanovuje se tým, který je motivován a věří ve výhody použití Six Sigma. Jsou definováni zákazníci, kteří jsou ovlivněni projektem a jsou popsány jejich kritické požadavky neboli naslouchání hlasu zákazníka. Vymezují se také základní podmínky procesu zlepšování. (Gygi, Decarlo a Williams, 2005)

Doporučené nástroje pro fázi Define:

- Projekt charter
- Brainstorming
- SIPOC
- Aktuální stav problému
- Analýza možných chyb a následků

Project charter

Jedná se o základní dokument definující rozsah, cíle a účastníky projektu. Určuje základní role a odpovědnosti členů týmu, vlastní zpracování, benefity a sponzory projektu.

Project Charter

	Name	Signature	Contact Details
Sponsor			
Process Owner			
Kaizen Facilitator			
Event Team Leader			
Event Team Members			
Business Unit		Site / Location	
Event Dates		Charter Rev Date	

Element	Description	Details
1. Event Name	Unique identifier for event	
2. Process Description	Description of process purpose, locations etcetera	
3. Event Objective	What improvement is targeted?	
4. Event Scope	Start and end points of target process. (Any boundaries, for example: geographic, product, functional, demographic.)	

Obr. 2. Project Charter. (Školící materiály Six Sigma společnosti XY)

Mapa SIPOC

SIPOC představuje základní mapu procesu nulté úrovně. SIPOC je zkratka složená z počátečních písmen pěti anglických slov popisující základní prvky procesu: Supplier (Dodavatel), Inputs (Vstupy), Process (Proces), Outputs (Výstup) and Customers (Zákazníci).

Tab. 2. Základní SIPOC mapa. (vlastní zpracování)

Supplier	Input	Process	Output	Customer
Dodavatel	Vstup	Proces	Výstup	Zákazník
Kdo je dodavatel?	Jaké jsou vstupy?	Jaké aktivity nebo funkce jsou použity pro přeměnu vstupu na výstup?	Typ výrobku nebo služby.	Kdo je zákazník a jaké jsou jeho požadavky?

- Supplier neboli dodavatel je charakterizován externími, ale i interními dodavateli vstupů.
- Input v překladu vstup zahrnuje materiál, zařízení, zaměstnance, měření a jiné vstupy použité pro vytvoření výstupu.
- Process česky proces nebo procedura je hlavní aktivita nebo funkce přeměňující vstupy na výstupy.
- Output představuje výstup v podobě výrobku nebo služby vytvořené transformací vstupů v procesu.
- Customers jako zákazníci, pro které je sledovaný výstup vytvářen.

1.4.2 Fáze MEASURE

Definování problému je jen začátek projektu. Následuje krok měření, který patří mezi nejdůležitější části cyklu DMAIC. Stanovují se charakteristiky ovlivňující chování procesu. Toho je dosaženo sběrem dat a měřením aktuálního stavu procesu. Tento krok je časově náročnější v porovnání s předchozím krokem. Tato fáze formuluje parametry, které budou použity k měření zlepšení stavu problému. Jakmile jsou jasně definovány klíčové poruchy procesu, údaje jsou shromážděny k provedení analýz. Dochází k porovnání skutečného stavu s cílovým stavem.

Základní nástroje použité ve fázi měření jsou především:

- Pareto graf,
- Procesní mapa neboli value stream map,
- Statistické nástroje jako kontrola spojitosti dat, Gage R&R study a mnoho dalších.

1.4.3 Fáze ANALYZE

Třetí krok metodologie Six Sigma je krok analyzování. Během této fáze jsou nasbíraná data z kroku měření podrobena analýze mezi aktuálním a žádoucím stavem. Kromě toho je provedena analýza příčin rozdílu výkonnosti procesu. (Rath a Strong, 2006)

Na základě analýz jsou stanoveny výhody a finanční hlediska požadovaného stavu. Mezi vhodné nástroje v této části patří zejména analýza příčin a následků neboli Ishikawův diagram, stabilita procesu, regresní analýzy, testy hypotéz, ANOVA test, t-testy, navrhování experimentů a FMEA.

1.4.4 Fáze IMPROVE

Fáze zlepšení je čtvrtým krokem cyklu DMAIC, kde se ověřuje správnost a funkčnost navržených řešení. Jde o fázi implementace řešení směřující ke zlepšení stávajícího stavu vycházející z měření a předchozích analýz. Výsledkem je nová podoba finálního procesu, který koresponduje s požadavkem zákazníka s ohledem na možnosti organizace. (Töpfer a kol., 2008)

Doporučené nástroje v této fázi jsou z části shodné s nástroji z předchozí části. Jedná se především o DOE neboli navrhování experimentů, testování hypotéz, regresní analýzy, Poka Yoke, 5S, value stream mapa, kontrolní grafy a v neposlední řadě i FMEA.

1.4.5 Fáze CONTROL

Hlavním cílem kontrolní fáze je statistické ověření účinnosti navrhnutých a implementovaných řešení v rámci projektu. Dokumentují se získané poznatky a zjištění projektu. Krok kontroly má potvrdit odstranění problému a ujistit, že nově zvolený postup je schopen zlepšovat proces v průběhu jeho vývoje. (Rath a Strong, 2006)

Řešitelský tým se musí ujistit na základě vyhodnocených výsledků, že provedené změny jsou stabilní. Posuzují se finanční hlediska projektu, prezentují výsledky a stabilní proces přebírá zpět sponzor projektu. (George, Rowlands a Kastle, 2005)

2 NÁSTROJE KONTROLY

Podstatou řízení kvality je předcházení nekvalitě a udržování bezvadných procesů s cílem uspokojit požadavky zákazníka. Kromě udržování procesů se kvalita zabývá i jejich samotnému zlepšování. Pro identifikaci poruch procesů a jejich regulaci bylo vyvinuto sedm základních nástrojů. Prostřednictvím těchto nástrojů jsou jednotlivé odchylky procesu snadno identifikovány, analyzovány a odstraněny. (George, 2010)

Vývojový diagram

Pro analýzu procesu jsou vhodné vývojové diagramy, které účelně popisují sled činností směřující k vytvoření výstupu. Posloupnost činností procesu je charakterizován tokem, při kterém je zajištěna opakovatelnost vstupů. Přehlednost vývojového diagramu je dána grafickým vyjádřením pořadí jednotlivých činností. Pro snadnější tvorbu a orientaci diagramů musí být definované symboly znázorňující daný krok procesu. (Fiala, 1997)

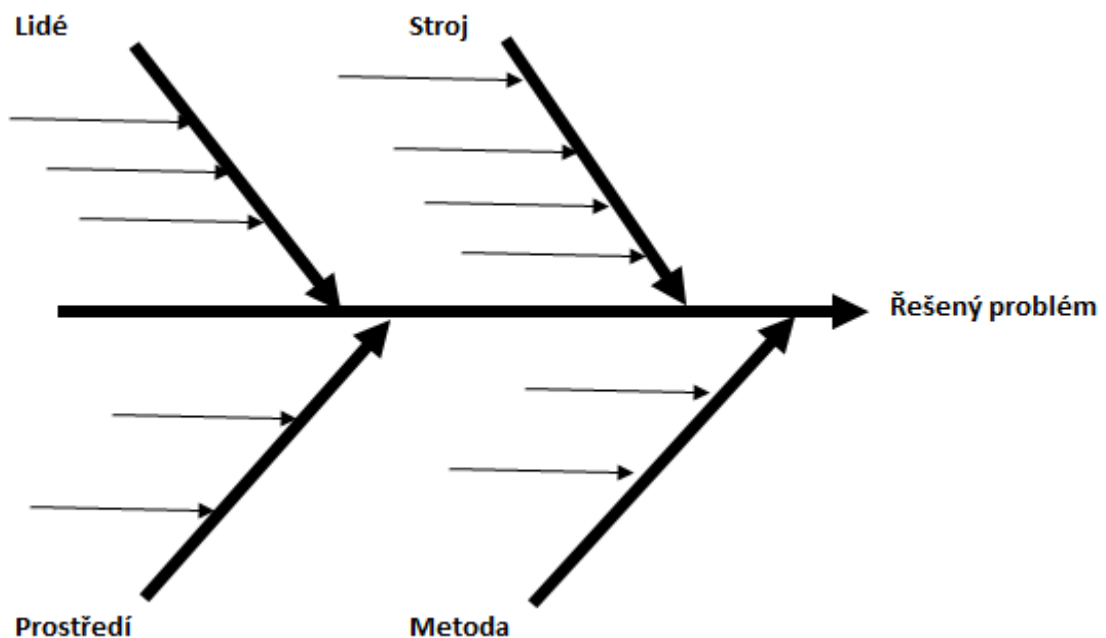


Obr. 3. Grafické znázornění průběhu procesu. (Fiala, 1997)

Ishikawův diagram

Diagram příčin a následků neboli diagram „rybí kost“ či Ishikawův diagram je dílo japonského profesora zabývající se kvalitou Kaoru Ishikawa žijícího v polovině minulého století v Tokyu. (George, 2010)

Podstatou diagramu příčin a následků je systematický postup analyzující možné příčiny způsobující vznik závad. V případě, že nejsou předem známé příčiny, ověřuje se vliv základních elementů příčin, a to lidé, metody, stroje, materiál, měřicí techniky a prostředí. Tento nástroj je závislý na vědomostech týmu řešící určitou problematiku. Základem je vztah příčin a následků, kde důsledek je znám a cílem je objasnit příčiny vzniku. Výstupem je soupis příčin, které patrně zapříčiňují vznik následku. (Fiala, 1997)



Obr. 4. Analýza příčin a následků - Ishikawa graf. (vlastní zpracování)

Pareto analýza

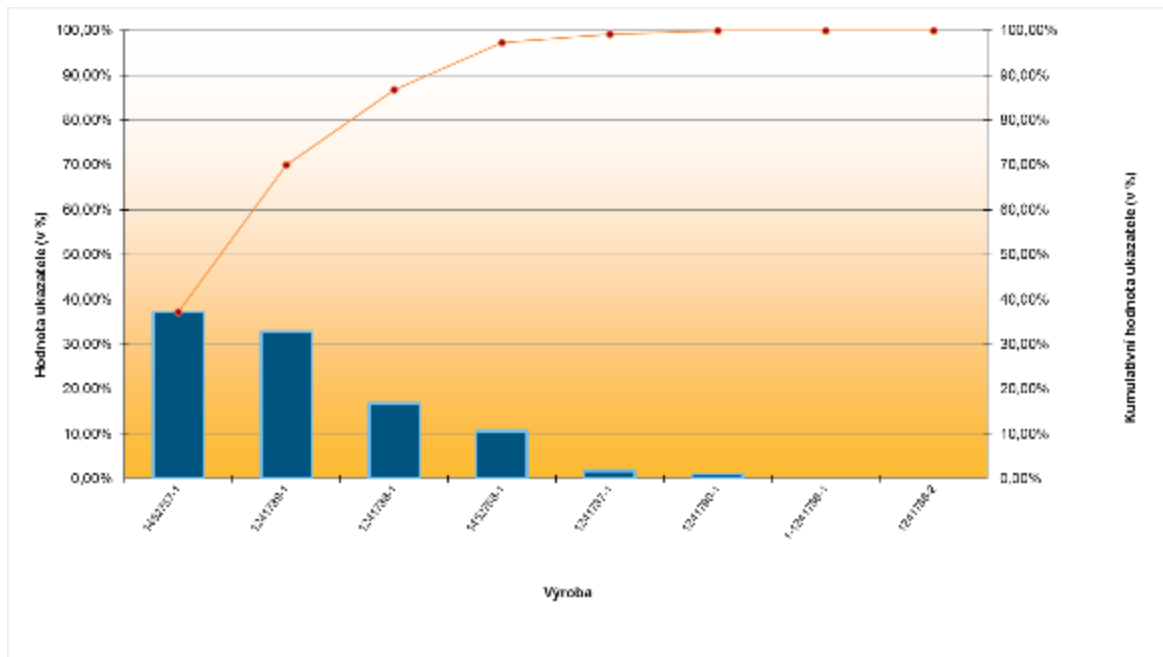
Pareto analýza je speciální pravidlo rozdělení formulované na základě principu dle Vilfreda Pareta popsaného 1987 na populaci lidstva, kde 20 % lidstva tvoří 80 % bohatství.

V případě Six Sigma představuje paretův diagram grafické znázornění problémů a přiřazení jejich priority dle frekvence výskytu. Na ose x histogramu jsou vyznačeny jednotlivé výskyty (chyby, vady, zdroje) seřazeny dle četnosti a osa y znázorňuje jejich frekvenci.

Pareto analýza je znázorněna obrázkem s grafem (Obr.5.). Udělá-li se kumulativní součet hodnot, je možné znázornit i Lorenzovu křivku, která vyjadřuje rozdělení výskytu. Výchozí bod Lorenzovy křivky je roven vrcholu nejvyššího výskytu. Další bod se nachází nad dalšími

výskyty vždy o hodnotu výše rovnající se součtu hodnot aktuálního s předchozími výskyty až do součtu sta procent. (Miller, 2008)

Lorenzova křivka umožňuje lépe znázornit rozdělení výskytů dle pravidla 80/20. Převyšují-li některý výskyt mnohonásobně ostatní, tak se jedná o jasný Paretův efekt, kde daná příčina je významnější než ostatní a má nejvyšší dopad na následek. V případě, že je graf plochý, nemá žádná příčina jednoznačný vliv.



Obr. 5. Pareto analýza. (vlastní zpracování)

Regulační diagramy

Regulační diagramy jsou tvořeny z hodnot získaných z výrobního procesu v intervalech, které mohou být vymezeny v čase nebo v množství. Slouží ke statistické regulaci výroby. Základem diagramu je střední hodnota (CL), horní (UCL) a dolní (LCL) regulační mez. Horní a dolní regulační meze jsou vzdáleny 3σ na obě strany od střední hodnoty. Hodnota σ je směrodatná odchylka sledované veličiny. K odhadu σ je použita výběrová směrodatná odchylka nebo násobky výběrového rozpětí. Za stabilní proces je považován takový, jehož hodnoty se pohybují uvnitř horní a dolní meze. Používají se dva typy regulačních diagramů, a to regulační diagramy pro spojité veličiny měřením a regulační diagramy pro diskrétní hodnoty srovnáním.

Sběr dat

Sběr dat můžeme označit jako systematické získávání hodnot stavu procesu. Data jsou získávána prostřednictvím záznamů, pozorování, výsledků. Data jsou dále zpracovávána a uchovávána pro další využití. Data lze shromažďovat automaticky, poloautomaticky nebo ručně pomocí formulářů. (John a spol, 2008)

Základním požadavkem je, aby data byla spolehlivá. Nesprávná rozhodnutí jsou často způsobena nespolehlivými daty, což může mít za následek zhoršení stavu a tvorbu nových chyb procesu. (Fiala, 1997)

Korelační analýza

Korelační analýza znázorňuje závislost dvou proměnných, které jsou vyjádřeny body v diagramu. Poloha bodů určuje vzájemný vztah mezi proměnnými. Rozložení bodů potom stanovuje druh vzájemné korelace, zdali jde o pozitivní nebo negativní, slabou nebo žádnou korelaci.

Histogram

Graf závislosti neboli histogram je graf určující rozdělení pravděpodobností náhodné veličiny. Náhodná veličina nabývá hodnot, jež jsou základem rozdělení do skupin, resp. tříd. Podle tvaru grafu lze stanovit rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny. (Fiala, 1997)

Rozsah tříd je určen dle vzorce. Nesprávná šířka třídy může způsobit chybnou informaci, která bude mít za následek nesprávné zpracování dat. Histogramy nabývají různých tvarů. Mezi základní tvary patří tvar plochý, zvonovitý, hřebenovitý, dvouvrcholový, useknutý, asymetrický, ale i tvar zvonovitý s izolovanými hodnotami a dvouvrcholový histogram s výraznou četností v krajní třídě.

3 STATISTICKÁ REGULACE PROCESU

Současné podmínky rostoucí konkurence a zákaznických požadavků na kvalitu výrobků nebo služeb dodávaných v požadovaných termínech, za cenu, kterou je zákazník ochoten zaplatit a za přijatelných nákladů, vyžadují nejen štihlou výrobu, ale i regulaci stability v průběhu výroby. Statistickou regulací procesu se zabývá právě metodologie Six Sigma.

Podstatou statistické regulace procesu je předcházení a včasné odhalování výskytu chyb procesu, jakožto preventivní přístup řízení kvality. Včasné odhalení chyby procesu umožňuje její odstranění bez vlivu na změnu jakosti produkce. (Ryan, 2011)

Statistická regulace procesu nebo také jako SPC (Statistical Process Control) je nástroj řízení jakosti. Základem je včasné odhalování závažných odchylek od stanovených úrovní v procesu. Včasné odhalení odklonu procesu od předem stanovených úrovní umožňuje provést zásahy směřující k nápravě nebo ke zlepšení procesu. (Tošenovský a Noskiewičová, 2000)

Pro statistickou regulaci procesu je využíván regulační diagram jako hlavní statistický nástroj, jak již bylo uvedeno a popsáno v jedné z předchozích kapitol. Následující charakteristiky usnadňují interpretaci grafu:

- CL – referenční hodnota sledovaného znaku,
- UCL (Upper Control Limit) – horní regulační mez,
- LCL (Lower Control Limit) – dolní regulační mez. (Kovařík, Klímek, 2011)

Interpretace regulačního diagramu

Při interpretaci regulačního diagramu je nutné se držet těchto zásad:

- Nacházejí-li se všechny naměřené body uvnitř horní a dolní meze (UCL a LCL), je proces považován za statisticky zvládnutelný.
- Nalézají-li se některé body mimo vymezené regulační meze, je proces považován za statisticky nezvládnutý a je nutná identifikace příčiny tohoto vychýlení. Po identifikaci příčiny se provede nápravné opatření pro vrácení procesu zpět do statisticky zvládnutelného stavu. (Kovařík, Klímek, 2011)

Podstatou distribuce ve statistickém řízení procesů (SPC) je to, že každý měřitelný jev má statistické rozdělení. Můžeme rozlišit tři základní vlastnosti rozdělení:

- Umístění
- Rozsah
- Tvar

Umístění odkazuje na typickou hodnotu rozdělení, jako je například průměr. Mírou rozdělení je hodnota, kde se menší hodnoty liší od těch větších. Standardní směrodatná odchylka a rozptyl určují rozsah rozdělení. Tvar rozdělení je dán symetrií hodnot a může mít mnoho distribučních tvarů jako například zvonovitého či obdélníkového tvaru. (Pyzdek, 2003)

Rozdělení pravděpodobnosti

Rozdělení pravděpodobnosti se týká výskytu hodnot proměnné v rozsahu souboru hodnot. Abychom určili model rozdělení, údaje musí být získávány z procesu obvyklým způsobem. Vhodným popisem rozdělení pravděpodobnosti je normální rozdělení. (Montgomery, 2005)

4 ZPŮSOBILOST PROCESU

Podstatou zlepšování a plánování kvality je způsobilost daného procesu, která představuje schopnost procesu trvale poskytovat produkty splňující požadovaná kritéria jakosti. Sledovaná kritéria jsou v podobě horní a dolní meze sledované veličiny. Sleduje se nejen to, zdali hodnoty sledované veličiny nepřekračují definované meze, ale i jak jsou vzdáleny referenční hodnoty vůči mezím. Odhadnutí pravděpodobnosti výskytu neshodné výroby je možné jen u procesu, který je statisticky pod kontrolou. Variabilita procesu ovlivňuje jeho způsobilost. Pro vyhodnocení způsobilosti procesu se využívají ukazatelé způsobilosti procesu.

4.1 Indexy způsobilosti

4.1.1 Index C_p

Index C_p je veličina, která nemá stanovenou specifickou jednotku a jedná se tedy pouze o číslo. Udává poměr mezi skutečně naměřenou variabilitou sledovaného procesu a maximálním pravděpodobným kolísáním procesu ve stanovených specifických mezích. Určuje míru, jak je proces schopen splňovat požadavek variability. (Václavek, 1996)

Standardem je, aby hodnota C_p byla nad hodnotou 1,33. Proces je nezpůsobilý, je-li hodnota C_p pod 1,33. V intervalu 6σ se nachází 99,73 % hodnot. Žádoucí stav je takový, kdy hodnota C_p je rovna nebo větší než 1,33. V takovém případě je minimální pravděpodobnost, že naměřené hodnoty z procesu překročí stanovené meze.

Ukazatel C_p nebere v úvahu stanovení střední hodnoty procesu, neboť informuje o možnostech procesu za předpokladu centrování. To znamená, že střední hodnota procesu se nachází uprostřed tolerančního pole znaků kvality. (Fabian a spol., 2007)

Index C_p se počítá podle vzorce:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_c} = \frac{USL - LSL}{6\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right)} \quad (1)$$

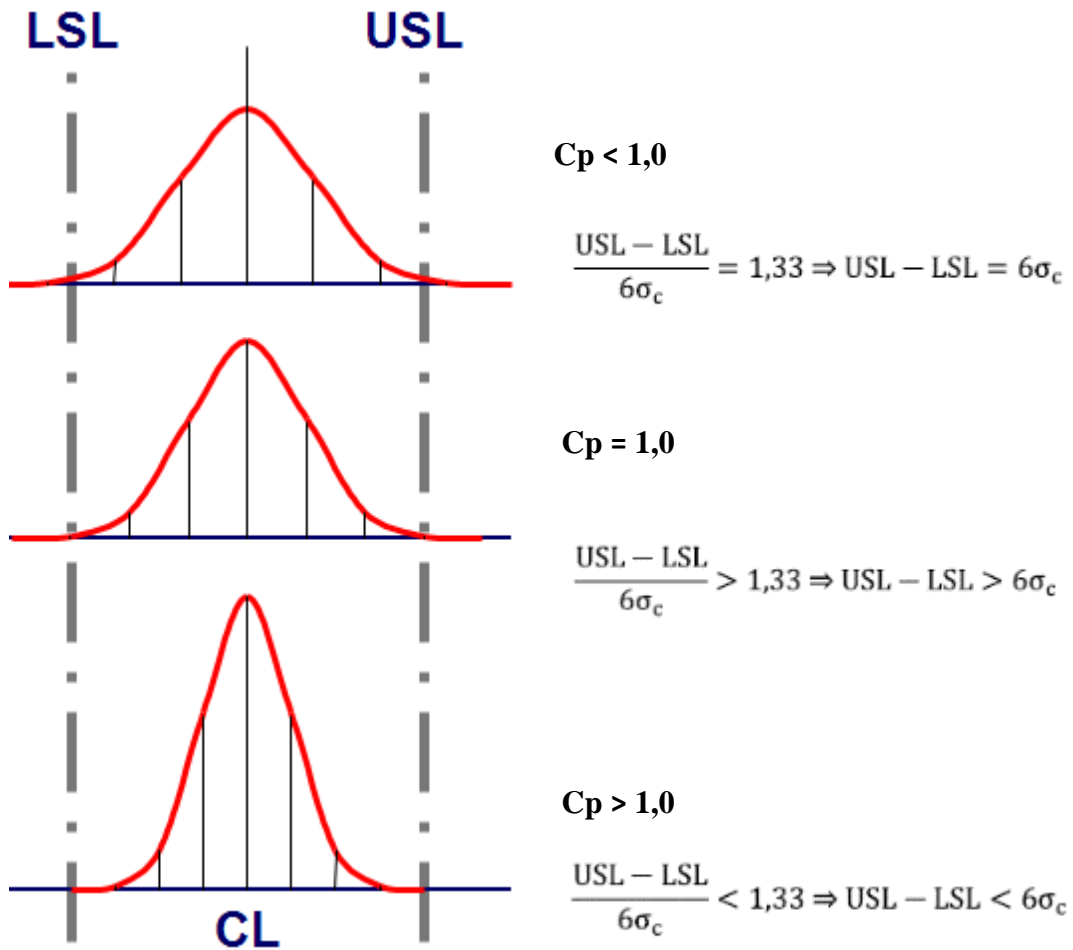
USL - horní mezní rozměr

LSL – dolní mezní rozměr

$\hat{\sigma}_c$ - odhad směrodatné odchylky pro X

d_2 - koeficient pro výpočet

\bar{R} - průměrné rozpětí



Obr. 6. Příklady mezních hodnot indexu C_p . (Fiala, 1997).

4.1.2 Index C_{pk}

Index C_{pk} na rozdíl od indexu C_p zohledňuje nejen variabilitu znaku kvality, ale i polohu vůči tolerančním limitům. Ukazatel C_{pk} charakterizuje způsobilost procesu dodržováním předepsaných tolerančních limity. Hodnota C_{pk} vyjadřuje stav vzdálenosti střední hodnoty sledovaného znaku kvality od bližšího tolerančního limitu k polovině reálné variability hodnot.

Index C_{pk} může dosahovat i záporných hodnot, a to v případě, kdy střední hodnota sledované veličiny kvality přesáhne některou z tolerančních hodnot.

$$\hat{C}_{pk} = \min \left(\frac{USL - \bar{x}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{x} - LSL}{3\hat{\sigma}} \right) \quad (2)$$

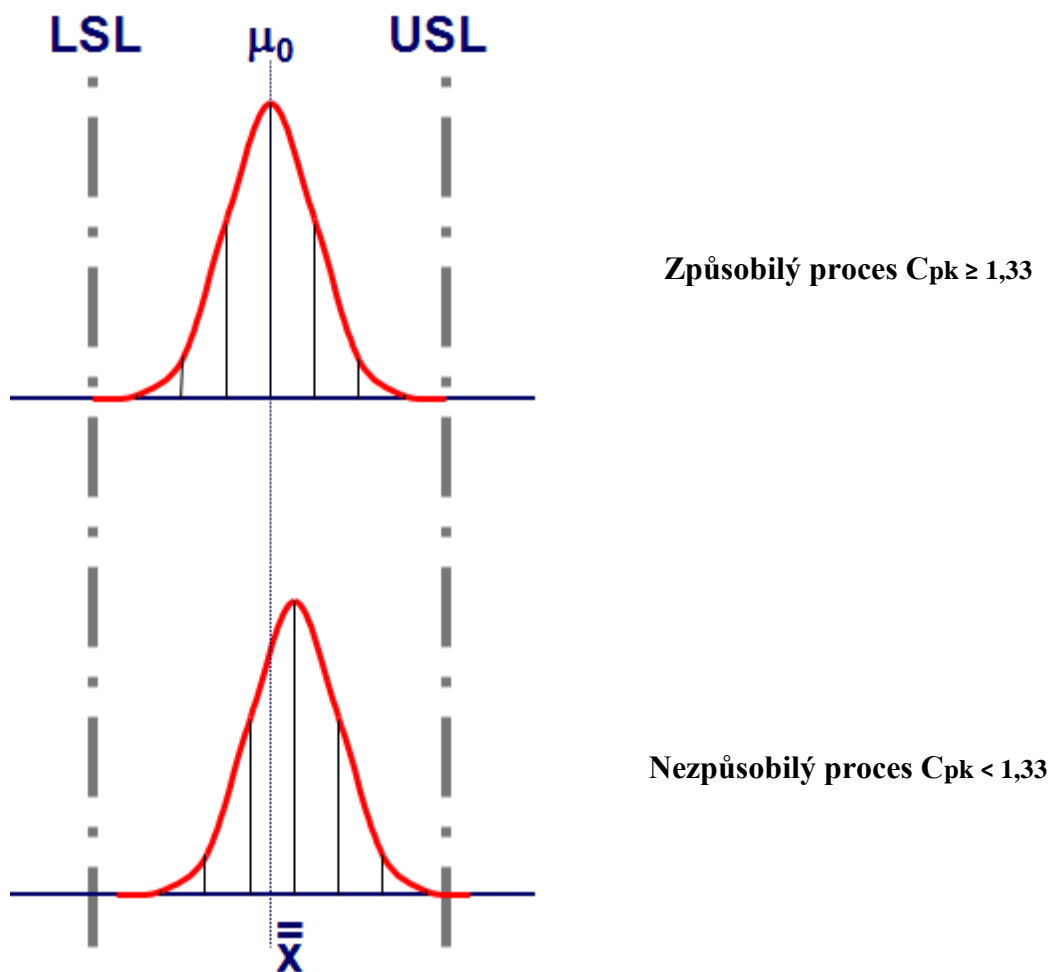
kde

$\bar{\bar{x}}$ – celkový průměr

USL - horní mezní rozměr

LSL - dolní mezní rozměr

$\hat{\sigma}$ - odhad směrodatné odchylky pro X



Obr. 7. Grafické vyjádření indexu Cpk. (Fiala, 1997)

4.1.3 Index Pp

Index Pp hodnotí výkonnost procesu. Mezi indexem C_p a P_p je velká podobnost. Rozdíl spočívá ve výpočtu variability. Index Pp srovnává výkonnost procesu s maximální povolenou oscilací v daném tolerančním poli. Index hodnotí míru kolísání procesu dle stanovených požadavků. Při analýze způsobilosti se používá jako ukazatel způsobilosti pro delší časová období.

Výpočet dle vzorce:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_p} = \frac{USL - LSL}{6s} \quad (3)$$

kde

USL - horní mezní rozměr

LSL - dolní mezní rozměr

s – výběrová směrodatná odchylka

σ_p – celkové kolísání

Celkové kolísání se pak vypočítá pomocí vzorce:

$$\sigma_p \approx s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

4.1.4 Index Ppk

Dalším indexem výkonnosti je ukazatel Ppk, který bere v potaz variabilitu a polohu procesu. V případě, že je hodnota tohoto indexu záporná, proces pak leží mimo stanovené regulační meze. Ppk se stanovuje jako menší hodnota z PPU a PPL.

$$PPU = \frac{USL - \bar{\bar{x}}}{3\sigma_p} = \frac{USL - \bar{\bar{x}}}{3s} \quad (5)$$

$$PPL = \frac{\bar{\bar{x}} - LSL}{3\sigma_p} = \frac{\bar{\bar{x}} - LSL}{3s} \quad (6)$$

kde

USL - horní mezní rozměr

LSL - dolní mezní rozměr

s – výběrová směrodatná odchylka

σ_p – celkové kolísání

$\bar{\bar{x}}$ – celkový průměr

Při hodnocení způsobilosti procesu je vhodné počítat všechny čtyři indexy C_p , C_{pk} , P_p a P_{pk} . Shodné hodnoty těchto indexů značí, že proces je stabilní a centrován uprostřed tolerančních mezí. Aby byl proces prohlášen za způsobilý, musí hodnoty indexů dosahovat předepsaných hodnot.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI XY

Profil společnosti „XY“

Název: pro účely této diplomové práce bude společnost pojmenována jako společnost XY

Počet zaměstnanců celosvětově: 90 000

Obrat: 13,3 mld. USD

Působnost: ve více jak 150 zemí světa

Pobočka společnosti XY v České Republice

Počet zaměstnanců: 2 400

Zahájení činnosti v ČR: 1993

Společnost XY, působí v mnoha segmentech:

- Spotřební elektronika – výrobky jsou uplatněny v sestavách výpočetní techniky a moderních výkonných systémech, kde je kladen důraz na miniaturizaci, výkon a kvalitu.
- Elektrospotřebiče – široká nabídka komponentů vyrábějící společností se nachází ve spotřební elektronice, ve zdravotnickém zařízení, Nabízí širokou škálu elektro komponent pro spotřební elektroniku, zdravotnická zařízení, spotřebiče pro domácnost, ale i pro vysoce výkonná průmyslová zařízení.
- Rozvodové sítě a telekomunikace – zabývá se výrobou, výzkumem a realizací systémů internetového a bezdrátového propojení, propojení sítí mezi kontinenty pod mořskou hladinou.
- Automobilový průmysl – vývoj a výroba dílů a nových technologií pro automobilový průmysl. Značku XY lze nalézt téměř v každém vyrobeném autě.
- Letectví, armáda a kosmonautika – Společnost dodává komponenty a celé kabelové sestavy do letadel, produktů podílejících se na kosmonautice a v armádě, kde je kladen velký důraz na kvalitu produktu a dodržování standardů.

Předmět podnikání:

- Koupě zboží za účelem jeho dalšího prodeje a prodej
- Pronájem automatů a poloautomatů na ukončení vodičů
- Montáž konektorů, elektronických komponent a výroba kabelových svazků
- Konstrukční práce ve strojírenství
- Výroba nástrojů

- Zámečnictví, nástrojářství
- Výroba, obchod a služby neuvedené v přílohách 1 až 3 živnostenského zákona
- Činnost účetních poradců, vedení účetnictví, vedení daňové evidence

5.1 Vize společnosti

Společnost XY si vytyčila průměrný růst prodeje svých produktů o 5-7 % za rok. Největší růst by měl zaznamenat segment automotive.

Podle předběžných výsledků a stanovené predikce by měl trh automobilového průmyslu růst o 3-4 % oproti předchozímu období. Cíl společnosti proto není nedosažitelný i přesto, že cíl je stanoven vyšší, než je předpokládaný růst trhu.

Společnost má samozřejmě více cílů než jenom růst prodeje o 5-7 procent. Mezi další cíle patří zvýšení marže, zvýšení kapitálu, zvýšení tržního podílu.

Cílů může být dosaženo úsporami ve výrobním a distribučním procesu, akvizicemi v segmentu, ale i rozšířením vlastního sortimentu.

Nastupuje nový trend elektromobilů, tak se otevírá nový prostor pro rozšíření sortimentu, nové technologie. Firma tak může svých cílů dosáhnout a dokonce být i lepší.

6 DEFINE

Fáze definování představuje nejdůležitější část projektu, neboť se zde definuje sledovaný problém, stanoví cíl, definuje řešící tým, definují přínosy a termíny jednotlivých fází.

6.1 Popis problematiky

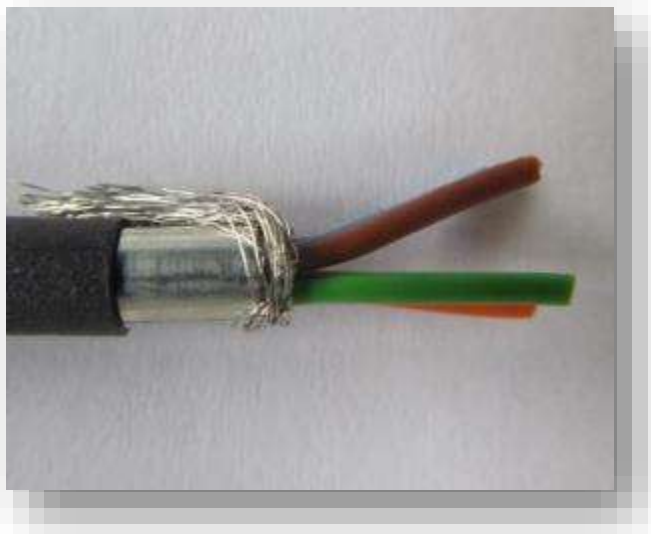
Požadavky na vysokorychlostní drátové propojení datových systémů se velmi zvyšuje. Tyto požadavky jsou již taženy růstem telematických a informačních aplikací, kterými jsou dnešní automobily vybavovány.

Telematické systémy představují moderní informační a komunikační technologie, které přímo za provozu automobilu vyhodnocují charakteristiky provozu a poskytují řidiči aktuální informace o dopravní situaci, především o hustotě provozu, dopravním značení, odstupů ostatních vozidel a jiných překážek, teplotě vzduchu, dešti a dalších skutečnostech.

Společnost XY zareagovala na zvýšení poptávky po vysokorychlostních datových sestavách navýšením výrobní kapacity. V předchozích letech výroba tohoto projektu probíhala na manuálních linkách. Navýšení kapacity výrobní linky bylo provedeno zautomatizováním části tohoto procesu. Automat nahrazující ruční práci se skládá z několika stanic jdoucích za sebou.



Obr.8. Používaný typ automatického stroje. Schleuniger. Customized-solutions. [online]. 21.3.2015 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <http://www.schleuniger.com/customized-solutions/p/transferline-1/>

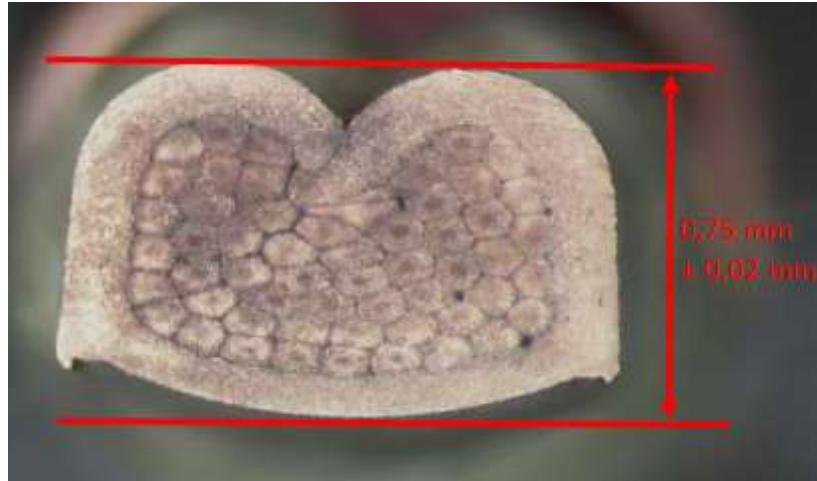


Obr. 9. Podoba připravené části vodiče pro zpracování na automatickém stroji. (vlastní zpracování)

V již tak dost složitém procesu se díky automatizaci vyskytla řada problémů. V rámci této práce bude popsána a řešena problematika zaznamenaná na kroku krimpování kontaktů, kde bylo zaznamenáno navýšení vadných kusů. Každá výrobní stanice stroje má kontrolní zařízení, které kontroluje bezchybné provedení předchozího kroku. Špatně provedený krimp jakéhokoliv vodiče vede k znehodnocení celého kabelového svazku. Takto chybně provedený krimp zapříčiní automatické znehodnocení a odstranění celého kabelu z procesu.

Kvalita krimpu je posuzována dle několika měřítek. Nejdůležitějšími měřítky v tomto procesu jsou výška krimpu, vodivost a výtržná síla kabelu. Testy kvality krimpu jsou prováděny certifikovanou laboratoří. Všechny sledované parametry finálních výrobků jsou ve stanovených mezích. Vadné kusy jsou průběžnými kontrolami identifikovány a zadrženy. Proces ale vykazuje zvýšení zmetkovitosti na krimpovacích stanicích.

Výška krimpu kontaktu je dle výkresové dokumentace pro daný projekt 0,75 mm s tolerancí $\pm 0,02$ mm. Kontrola výšky krimpu probíhá pomocí měřicího zařízení CFM (Crimp Force Monitor). Nalezení této chyby v polovině procesu přináší značné náklady, neboť sestava je velmi drahá. Nalezení několika vadných kusů po sobě jdoucích vede k zastavení stroje a k opětovnému nastavení. Tato prodleva trvá několik minut. Žádný systém kontroly není na-prosto dokonalý. Nalezení vadného kusu zákazníkem způsobuje řadu dalších a mnohem větších problémů.



Obr. 10. Řez osazeného krimpů kontaktu. (vlastní zpracování)

Z těchto důvodů bylo nutné zajistit, aby proces výroby byl stabilní a nevykazoval odchylky od stanovených parametrů. Pro řešení tohoto problému byl sestaven tým lidí, který byl ve složení: procesní inženýr, inženýr kvality, line inspektor, black belt. Vzájemně spolupracovalo mnoho lidí z různých oddělení, ale i závodů.

Cílem projektu bylo snížit výskyt možných chyb týkajících se krimpování kontaktů, a tak zajistit kvalitu assemblážní sestavy a zároveň snížit náklady procesu.

6.2 Project charter

Project charter je průvodní dokument definující projekt, řešící tým, cíle, kterých má být dosaženo a termín projektu. Mimo jsou součástí dokumentu vlastníci a sponzoři projektu.

Cílem projektu bylo stanoveno snížení scrapu na stanicích krimpování z 1,6 % na 0,8 %. V peněžitém vyjádření je tento cíl ohodnocen přibližně 111 tis. USD.

Řešitelský tým byl složen z black belta, procesního inženýra, line inspektora, kvality inženýra, seřizovače dané výrobní linky. Toto složení týmu vycházelo z potřeb projektu. Každý člen pracuje na oddělení zabývající projektem, který je předmětem zkoumání.

Vedlejším cílem bylo stanoveno dosažení zlepšení využitelnosti a efektivnosti automatické linky.

Six Sigma DMAIC Black Belt Project Charter

Product(s) Impacted	High speed <u>cabel</u>	Product Impacted Sales (FY_____projected booking dollars)				
Black Belt	Rostislav <u>Doležal</u>	Telephone Number				
Deployment Champion		Business Unit & Project Site Location				
Start Date		Charter Revision Date				
Element	Description	Team Charter				
1. Project Scope:	Describe the scope of the project – what are the boundaries of the project.	Reduction of scrap rate from 1,6 to 0,8% at crimping stations of high speed cable automatic line. Parts are rejected by crimp force monitoring function from 2 double crimp stations. Scope of the project is to recognize the root causes of the rejects (real scrap / pseudoscrap) and find out the long term solution for better stability of CFM function.				
2. Process:	Describe the process that will be impacted by this project.	Automatic transfer line makes the assembly of high speed cable to one cable side, which is inserted manually to the machine. Terminals are assembled to 4 single wires inside of high speed cable by crimping process at two double crimp stations (stations 1 and 2). Quality of the crimping process is monitored by CFM function.				
3. Objective: (Ref: 406-708 Glossary for definitions)	What improvement is targeted and what will be the impact on critical business metrics?	Metric	Baseline	Goal	Entitlement	% Improvement
	Scrap reduction	%	1,6	0,8	0	50
	Decrease COPQ	USD	111 686	55 843	0	50
4. Business results: (in US dollars)	What are the projected cost savings – provide both “hard” savings, “soft” savings.	Estimated saving hard 55 000 USD/year for Automatic line according to FY2015 forecast (102 000 USD/year in case improvement implementation to all lines)				
5. Team members:	Who are the full-time members and any expert consultants?	Process engineer, Black belt, Line instructor, Quality engineer, setup man.				
6. Benefit to external customers:	Who are the final customers, what benefits will they see and what are their most critical requirements?	Increase OEE				
7. Schedule:	Define key milestones/dates.	Measure Review	31.10.2014			
		Analyze Review	30.11.2014			
		Improve Review	25.01.2014			
		Control Review	30.03.2015			
		Project Complete	05.04.2015			

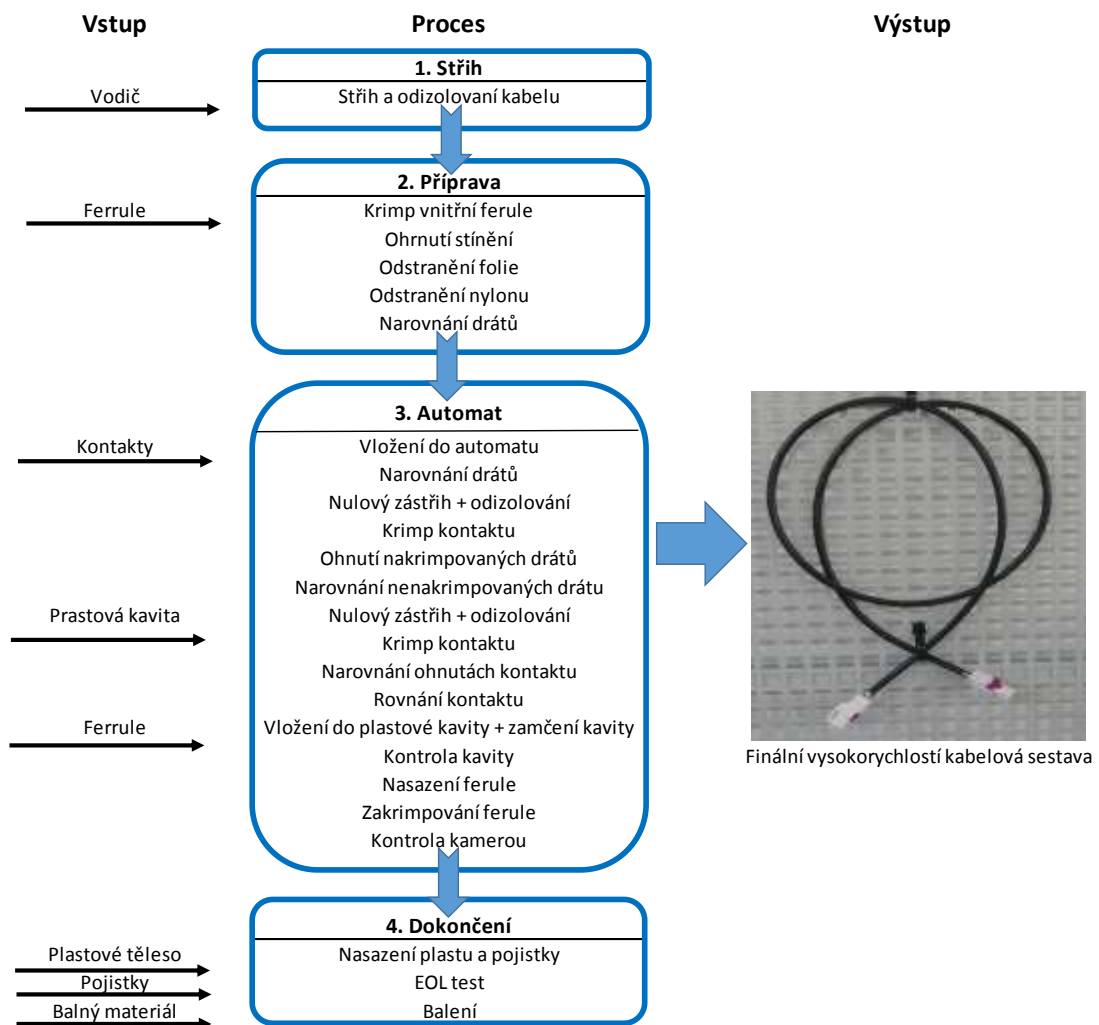
Obr. 11. Project charter. (vlastní zpracování)

7 MEASURE

Fáze měření je zaměřena na shromáždění informací o procesu. Následující kroky projektu se budou opírat o informace právě z tohoto kroku, a proto by měl být sběr informací co nejdůvěrnější a měl by tak odrážet skutečnost o daném procesu.

7.1 Proces výroby

Kabelový svazek je složen ze čtyř drátového koaxiálního odstíněného vodiče, plastového tělesa, kontaktů a dalších komponent. Finální výrobek je vyobrazen na obrázku z výkresové dokumentace (Obr. 12). Celý proces výroby je složen ze vstupů a kroků definujících na následujícím obrázku (Obr. 12)

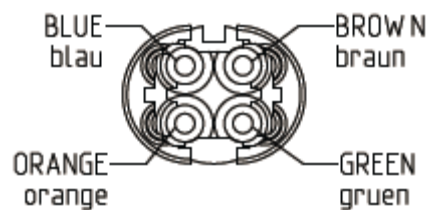


Obr. 12. Základní mapa procesu. (vlastní zpracování)

Pro následující hodnocení byla vybrána část procesu probíhající na automatickém stroji. Tato část procesu začíná u operátora, který do stroje ručně vkládá nastříhaný, již připravený kabel pro další zpracování. První stanice uchopí kabel, provede nulový zástřih a provádí krimpování jedné strany složené ze dvou vodičů. Po nakrimpování jedné strany kabelu putuje vodič k další stanici, která vodič otočí, ohne dva nakrimpované vodiče směrem dolů a narovná další dva nenakrimpované vodiče do vodorovné polohy. Dále vodič prochází druhou krimpovací stanicí, kde dojde k nakrimpování druhé strany kabelu. Tento popsany proces bude předmětem zkoumání filosofii six sigma.



Obr. 12. Výkresová podoba finální sestavy assembláže. (výkres společnosti XY)



Obr. 13. Pozice jednotlivých vodičů v sestavě. (výkres společnosti XY)

Krimpovaný spoj zajišťuje elektrické i mechanické spojení mezi vodičem a kontaktem. Mírou jakosti elektrického spoje je elektrická vodivost sestavy. Mírou jakosti mechanického spoje je síla potřebná k vytažení vodiče z kontraktu. Oba faktory, elektrická vodivost i síla nutná k vytažení vodiče, jsou přímo závislé na výšce krimpu.

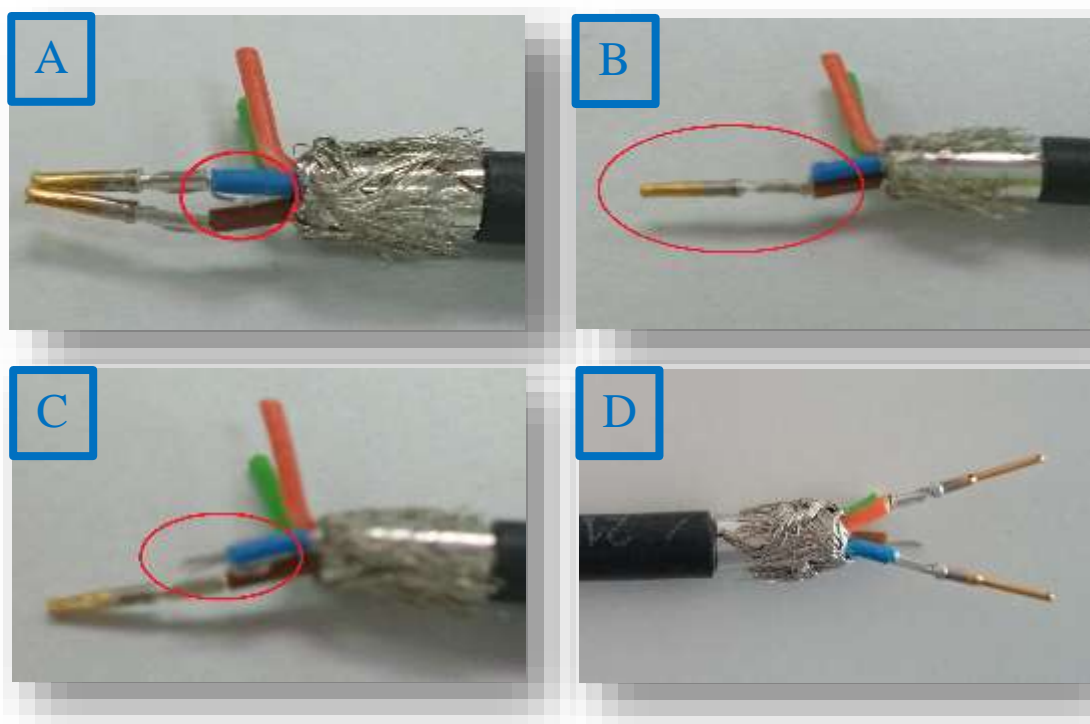
7.2 Analýza zmetkovitosti

Následující analýzu předcházela sběr dat, na základě kterého byly identifikovány všechny doposud známé chyby v procesu. Problém krimpování byl vyhodnocen jako významný činitel ovlivňující velikost výrobního scrapu.

Pro analýzu zmetkovitosti bylo nutné nasbírat vzorky vadných kusů vzniklých v průběhu výroby. Sběr dat probíhal po dobu několika pracovních směn. Pro řešení problémů bylo

nutné znát všechny možné chyby špatného krimpů. Pro lepší identifikování byly stanice rozděleny na stanici jedna a dva a z každé z těchto stanic se sbíraly kontrolním systémem odstraněné vodiče pro další analýzy.

V níže uvedené tabulce jsou vypsány vady krimpů a jejich výskyt. Za vadný krimp kontaktu je pokládáno ustřižený drátek, chybějící drátek v krimpě, zkrimpování dvou drátků v jednom kontaktu, nakrimpovaný jiný drátek a v neposlední řadě „pseudo scrap“. Jednotlivé vady je možné vidět na obrázku (Obr. 14.). Z pohledu finančního a kvality není možné, aby takto nakrimpovaný kabel byl osazen ostatními komponenty.

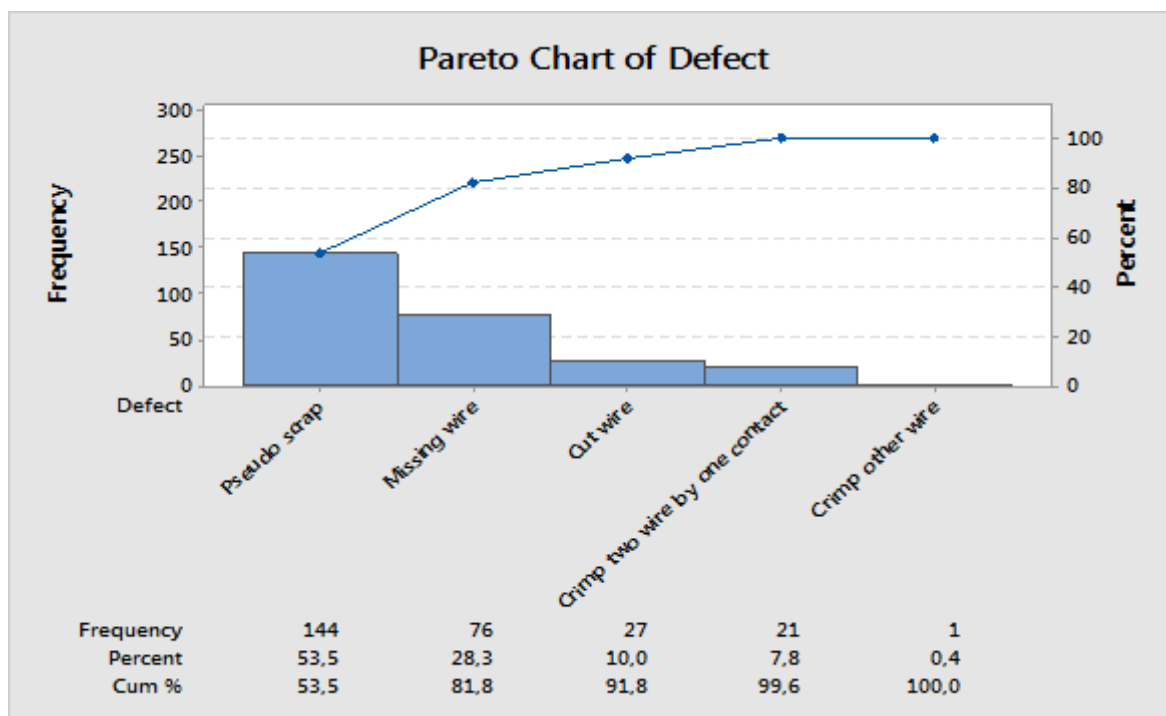


Obr. 14. Vizualizace možných chyb z kroku krimpování. (A) Chybějící drátek, (B) nakrimpování dvou drátků jedním kontaktem, (C) utržený drátek, (D) krimp jiného drátku. (vlastní zpracování)

Z tabulky definující vady krimpů je patrné, že nejvíce vad za sledované období bylo nalezeno na první krimpovací stanici, a to 193 chyb oproti 76 chyb vyskytujících se na druhé stanici. Největším problémem obou stanic je potom „pseudo scrap“. Jedná se o vadu, kterou kontrolní stanice označí za vadu, ale po analýze označených kusů nejsou nalezeny žádné známky přítomnosti nějaké vady, a to ani po kontrole laboratoře a kontrolních testech. Pseudo scrap je tedy největším problémem, jak ukazuje pareto graf (Graf 2).

Tab. 3. Definované vady krimpů. (vlastní zpracování)

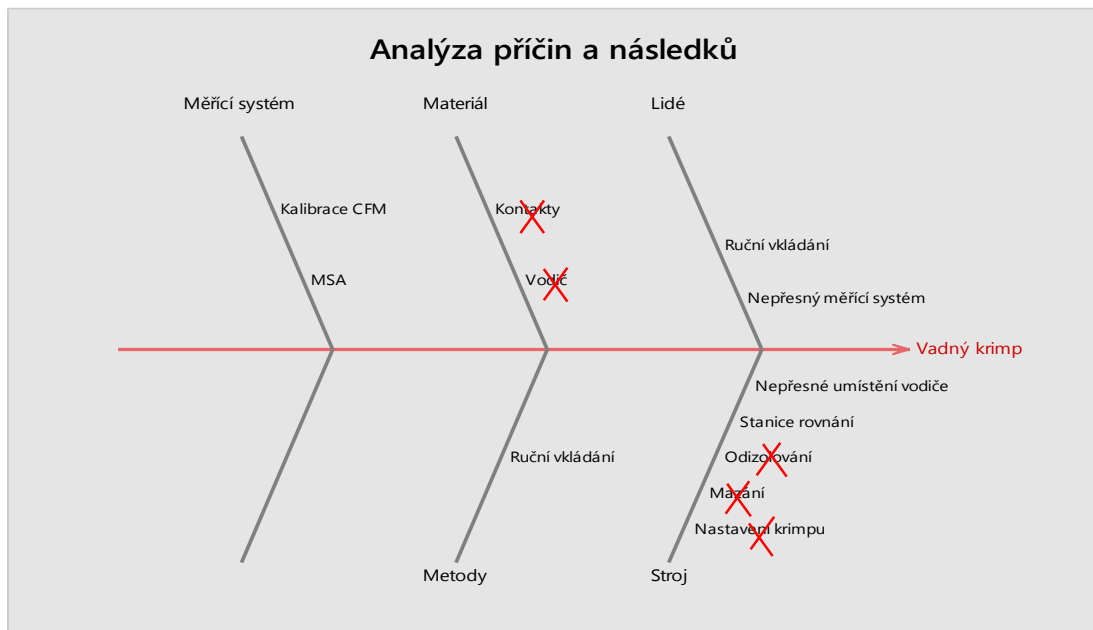
Vada krimpů	Stnaice_1	Stanice_2
Ustřižený vodič	24	3
Chybějící drátek v krimpě	72	4
Osazení jednoho kontaktu na dva vodiče	21	0
Krimp jiného vodiče	1	0
Pseudo scrap	75	69



Obr. 15. Pareto defektů krimpů. (vlastní zpracování)

7.3 Identifikace příčin vzniku vad

V rámci řešícího týmu byl proveden brainstorming zaměřující se na definování možných příčin problému špatného krimpů. Nástrojem brainstormingu byla zvolena metoda příčin a následků. Mezi oblasti potenciálních problémů byly zvoleny kategorie týkající se lidí, postupů, strojů, materiálu a měření. V jednotlivých oblastech se pak zvolily příčiny, které zobrazuje obrázek Analýzy příčin a následků (Obr. 16.).



Obr. 16. Analýza příčin a následků na vadu křimpu. (vlastní zpracování)

V oblasti měřicího systému byly týmem zvoleny příčiny kalibrace CFM (Crimp Force Monitor) a chybně provedené MSA (Measurement Systems Analysis), neboli v překladu analýza měřicího systému. CFM je zařízení měřící sílu vynaloženou na správné provedení křimpu. Tato příčina byla zkoumána. Systém používaný v tomto přístroji je tak specifický, že s běžnou výpočetní technikou není možné hlubší zkoumání, a proto tato příčina nebyla více zkoumána. Chybné MSA je pak rozpracováno níže v této práci.

Příčiny v oblasti materiálu byly po bližším bádání prohlášeny týmem za méně významné.

Manuální vkládání vodiče do stroje se jevila jako možná příčina hned ve dvou zvolených oblastech, a to v oblasti metod a lidí. Další pravděpodobnou příčinou bylo nepřesné měření, které úzce souvisí s chybně provedeným MSA.

Poslední kategorií je oblast nástroje, kde mezi potenciální příčiny byl zvolen chybějící modul rovnající vodič do správné pozice před první stanicí, tak jak je před druhou stanicí. Pro potvrzení této příčiny byly provedeny simulace nesprávného vložení vodiče do stroje operátorem. Vodič musí být umístěn ve vodorovné pozici. Prokázalo se, že nepřesné vložení vodiče do kleští vede k nesprávnému navedení vodiče do připraveného kontaktu. Nesprávné umístění vodiče nemusí být způsobeno jen operátorem, ale může být zapříčiněno i samotným vodičem, který při vložení do kleští má tendenci změnit pozici. Tato změna je způsobena přetočením vodiče, neboť vodič je dodáván smotaný na cívkách, a proto má snahu se opět stáčet.

8 ANALYZE

Fáze analýzy je začátkem statistických analýz sledovaného problému, který byl stanoven v předchozích fázích. V této části se statisticky určí významné veličiny určující příčiny problému.

8.1 Gage R&R

Provedení analýzy vyžaduje mít přesný měřicí systém, aby bylo možné naměřeným hodnotám skutečně věřit a aby odrážely skutečný stav procesu. V každém měřicím systému dochází ke zkreslení, neboť součet variability systému měření a variability procesu vyjadřuje celkovou variabilitu zaznamenaných hodnot. Pro ověření systému měření byla provedena studie R&R. K výpočtu analýz byl použit statistický program Minitab.

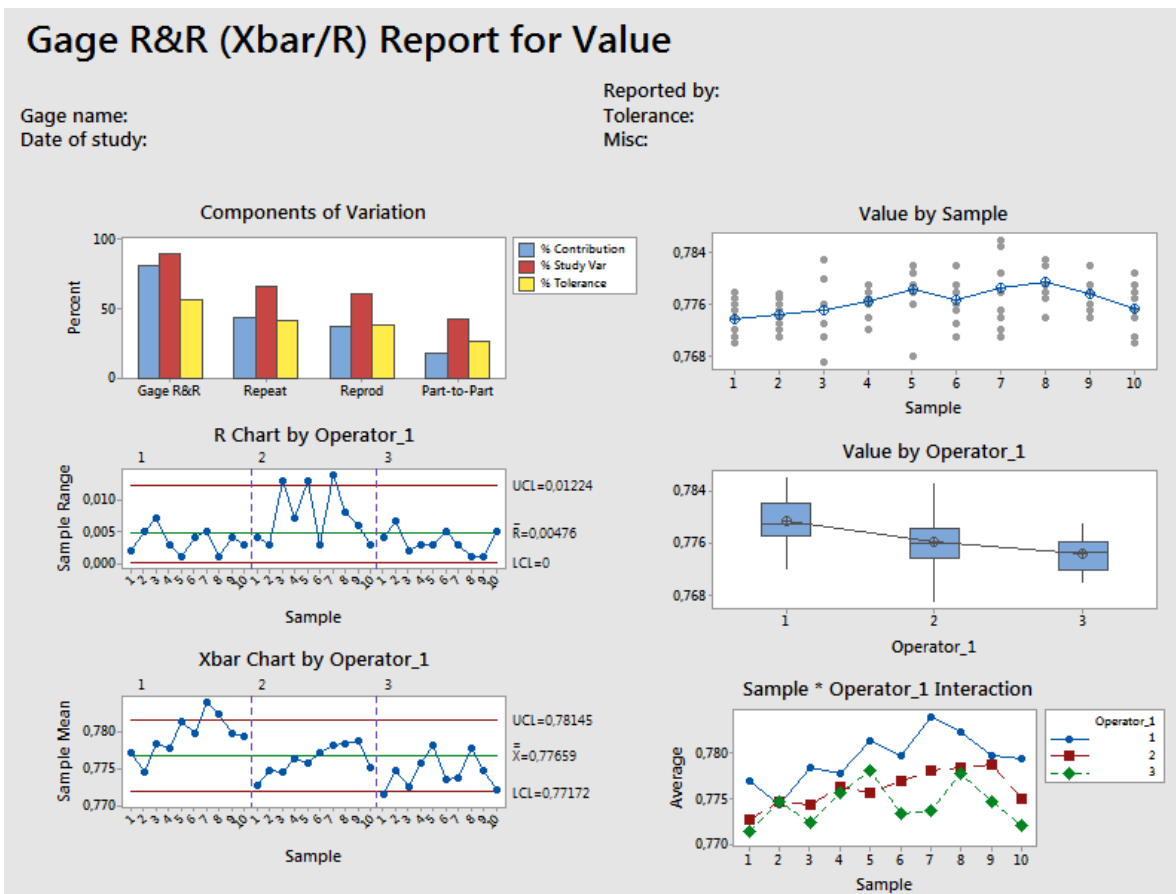
Bylo možné vycházet z již dříve provedených R&R studií k tomuto projektu, ale pro složitost problému bylo nutné ověřit všechny skutečnosti mající vliv na stav procesu. K znovu provedení R&R bylo přistoupeno z důvodu velké fluktuace zaměstnanců, ale i z důvodu komplexnosti procesu. Kontrola výšky krimpů kontaktu systémem CFM, který je součástí každé z obou krimpovacích stanic spočívá v tom, že neměří samotnou výšku krimpů, ale kontroluje sílu vynaloženou na provedení správného krimpů. Před rozjezdem výroby se provedou kontrolní měření výšky krimpů na manuálním mikrometru, kterými se potvrdí správná síla krimpovací stanice pro provedení správného krimpů. Po ručním změření testovacích kusů se hodnoty krimpů potvrdí v systému CFM, se kterými později systém sám pracuje v průběhu celého procesu. Systém CFM je velmi složitý a podrobnější funkce a jeho možnosti zde nebudou dále popisovány.

Pro správné provedení výšky krimpů je tedy důležité prvotní nastavení krimpovacích stanic, které je závislé na změřených hodnotách operátora.

Studie R&R byla provedena na 10 kusech výrobku, 3 operátorů odpovědných za správné měření výšky krimpů. Každý operátor měl 3 pokusy k měření. Měření probíhá namátkově u deseti vybraných kusů, které reprezentují daný proces. Žádný z operátorů nezná přesné pořadí měření. Kontrola probíhala na mikrometru schváleném pro tento druh měření na 3 desetinná místa, neboť měřidlo musí být schopno měřit o desetinné místo více, než je požadovaná hodnota.

Tab. 4. Tabulka pro analýzu MSA. (vlastní zpracování)

RunOrder	Operators	Parts	Measurements	
			1	2
Run	Operators	Parts	Mikrometr	Profil
1	1	7		
2	1	9		
3	1	6		
4	1	5		
5	1	2		
6	1	4		
7	1	10		
8	1	8		
9	1	3		
10	1	1		
11	2	8		
12	2	4		
13	2	5		



Obr. 17. Analýza Gage R&R. (vlastní zpracování)

V prvním uvedeném grafu studie Gage R&R sledujeme celkové procento R&R, opakovatelnost, reprodukovatelnost a variabilitu Part-to-Part. Opakovatelnost i reprodukovatelnost by měla dosahovat nižší úrovně oproti variabilitě Part-to-Part. Z obrázku je patrné, že v tomto měření tomu tak není. To znamená, že měřicí systém není vůbec v pořádku.

Další graf „R Chart“ ukazuje, jak jsou operátoři při měření přesní. Naměřené hodnoty by se měly nacházet uvnitř regulačních mezí. V případě, že se některé hodnoty nachází mimo regulační meze, poukazuje to na poruchu měření. Z našeho měření vychází, že operátoři nejsou schopni dosáhnout vzájemné shody.

Graf „Xbar Chart“ znázorňuje naměřené hodnoty jednotlivých operátorů. Hodnoty mimo toleranční meze naznačují vyšší variabilitu procesu. Pouze hodnoty prvního operátora jsou hodnoty mimo toleranční meze.

V grafu „Value by sample“ lze sledovat variabilitu jednotlivých vzorků. Čím větší rozsah bodů je, tím větší variabilita. V případě těchto vzorků je variabilita příliš vysoká.

Graf „Value by Operator“ pomocí kvartilů vypočtených z hodnot popisuje variabilitu měření operátorů. Hodnoty mediánů, které značí střed boxplotu by měly být v jedné rovině. Naše rozložení značí na variabilitu mezi operátory. V grafu se nenachází žádné body mimo, tudíž nemáme žádný body, který by se nazýval „outlier“.

Poslední graf popisuje interakci vzorků a operátorů. Lze zde vidět rozdílnost mezi měřením operátorů jednotlivých vzorků. Graf ukazuje na velkou rozdílnost měření.

Níže uvedený obrázek (Obr. 18.) zobrazuje statistické zhodnocení měřicího systému. Číselně dokazuje již dříve uvedené tvrzení, že měřicí systém není zcela v pořádku. Nejvíce důležité hodnoty jsou zeleně označené, a to počet kategorií, celkové procento Gage R&R a procento P/T.

Gage R&R Study - XBar/R Method

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000146	81,55
Repeatability	0,0000079	44,13
Reproducibility	0,0000067	37,42
Part-To-Part	0,0000033	18,45
Total Variation	0,0000179	100,00

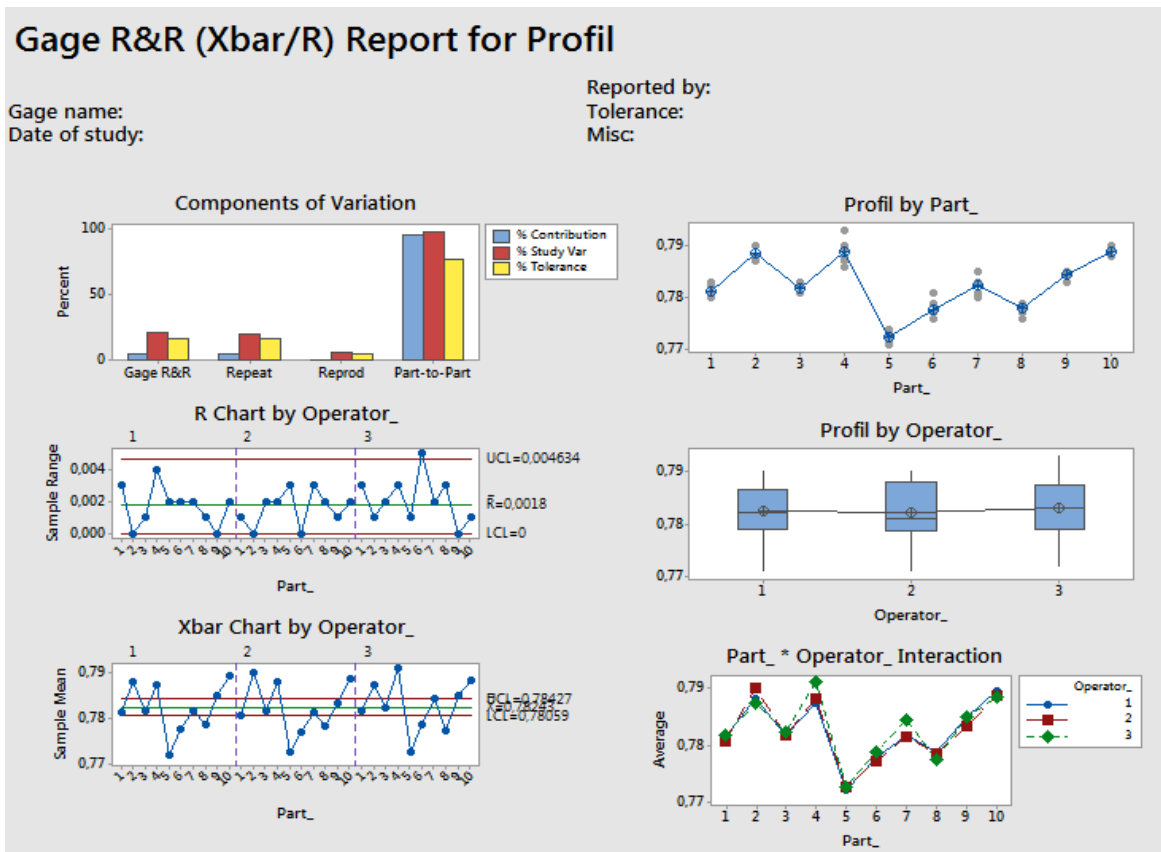
Process tolerance = 0,04

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0038204	0,0229225	90,30	57,31
Repeatability	0,0028103	0,0168619	66,43	42,15
Reproducibility	0,0025880	0,0155278	61,17	38,82
Part-To-Part	0,0018175	0,0109047	42,96	27,26
Total Variation	0,0042307	0,0253841	100,00	63,46

Number of Distinct Categories = 1

Obr. 18. Hodnoty ze statistického programu Minitab. (vlastní zpracování)

Čím vyšší je počet kategorií, tím vyšší je pravděpodobnost, že měřicí systém dokáže bezpečně rozlišit vadný kus od dobrého. V našem případě měřicí systém není schopen rozlišit vadné kusy od dobrých, neboť je hodnota tohoto ukazatele rovna jedné. Celková hodnota %R&R je rovna 90,3, což není přípustné. Ve většině případů je zákazníkem přípustná míra tohoto parametru do 10 %. Za ještě akceptovatelnou hodnotu systému měření je od 10 % do 30 %. V tomto případě je však hodnota vyšší, než je požadovaná. Stejně tak hodnota % P/T je rovna 57,31 %. Vyšší hodnota ukazatele % P/T než 30 nemá být s ohledem na požadavky zákazníka vůbec použita. Z výpočtu statistického programu Minitab je patrné, že měření není způsobilé. Variabilita měření není vzhledem k procesu způsobilá. Měření bylo dvakrát zopakováno s podobným výsledkem. Během brainstormingu bylo pod váhou těchto zjištění dospěno k závěru, že mikrometr není vhodné měřidlo pro tak malý kontakt. Bylo nutné najít takový druh měřidla, který by byl vyhovující. Možným přístupem je měřit každý kontakt laboratoří. To ale z časového hlediska není možné. Proto se přistoupilo k příčným řezům kontaktů a měření pomocí mikroskopu připojeného k počítači. Měření se opakovalo stejným způsobem jako na mikrometru, tedy 3 operátoři, 3 pokusy a 10 vzorků.



Obr. 19. Analýza Gage R&R (Měření mikroskopem). (vlastní zpracování)

Gage R&R Study - XBar/R Method

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000012	4,44
Repeatability	0,0000011	4,09
Reproducibility	0,0000001	0,35
Part-To-Part	0,0000264	95,56
Total Variation	0,0000276	100,00

Process tolerance = 0,04

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0011079	0,0066472	21,08	16,62
Repeatability	0,0010635	0,0063808	20,23	15,95
Reproducibility	0,0003105	0,0018629	5,91	4,66
Part-To-Part	0,0051378	0,0308268	97,75	77,07
Total Variation	0,0052559	0,0315353	100,00	78,84

Number of Distinct Categories = 6

Obr. 20. Hodnoty ze statistického programu Minitab (Měření mikroskopem). (vlastní zpracování)

Změna měřidla se promítla ve změně hodnot studie Gage R&R. Jak je patrné z prvního grafu, tak hodnota variability part-to-part se zvýšila oproti hodnotám opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Tento poměr naznačuje, že systém měření by mohl být v pořádku. Při měření na mikrometru tomu tak nebylo. Ostatní grafy analýzy nevykazují vadu měřicího systému

Výše uvedený obrázek (Obr. 20.) zobrazuje statistické zhodnocení měřicího systému, které číselně dokazuje, že měřicí systém je ještě vyhovující, neboť procento celkového Gage R&R je pod 30 %.

8.2 Capability

Tato kapitola bude věnována analýze způsobilosti procesu. Způsobilost procesu představuje jeho schopnost dosahovat předem stanovené kvality. Pomocí jednoduchých a pochopitelných číselných ukazatelů je možno snadno kvantifikovat způsobilost procesu, která poskytuje informaci do budoucna pro lepší řízení plánování a řízení jakosti produktu. Tohoto cíle je možno dosáhnout pouze za předpokladu, že procesy jsou trvale kontrolovatelné. Proto je třeba se zabývat veličinami ovlivňující způsobilost, a to je možné pomocí sledování a vyhodnocení regulačních diagramů.

V SPC analýze jsme schopni pomocí jednoduchých ukazatelů sledovat nejen krátkodobou, ale i dlouhodobou stabilitu procesu. Ke zjištění stability procesu využijeme regulační diagramy, které nám ukáží, kde se hodnoty procesu nachází, abychom mohli přijmout vhodná opatření. Součástí analýzy jsou statistické ukazatele způsobilosti. Pro tuto práci budou vybrány indexy C_p , C_{pk} a indexy P_p , P_{pk} .

Sledovaná charakteristika Výška krimpů – $0,75 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$

8.2.1 Normalita dat

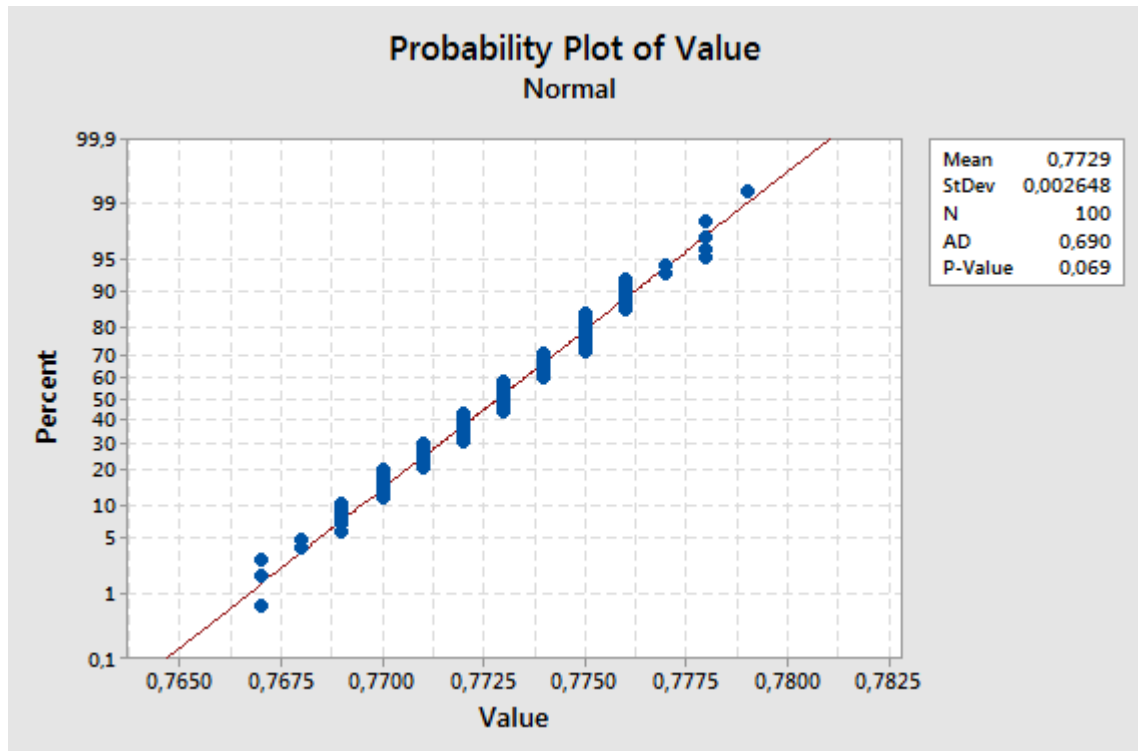
Před samotným provedením analýzy stability procesu je třeba ověřit normalitu dat, neboť použitelnost některých běžných statistických metod nebo postupů závisí na předpokladu normálního rozdělení sledovaných hodnot. Tato obvyklá podmínka normality souvisí i se zpracováním dat, které je jednodušší, než zpracování dat nenormálního rozdělení.

Normalita hodnot bude posuzována pomocí grafické metody „Normal probability plot“. Prostřednictvím tohoto grafu je možné posoudit, zdali data pramení z normálního rozdělení.

Provedení grafu bude za pomoci softwaru Minitab. Navržený graf pro posouzení normality vychází z uspořádání hodnot $x_{(1)} \leq \dots \leq x_{(n)}$ na ose X a z vnesených kvantilů na ose y u_{α_j} ,

kde $\alpha_j = \frac{(3j-1)}{(3n+1)}$. Jeli některá z hodnot stejná, potom je za „j“ bráno průměrné pořadí odpovídající takovéto stupnici. Jsou-li data z normálního rozložení, pak všechny průsečíky $x_{(n)}$ a u_{α_j} budou ležet na přímce.

Pro provedení analýzy stability a normality dat bylo vybráno sto naměřených hodnot.



Obr. 21. Analýza normality dat. (vlastní zpracování)

Na grafu lze vidět, že pokud proložíme body přímkou, pak tyto body leží přímo na ní nebo v její těsné blízkosti. Toto rozložení značí, že body pravděpodobně pochází z normálního rozložení. Toto tvrzení podporuje i hodnota P-Value, která je vyšší než 0,05, což značí normální rozložení hodnot. Čím vyšší je tato hodnota, tím vyšší je pravděpodobnost, že data pochází z normálního rozložení.

Po ověření a opětovného stanovení měřicího systému a určení normality hodnot lze provést analýzu stability. Pro analýzu stability budou použity stejné hodnoty, které byly použity pro ověření normality dat.

Výpočet

Pro stanovený rozsah byl stanoven výběrový aritmetický průměr a výběrová směrodatná odchylka, a to podle následujících vzorců.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^5 x_i \quad (7)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (x_i - \bar{x})^2}{5-1}} \quad (8)$$

z těchto vztahů pak plyne:

Celkový průměr

$$\bar{x} = 0,7728$$

Odhad směrodatné odchylky

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,0026}{0,977} = 0,00265 \quad (9)$$

Celkové rozpětí

$$R = X_{\max} - X_{\min} = 0,779 - 0,767 = 0,2586 \quad (10)$$

Průměrné rozpětí

$$\bar{R} = \frac{0,2586}{100} = 0,002586 \quad (11)$$

Dle předchozích výpočtů byla vypočtena „Center Line“ dále jen CL a toleranční meze UCL a LCL ve zvoleném regulačním diagramu. Pro určení těchto hodnot je nutný výpočet předchozích parametrů.

Vypočteme:

$$CL_{\bar{x}} = \bar{x} = 0,7728$$

$$CLR = \bar{R} = 0,0026$$

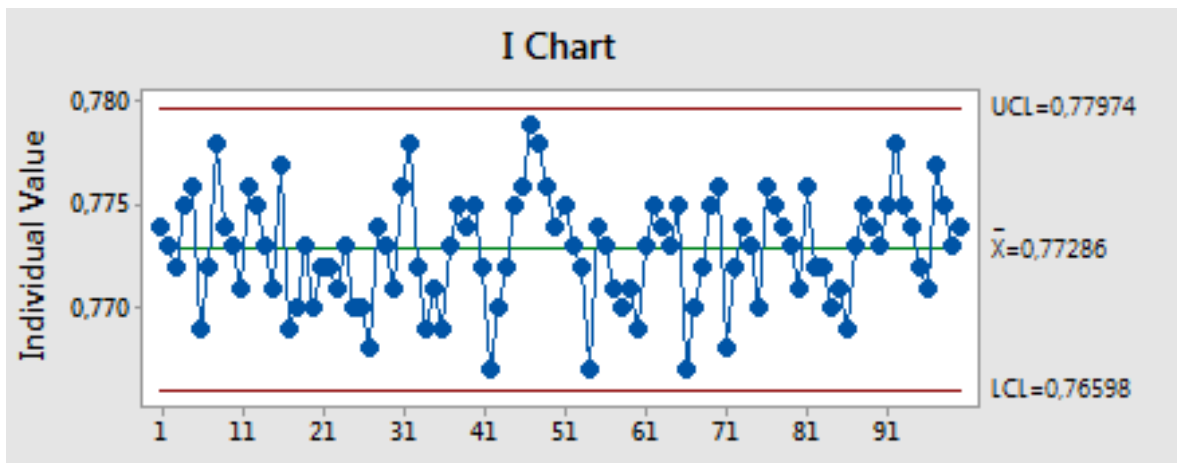
$$UCL_{\bar{x}} = 0,7797$$

$$LCL_{\bar{x}} = 0,7659$$

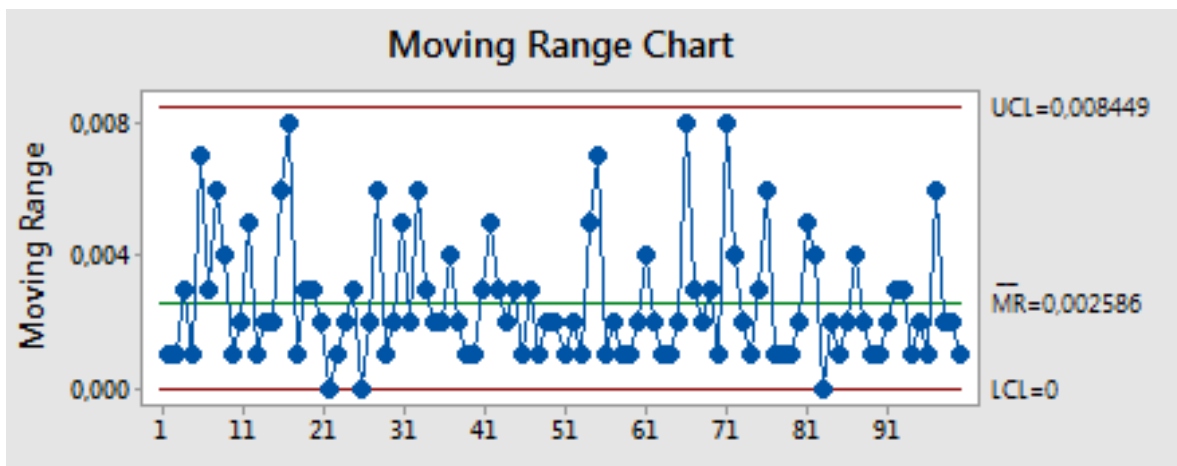
$$UCL_{\bar{R}} = 0,0084$$

$$LCL_{\bar{R}} = 0$$

Prostřednictvím těchto hodnot byl zkonstruován regulační diagram prostřednictvím statistického programu Minitab.



Obr. 22. Regulační diagram I Chart. (vlastní zpracování)



Obr. 23. Regulační diagram Moving Range Chart. (vlastní zpracování)

Zhodnocení regulačních diagramů

I Chart

Regulační diagram I Chart je schopen odhalit výkyvy procesu a poukázat tak na nestabilitu procesu. Pokud by byl proces nestabilní a vykazoval by chyby, tak by některý z bodů ležel mimo regulační meze. V našem případě žádný bod neleží mimo tyto regulační meze.

Moving Range Chart

Regulační graf Moving Range Chart vykreslí oblast pohybu jednotlivého pozorování ve sledovaném procesu v průběhu času.

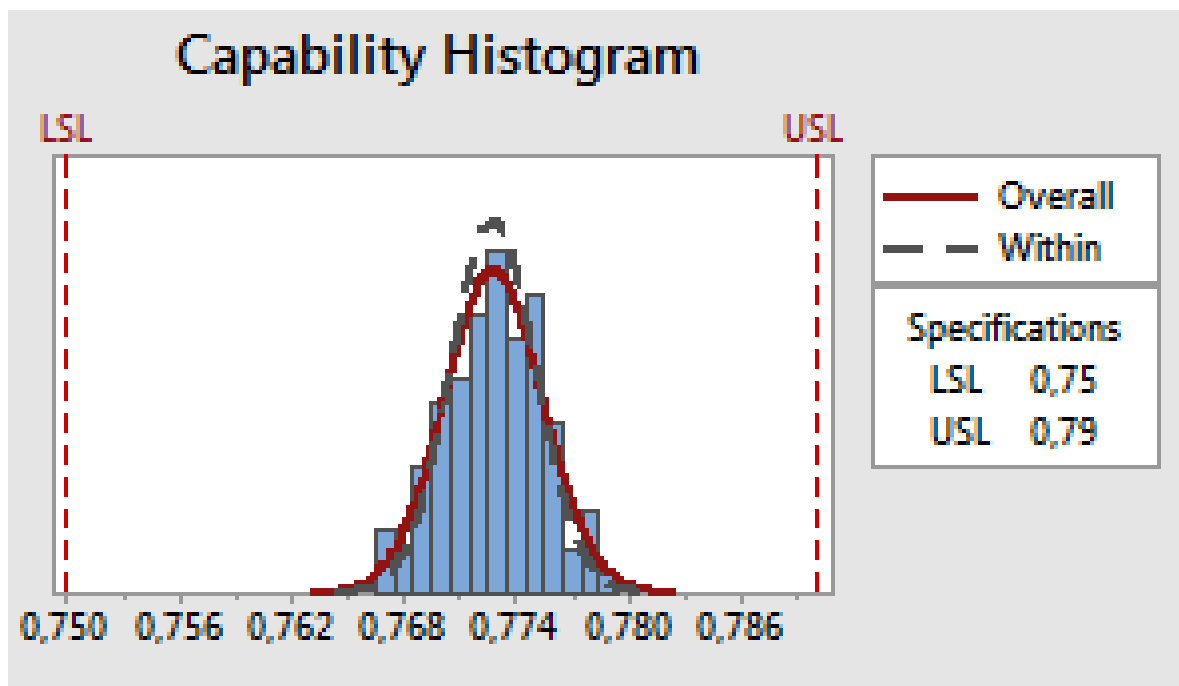
Z grafu lze vyčíst, že body se pohybují kolem středové osy a nachází se uvnitř kontrolních mezí. V pozorování nelze sledovat žádný trend. Variabilita v průběhu času je stabilní.

Dle regulačních diagramů můžeme říci, že sledovaný proces je pod kontrolou a je tak schopen plnit požadavky zákazníka.

Histogram

Histogram slouží k názornému zobrazení struktury naměřených hodnot. Výška sloupců je dána četností výskytů jednotlivých hodnot v daném intervalu.

Podle zobrazení tvar histogramu má zvonovitý tvar a všechny naměřené hodnoty se nacházejí uvnitř kontrolních mezí stanovené požadavkem zákazníka. Poloha grafu se nachází téměř ve středu vymezeného pole. I podle tohoto histogramu můžeme prohlásit, že proces je stabilní.



Obr. 24. Histogram naměřených hodnot. (vlastní zpracování)

Kvantitativním vyjádřením můžeme potvrdit předchozí tvrzení, že je proces stabilní a statisticky zvládnutý. Prostřednictvím ukazatelů způsobilosti procesu C_p a C_{pk} lze snadno prokázat způsobilost procesu.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{0,79 - 0,75}{6 * 0,002292} = 2,9086 \quad (12)$$

$$C_{pk} = \min \{ C_{pu}, C_{pl} \} = \left\{ \frac{USL - \bar{x}}{3 * \bar{s}}, \frac{\bar{x} - LSL}{3 * \bar{s}} \right\}$$

$$= \min \left\{ \frac{0,79 - 0,7728}{3 * 0,002292}, \frac{0,7728 - 0,75}{3 * 0,002292} \right\} = 2,49 \quad (13)$$

$$\sigma = 0,0026 \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (14)$$

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{0,79 - 0,75}{6 * 0,0026} = 2,52 \quad (15)$$

P_{pk} je menší z hodnot PPU PPL

$$PPU = \frac{USL - \bar{x}}{3 * \sigma} = \frac{0,79 - 0,7728}{3 * 0,0026} = 2,16 \quad (16)$$

$$PPL = \frac{\bar{x} - LSL}{3 * \sigma} = \frac{0,7728 - 0,75}{3 * 0,0026} = 2,88 \quad (17)$$

Index C_p je větší, než index C_{pk} , a to naznačuje, že proces není zcela centrován uprostřed kontrolních mezí. Vzhledem k tomu, že mezi těmito indexy není výrazný rozdíl, tak můžeme říci, že mezi hodnotami není výrazné kolísání.

Dle indexů výkonnosti P_p a P_{pk} lze stejně jako v případě indexů stability usuzovat, že proces je i z dlouhodobého hlediska statisticky zvládnutý. Indexy výkonnosti by měly dosahovat vyšších hodnot než indexy způsobilosti, a proto je třeba proces sledovat i nadále.

9 IMPROVE

Ve fázi zlepšení dochází k implementaci nápravných opatření vycházejících z předchozích měření a analýz.

9.1 Implementace změn

Projektový tým v předchozích krocích pomocí různých nástrojů definoval možné příčiny vzniku vad v průběhu krimpování kontaktu na vodič. Implementace změn byla prováděna již v průběhu cyklu. Především při analýze MSA, kdy bylo nutné změnit metodu měření, aby mohl být proces dále analyzován. Tato změna měření přispěla k výrazné eliminaci fiktivních vad, které byly pomocí pareto analýzy stanoveny jako nejvíce závažné. Následující tabulka ukazuje zlepšení v této části.

Tab. 5. Ověření účinnosti změny měřicího systému. (vlastní zpracování)

Vada krimpu	Stnaice_1	Stanice_2
Ustřižený vodič	28	4
Chybějící drátek v krimpu	68	3
Osazení jednoho kontaktu na dva vodiče	24	0
Krimp jiného vodiče	0	0
Pseudo scrap	16	11
Celkem	136	18

Další stanovenou významnou příčinou vady bylo definováno nepřesné vkládání vodiče do kleští automatu. Vliv pracovníka je těžko měřitelný. Prováděné zkušební testy prokázaly možnost výskytu této chyby způsobenou právě nepřesným vložením vodiče do automatu. Krimpovací stanice jsou totožné a provádí stejný úkon. I přesto je mezi nimi rozdíl v podobě různé zmetkovitosti. Obě stanice jsou stejně nastavené a prochází jimi stejný vodič. Vliv jednotlivých stanic může být tedy vyloučen. Podstatná změna spočívá v mezikroku mezi stanicemi, kdy před druhou stanicí je umístěna stanice, která obrací vodič a narovná jednotlivé drátky do správné stanice. Tento krok však před první stanicí chybí. Správnost umístění vodiče je tedy závislá na zručnosti pracovníka vkládajícího vodič do stroje.

Doposud provedené analýzy byly diskutovány se společností navrhující tento typ zařízení. Následná spolupráce potvrdila závěry definovaných tvrzení. Společnost nabídla řešení v podobě přídatného modulu, který bude provádět korekci vodiče do správné polohy. Přídatný modul je schopen nejen upravovat pozici vodiče, ale je schopen i vykonávat přípravnou fázi,

tedy dochází pouze k vložení nastříhaného vodiče do stroje, což umožňuje odstranit krok přípravy před zpracováním vodiče na automatickém stroji.



*Obr. 25. Původní krok vládání vodiče do stroje (vlevo), nové řešení vládání vodiče (vpravo).
(vlastní zpracování)*

9.1.1 Uspořádání pracoviště

Část projektu, který je předmětem této práce byl umístěn na ploše o rozloze 278 m². Díky provedeným změnám vycházejících z potřeb procesu, byla tato zastavěná plocha zredukována na 190 m². Nově provedené uspořádání zlepšilo materiálový tok a umožnilo využít výrobní plochu pro jiné projekty. Tok výroby je vyznačen červenou čarou na obrázku layoutu (Obr. 26. a 27.), ze kterého je patrné implementované zlepšení.

10 CONTROL

Fáze kontroly musí probíhat na konci každého projektu, která ověří správnost implementovaných řešení.

Některá opatření byla implementována v průběhu projektu jako například změna měřicího systému, který byl zkontrolován ihned po implementaci.

I přesto, že byly implementovány opatření prokazující výrazné zlepšení, tak v době psaní této práce nebyly dostatečně vyladěny, a proto celkové vyhodnocení zde není uvedeno.

Ačkoliv doposud nejsou známy konečné výsledky, tak můžeme potvrdit správnost analýz směřující k implementaci změn, které prokazatelně vedou ke zlepšení procesu a snížení scrapu, jakožto stanovenému cíli.

11 EKONOMICKÝ PŘÍNOS

Navrhnutá zlepšení v oblasti měřicího systému vedla nejen ke snížení výskytu pseudo vad, ale i ke zvýšení plnění zákaznických požadavků. Vyřešení tohoto problému má značný přínos pro vyrábějící společnost. Byl snížen výskyt vad v procesu, ale také došlo k nárůstu produkce. To bylo způsobeno snížením počtu měření a odstraněním nadpočetného zastavení procesu kvůli výskytu vady a to i přesto, že navrhnuté měření je časově náročnější, než předchozí způsob měření.

Náročnost měření je zapříčiněno požadavkem na přesnost, časovou náročnost a kapacitu výrobního procesu. Měření je nutné provádět přímo ve výrobním prostředí, neboť vykonání této kontroly v laboratořích není z časových důvodů možné. Zákazníkem požadované toleranční meze sledovaného parametru jsou příliš přísné.

Proces výroby probíhá na třech různých strojích. 50% redukce vady krimpů ze všech tří automatů činí úsporu ve výši 2,5 mil. Kč za rok.

Další navrhnuté změny v oblasti změny provedení procesu vedly téměř k úplné eliminaci vad týkajících se krimpování. Toho bylo dosaženo aplikací modulu, který provádí samotnou přípravu vodiče a narovnání jednotlivých drátků do požadované pozice před krimpováním. Opět tato změna má významný vliv na kvalitu provedeného spoje, a také na zefektivnění výrobního procesu. Krok přípravy byl prováděn třemi operátory. Odhadovaná částka na jednoho operátora činí přibližně 300 tis. Kč za rok.

Ekonomický přínos přináší i redukce rozpracované výroby. Rozpracovaná část jsou pouze nastříhané vodiče na požadovanou délku. Výrobní plocha doposud zabraná uskladněním této rozpracované výroby může být použita pro jinou výrobu.

Redukce kroku přípravy vedla k redukcí výrobní plochy potřebné pro tento projekt, a to z 278 m² na 190 m². Je diskutabilní do jaké míry může být tato plocha vyčíslena. Tento propočet záleží na projektech umístěných v této oblasti výroby.

V neposlední řadě je přínosem i předcházení zákaznickým reklamacím, i když doposud na tuto vadu nebyla zákaznická reklamační evidována. Kvalita spoje krimpem je velmi důležitá pro funkčnost výrobku. Na finální výrobek po montáži do vozu působí mnoho vlivů, a proto spoj musí být bezchybný. Případná reklamační po montáži by vedla ke stáhnutí několika tisíc vozů v rámci svolávací akce do autorizovaných servisů po celém světě a částka za kontrolu

a případnou výměnu by byla pak společností účtována. Vzhledem k objemu produkce a složitosti výměny by se jednalo o značnou částku, kterou lze jen těžko vyčíslit. Navíc by si společnost poškodila dobré jméno.

12 ZÁVĚR

Variabilita výrobního procesu je běžně vyskytující se jev. Při současných nákladech na produkci má regulace procesu svůj opodstatněný význam. Použití statistických metod napomáhá v co nejkratší době odhalit možné působící příčiny, které negativně ovlivňují variabilitu procesu.

Tato diplomová práce se zabývá statistickou regulací procesu výroby kabelového svazku ve společnosti XY. Součástí práce je analýza současného stavu a implementace řešení zlepšující aktuální nevyhovující stav. Hlavním záměrem bylo použití vybraných statistických nástrojů pro definování problému a následnou regulaci procesu s cílem snížit zmetkovitost na vybraném kroku procesu.

Diplomová práce je rozdělena do dvou částí, a to na teoretickou část, na kterou pak navazuje praktická část.

Kapitoly nacházející se v první části se věnují filosofii Six Sigma, nástrojům kvality, statistické regulaci a způsobilosti procesu.

Následující část je praktická a je věnována současnému stavu procesu výroby telematické assembláže. V této části je definován řešený problém, a to vady krimpů. Při řešení byla použita řada statistických, ale i jiných nástrojů. Statistické analýzy byly prováděny statistickým softwarem Minitab. V průběhu brainstormingu se podařilo týmu zvolit možné příčiny, které se následně analyzovaly. V návaznosti na analýzu příčin a následků byla zpracována analýza měřicího systému, která se ukázala jako opodstatněná, neboť měřicí systém nesplňoval požadavky kladené zákazníkem. Přijatá opatření se následně ukázala jako správné řešení.

V další části byla provedena analýza způsobilosti procesu, která potvrdila jeho způsobilost plnit zákaznické požadavky.

Opatření zlepšující systém měření a usnadnění přípravy vodiče přinesla řadu výhod. Především se jedná o ekonomický přínos v podobě snížení výrobních vad, které se podle objemu výroby vyčísly na 2,5 mil. Kč. Díky přídavnému modulu, který provádí přípravu vodiče k dalšímu zpracování na automatickém stroji, se zrušil procesní krok přípravy, který prováděli tři pracovníci. Ruční práce vnáší do procesu vysokou variabilitu, která byla tímto řešením snížena.

Významným přínosem je především zvýšení kvality produkce. Prvotní cíl výroby je předcházení vzniku vad a zákaznickým reklamacím, které snižují konkurenceschopnost společnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Gregory H. Watson. *Design for Six Sigma: innovation for enhanced competitiveness*. 1st edition Salem, N.H: Goal QPC, 2005. ISBN 1-57681-078-X.
- [2] [12] PANDE, Peter S, Robert P NEUMAN a Roland R CAVANAGH. *Zavádíme metodu Six Sigma, aneb, Jakým způsobem dosahují renomované světové společnosti špičkové výkonnosti*. 1. vyd. Brno: TwinsCom, 2002, 416 s. ISBN 8023892894.
- [3] BARNEY, M., McCARTY, T. *The New Six Sigma: A Leader's Guide to Achieving Rapid Business Improvement and Sustainable Results*. 1st edition Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003. 105 s. ISBN 0-13-101399-8.
- [4] TENNANT, Geoff. *Six Sigma: SPC and TQM in manufacturing and services*. Burlington, VT: Gower, 2001, 140 s. ISBN 0-566-08374-4.
- [5] HOPP, Wallace J a Mark L SPEARMAN. *Factory physics*. 3rd ed. Long Grove, Ill.: Waveland Press, c2008, 720 s. ISBN 9781577667391
- [6] SC&C Partner. *Co je Six Sigma?* [online]. [cit. 2015-03-11]. Dostupné z: <http://www.scacp.cz/cz/lean-a-six-sigma/co-je-six-sigma/>
- [7] GOH, T. N. Six Triumphs and Six Tragedies of Six Sigma. *Quality Engineering*, 2010, volume 22, issue 4, s. 299 – 305. ISSN 0898-2112.
- [8] THOMAS PYZDEK, Paul A. *The Six Sigma handbook a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2010. ISBN 978-0-07-162337-7.
- [9] GYGI, Craig, Neil DECARLO a Bruce WILLIAMS. *Six sigma for dummies*. Hoboken, NJ: Wiley Pub., 2005, 344 p. ISBN 0764567985.
- [10] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2008, 377 s. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [11] NENADÁL, Jaroslav. *Měření v systémech managementu jakosti*. 2. dopl. vyd. Praha: Management Press, 2004, 335 s. ISBN 80-7261-110-0.
- [12] SULLIVAN, Patrick H. *Value-driven intellectual capital: how to convert intangible corporate assets into market value*. New York: Wiley, 2000, 276 s. Intellectual capital series. ISBN 0471351040.

- [13] KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 2006, 237 s. Management studium. ISBN 80-86851-38-9.
- [14] LIKER, Jeffrey K. *Tak to dělá Toyota: 14 zásad řízení největšího světového výrobce*. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2007, 390 s. Knihovna světového managementu. ISBN 978-80-7261-173-7.
- [15] RYAN, Thomas P. *Statistical methods for quality improvement*. 3rd ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2011. ISBN 9781118058114.
- [16] GEORGE, Michael L. *Kapesní příručka Lean Six Sigma: rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity*. 1. vyd. Brno: SC&C Partner, 2010, vi, 280 s. ISBN 978-80-904099-2-7.
- [17] FIALA, Alois. *Statistické řízení jakosti: prostředky a nástroje pro řízení a zlepšování procesů*. Brno: VUT, 1997, 93 s. ISBN 80-214-0895-2.
- [18] MILLER, Ivan. *Kapesní příručka Six Sigma*. 1. vyd. Praha: Interquality, 2008, 141 s. ISBN 978-80-902770-4-5.
- [19] JOHN, A., MERAN, R., ROENPAGE, O., STAUDTER, CH. *Six Sigma + Lean Toolset*. 1st edition Berlin: Springer, 2008. 316 s. ISBN 978-3-540-32349-5.
- [20] TŮMOVÁ, Olga a Dušan PIRICH. *Nástroje řízení jakosti a základy technické diagnostiky*. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita v Plzni, 2003, 153 s. ISBN 80-7043-247-0.
- [21] GYGI, Craig, Neil DECARLO a Bruce WILLIAMS. *Six sigma for dummies*. Hoboken, NJ: Wiley Pub., c2005, xvi, 344 p. ISBN 0764567985.
- [22] Rath&Strong's Six Sigma – Pocket Guide. 3rd edition Lexington MA: RATH & STRONG, 2006. 178 s. ISBN 0-9746328-7-2.
- [23] VÁCLAVEK, J. *Statistická regulace výrobních procesů*. 1. vyd. České Budějovice: Vydavatelství a nakladatelství Bartoň QSV, 1996. 174 s. ISBN 80-902236-0-5.
- [24] TÖPFER, Armin. *Six Sigma: koncepce a příklady pro řízení bez chyb*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2008, 508 s. Business books (Computer Press). ISBN 978-80-251-1766-8.
- [25] GEORGE, Michael L, Dave ROWLANDS a Bill KASTLE. *Co je Lean Six Sigma?*. 1. vyd. Brno: SC&C Partner, c2005, 94 s. ISBN 80-239-5172-6.
- [26] TOŠENOVSKÝ, Josef a Darja NOSKIEVIČOVÁ. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000, 362 s. ISBN 80-7225-040-x.

[27] KOVÁŘÍK, Martin a Petr KLÍMEK. *Využití matematicko-statistických metod v řízení kvality*. 1. vyd. Žilina: Georg, 2011, 218 s. ISBN 978-80-89401-54-3.

[28] MONTGOMERY, Douglas C. *Introduction to statistical quality control*. 7th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2013. ISBN 1118146816.

[29] FABIAN, František. *Statistické metody řízení jakosti*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007, [390] s. ISBN 978-80-02-01897-1.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

LCL	Dolní regulační mez
UCL	Horní regulační mez
CL	Referenční hodnota sledovaného znaku
SPC	Statistická regulace procesu (Statistical Process Control)
DMAIC	Cyklus postupného zlepšování

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Cyklus Six Sigma. (vlastní zpracování)</i>	12
<i>Obr. 2. Project Charter. (Školící materiály Six Sigma společnosti XY)</i>	19
<i>Obr. 3. Grafické znázornění průběhu procesu. (Fiala, 1997)</i>	22
<i>Obr. 4. Analýza příčin a následků - Ishikawa graf. (vlastní zpracování)</i>	23
<i>Obr. 5. Pareto analýza. (vlastní zpracování)</i>	24
<i>Obr. 6. Příklady mezních hodnot indexu Cp. (Fiala, 1997).</i>	29
<i>Obr. 7. Grafické vyjádření indexu Cpk. (Fiala, 1997)</i>	30
<i>Obr.8. Používaný typ automatického stroje. Schleuniger. Customized-solutions. [online]. 21.3.2015 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: http://www.schleuniger.com/customized-solutions/p/transferline-1/</i>	36
<i>Obr. 9. Podoba připravené části vodiče pro zpracování na automatickém stroji. (vlastní zpracování)</i>	37
<i>Obr. 10. Řez osazeného krimpů kontaktu. (vlastní zpracování)</i>	38
<i>Obr. 11. Project charter. (vlastní zpracování)</i>	39
<i>Obr. 12. Výkresová podoba finální sestavy assembláže. (výkres společnosti XY).....</i>	41
<i>Obr. 13. Pozice jednotlivých vodičů v sestavě. (výkres společnosti XY)</i>	41
<i>Obr. 14. Vizualizace možných chyb z kroku krimpování. (A) Chybějící drátek, (B) nakrimpování dvou drátků jedním kontaktem, (C) utržený drátek, (D) krimp jiného drátku. (vlastní zpracování)</i>	42
<i>Obr. 15. Pareto defektů krimpů. (vlastní zpracování)</i>	43
<i>Obr. 16. Analýza příčin a následků na vadu krimpů. (vlastní zpracování)</i>	44
<i>Obr. 17. Analýza Gage R&R. (vlastní zpracování)</i>	46
<i>Obr. 18. Hodnoty ze statistického programu Minitab. (vlastní zpracování)</i>	48
<i>Obr. 19. Analýza Gage R&R (Měření mikroskopem). (vlastní zpracování).....</i>	49
<i>Obr. 20. Hodnoty ze statistického programu Minitab (Měření mikroskopem). (vlastní zpracování).....</i>	49
<i>Obr. 21. Analýza normality dat. (vlastní zpracování)</i>	51
<i>Obr. 22. Regulační diagram I Chart. (vlastní zpracování)</i>	53
<i>Obr. 23. Regulační diagram Moving Range Chart. (vlastní zpracování)</i>	53
<i>Obr. 24. Histogram naměřených hodnot. (vlastní zpracování)</i>	54
<i>Obr. 25. Původní krok vládání vodiče do stroje (vlevo), nové řešení vládání vodiče (vpravo). (vlastní zpracování)</i>	57

Obr. 26. Layout projektu před změnou. (vlastní zpracování)58
Obr. 27. Layout projektu po aplikaci nového modulu. (vlastní zpracování)58

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Stupnice úrovní Sigma. (Gyg, Decarlo, Williams, 2005)</i>	<i>13</i>
<i>Tab. 2. Základní SIPOC mapa. (vlastní zpracování)</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 3. Definované vady krimpů. (vlastní zpracování)</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 4. Tabulka pro analýzu MSA. (vlastní zpracování)</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 5. Ověření účinnosti změny měřicího systému. (vlastní zpracování)</i>	<i>56</i>